

Белорусский национальный технический университет
Факультет строительный
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине
Строительное материаловедение

7-07-0732-01-2023 «Строительство зданий и сооружений»
профилизация «Производство строительных изделий и конструкций»

Составители: доцент, к.т.н. Н.С. Гуриненко
 доцент, к.т.н. Т.А.Чистова

Рассмотрено и утверждено
на заседании совета строительного факультета 17.04 2023 г. протокол № 8

Минск БНТУ 2023

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

ЭУМК по учебной дисциплине «Строительное материаловедение» для студентов специальности 7-07-0732-01-2023 «Строительство зданий и сооружений» профилизация «Производство строительных изделий и конструкций»

Комплекс включает лекционный курс, методические указания для выполнения лабораторных работ, журнал лабораторных работ, программу дисциплины, перечень экзаменационных вопросы по дисциплине.

Дисциплина «Строительное материаловедение» относится к числу основополагающих, поскольку без знания свойств строительных материалов невозможно проектировать, строить, реконструировать и эксплуатировать объекты. Дисциплина посвящена изучению и систематизации строительных материалов, вырабатываемых в соответствующих отраслях промышленности в полной номенклатуре.

Целью изучения дисциплины является получение знаний о номенклатуре, технологии, формировании структуры и свойств строительных материалов.

Основными задачами дисциплины являются:

- показать роль науки в создании эффективных конструкционных, защитных и отделочных материалов и изделий;
- выявить основные направления научно-технического прогресса в области разработки, производства и применения современных строительных материалов и изделий;
- обозначить тесную связь структуры материалов с их свойствами;
- ознакомить с экономическими методами анализа при выборе материалов для конструкций, ориентировать будущих специалистов на максимальное использование местных материально-технических и трудовых ресурсов;
- осветить тенденции развития конструкционных и специальных видов материалов (высокопрочных бетонов, теплоизоляционных, гидроизоляционных и др.);
- показать важную роль стандартизации в повышении качества материалов и изделий;
- проанализировать методы защиты строительных материалов изделий и конструкций от коррозии и методы повышения их долговечности

Перечень материалов

1. [Теоретический раздел:](#)
Курс лекций по дисциплине «Строительное материаловедение»
2. [Практический раздел:](#)
[Методические указания к лабораторным работам](#)
[Журнал лабораторных работ](#)
3. [Раздел контроля знаний:](#)
Экзаменационные вопросы по дисциплине
4. [Вспомогательный раздел:](#)
Список рекомендованной литературы
Учебная программа дисциплины

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ
КУРС ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	9
1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	9
1.2. СОСТАВЫ И СТРУКТУРА МАТЕРИАЛОВ	12
1.3. СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	15
ТЕМА 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	48
2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	48
2.2. ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ	49
2.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ОБРАЗОВАНИЮ	53
2.4. МАГМАТИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ.....	54
2.5. ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ.....	61
2.6. МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	68
2.7. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ	71
2.8. ЗАЩИТА КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ РАЗРУШЕНИЯ.....	75
ТЕМА 3. ОСНОВЫ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ	77
3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	77
3.2. СТРОЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ	78
3.3. МАКРОСТРУКТУРА ДРЕВЕСИНЫ.....	80
3.4. ФИЗИЧЕСКИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ	82
3.5. ПОРОКИ И ДЕФЕКТЫ ДРЕВЕСИНЫ	87
3.6. ДЕКОРАТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	94
3.7. ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ И ВОЗГОРАНИЯ	95
ТЕМА 4. МАТЕРИАЛЫ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ.....	97
4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ.....	97
4.2. ЛЕСОМАТЕРИАЛЫ	108
4.3. ПИЛОМАТЕРИАЛЫ.....	110
4.4. ПОЛУФАБРИКАТЫ И ИЗДЕЛИЯ	117
4.5. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ	127
ТЕМА 5. СТРОИТЕЛЬНАЯ КЕРАМИКА	134
5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ	134
5.2. СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИКИ	135
5.3. ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	138
5.4. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ВНЕШНЕГО ВИДА КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	140
5.5. СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	142
5.6. ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ	150
5.7. САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ.....	158
5.8. КРОВЕЛЬНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ	160
5.9. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	161
5.10. ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ.....	162
ТЕМА 6. СТЕКЛО, СТЕКЛЯННЫЕ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ	165
6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	165

6.2. СТЕКЛО.....	165
6.3. РАЗНОВИДНОСТИ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА	170
6.4. СВЕТОПРОЗРАЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ.....	179
6.5. СТЕКЛО В АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОФОРМЛЕНИИ.....	184
6.6. СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	188
ТЕМА 7. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	191
7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	191
7.2. ЧУГУН. ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА.....	192
7.3. СТАЛЬ	194
7.4. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ	203
7.5. ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ.....	206
7.6. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ.....	210
7.7. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ	213
ТЕМА 8. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ВОЗДУШНОГО ТВЕРДЕНИЯ	217
8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	217
8.2. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	218
8.3. МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	227
8.4. ИЗВЕСТИЬ СТРОИТЕЛЬНАЯ ВОЗДУШНАЯ.....	229
8.5. ЖИДКОЕ СТЕКЛО	240
ТЕМА 9. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТВЕРДЕНИЯ..	242
9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	242
9.2. ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ИЗВЕСТИЬ И РОМАНЦЕНТ	242
9.3. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	244
ТЕМА 10. РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕМЕНТОВ	254
10.1 БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	254
10.2. СУЛЬФАТОСТОЙКИЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	254
10.3. ПЛАСТИФИЦИРОВАННЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	254
10.4. ГИДРОФОБНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	255
10.5. БЕЛЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	255
10.6. ЦВЕТНЫЕ ЦЕМЕНТЫ	255
10.7. ДОРОЖНЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ.....	255
10.8. ПУЦЦОЛАНОВЫЙ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	256
10.9. ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	256
10.10. ГЛИНОЗЁМИСТЫЙ ЦЕМЕНТ	257
10.11. ВЯЖУЩИЕ НИЗКОЙ ВОДОПОТРЕБНОСТИ.....	258
ТЕМА 11. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ.....	259
11.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	259
11.2. ЗАТВОРИТЕЛЬ (ВОДА).....	260
11.3. ЗАПОЛНИТЕЛИ.....	261
11.4. АРМИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	270
11.5. ДОБАВКИ В БЕТОНЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ	277
ТЕМА 12. ОСНОВЫ БЕТОНОВЕДЕНИЯ	283
12.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ БЕТОНОВ.....	283

12.2. РАСЧЕТ И ПОДБОР СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	285
12.3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ.....	290
12.4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ.....	292
12.4.1. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.....	295
12.4.2. ВЫБОР СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ	298
12.5. ТВЕРДЕНИЕ БЕТОНА И УХОД ЗА НИМ	298
12.6. СВОЙСТВА ЗАТВЕРДЕВШЕГО БЕТОНА.....	301
ТЕМА 13. РАЗНОВИДНОСТИ БЕТОНОВ И ДРУГИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	311
13.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	311
13.2. БЕТОНЫ ПЛОТНОЙ СТРУКТУРЫ (ТЯЖЕЛЫЕ)	311
13.3. БЕТОНЫ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ (ЛЕГКИЕ)	321
13.4. АРМИРОВАННЫЕ БЕТОНЫ	328
13.5. БЕТОНЫ НА ОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ	338
13.6. БЕТОНЫ НА ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ.....	343
ТЕМА 14. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ.....	348
14.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ	348
14.2. СОСТАВЫ, ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ.....	349
14.3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ.....	352
14.4. КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗАТВЕРДЕВШИХ РАСТВОРОВ	354
14.5. РАЗНОВИДНОСТИ РАСТВОРОВ	356
14.6. СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ.....	359
ТЕМА 15. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	364
15.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ	364
15.2. НЕФТЯНЫЕ БИТУМЫ.....	365
15.3. ДЕГОТЬ И ДЁГТЕВЫЙ ВЯЖУЩИЕ	374
15.4. ПОЛИМЕРНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	376
ТЕМА 16. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ПЛАСТМАССЫ)	379
16.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, ПЛАСТМАСС).....	379
16.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	380
16.3. СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ	382
16.4. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	384
16.5. СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	385
16.6. МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОЛА.....	393
16.7. ТРУБЫ И ФИТИНГИ.....	399
ТЕМА 17. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	403
17.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ	403
17.2. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	409
17.3. ОРГАНИЧЕСКИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	420

17.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ (КОМПОЗИЦИОННЫЕ)	
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ИЗДЕЛИЯ	426
ТЕМА 18. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	432
18.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ	432
18.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.....	435
18.3. ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	437
18.4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ...	440
18.5. ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	441
ТЕМА 19. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	446
19.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ.....	446
19.2. ПЛАСТИЧНО-ВЯЗКИЕ И ЖИДКИЕ МАТЕРИАЛЫ	447
19.3. РУЛОННЫЕ И ПЛЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	451
19.4. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ (КРОВЕЛЬНЫЕ) ПЛЕНКИ	457
19.5. ШТУЧНЫЕ И ЛИСТОВЫЕ КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ	461
ТЕМА 20. ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ И УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	473
20.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	473
20.2. ВИДЫ ГЕРМЕТИКОВ И УПЛОТНИТЕЛЕЙ.....	477
ТЕМА 21. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	493
21.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ	493
21.2. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ	496
21.3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	499
21.4. РАЗНОВИДНОСТИ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	502
21.5. ОБОЗНАЧЕНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ	510

ТЕМА 1. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. Общие сведения и классификация строительных материалов

Материаловедение строительное – наука о связях между составом, строением и свойствами материалов, а также закономерностях их изменений при внешних и внутренних химических, физических и механических воздействиях, технологии изготовления, безопасном применении, архитектурной выразительности и долговечности строительных материалов.

Материал (от лат. *materia* – вещество) – разновидность вещества (совокупности веществ) или промежуточный продукт переработки веществ, которые уже преобразованы или могут быть преобразованы в продукты труда определённой формы и содержания с целью их дальнейшего практического применения или преобразования в изделия (СТБ EN ISO 10456 и ГОСТ 3.1109).

Изделие – это единица продукции, имеющая законченную геометрическую форму, которая представляется как элемент строительной конструкции, изготовленный из материала или вещества вне места его применения и поставляемый для использования в готовом виде. Исчисляется, как правило, в штуках, экземплярах.

Для изготовления строительных материалов и изделий используются различные виды сырья (органической и неорганической природы).

Сырье (сырой материал) – это тоже предмет труда, подвергшийся ранее обработке с целью дальнейшего превращения в материал более совершенной формы или изделие.

1.1.1. Классификация строительных материалов и изделий

Строительные материалы и изделия классифицируют:

- по происхождению,
- назначению,
- технологическому признаку.

Строительные материалы по происхождению могут быть природными и искусственными

Природные материалы – древесина, горные породы (природные камни), природные битумы и асфальты и др. Их получают из природного сырья путем несложной обработки без изменения первоначального строения и химического состава.

Искусственные материалы и изделия получают из природного минерального (глина, известняк) или органического (древесина, углеводороды) сырья, промышленных отходов (шлаки, зола) с использованием достаточно сложных технологических приемов.

В результате искусственно полученные материалы и изделия приобретают новые свойства, состав и структуру, существенно отличающиеся от характеристических показателей исходного сырья (минеральные и органические вяжущие, керамические и стеклянные материалы, металлы, полимеры и др.).

По назначению строительные материалы подразделяют на следующие группы:

– **конструкционные (несущие и самонесущие)**, которые воспринимают и передают нагрузки в строительных конструкциях;

– **теплоизоляционные (ТИМ)**, предназначенные для теплоизоляции конструкций зданий и сооружений, оборудования и др.;

– **акустические** (звукопоглощающие и звукоизоляционные) - для снижения уровня «шумового загрязнения» помещения;

– **гидроизоляционные и кровельные** - для создания водонепроницаемых слоев на кровлях, подземных сооружениях и

других конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды и водяных паров;

– **герметизирующие** - для герметизации стыков в сборных конструкциях;

– **отделочные** – для улучшения декоративных качеств строительных конструкций, а также защиты конструкционных, теплоизоляционных и других материалов от внешних воздействий;

– **специального назначения** (например, огнеупорные или кислотоупорные), применяемые при возведении специальных сооружений.

Ряд материалов (например, цемент, известь, древесина) нельзя отнести к какой-либо одной группе, так как их используют и в чистом виде, и как сырье для получения других строительных материалов и изделий. Это так называемые **материалы общего назначения**. Трудность классификации строительных материалов по назначению состоит в том, что одни и те же материалы могут быть отнесены к разным группам. Например, бетон применяют в основном как конструкционный материал, но некоторые его виды имеют совсем иное назначение: особо легкие бетоны являются теплоизоляционным материалом, особо тяжелые - материалом специального назначения, который используется для защиты от радиоактивного излучения.

По технологическому признаку материалы подразделяют, учитывая **вид сырья**, из которого их получают, и способ его изготовления, на следующие группы:

– **природные каменные материалы (ПКМ)**, получаемые из горных пород путем их механической обработки (стенные блоки и камни, облицовочные плиты,

детали архитектурного назначения, бутовый камень для фундаментов, щебень, гравий, песок и т.д.);

– **керамические материалы и изделия**, получаемые из глины с добавками путем формования, сушки и обжига (кирпич, керамические блоки и камни, черепица, трубы, изделия из фаянса и фарфора, плитки облицовочные и для настилки полов, керамзит (искусственный гравий для легких бетонов) и др.);

– **стекло и другие материалы и изделия из минеральных расплавов** (оконное и облицовочное стекло, стеклоблоки, стеклопрофилит, плитки, трубы, изделия из ситаллов и шлакоситаллов, каменное литье);

– **неорганические вяжущие вещества** - минеральные материалы, преимущественно порошкообразные, образующие при смешивании с водой пластичное тело, со временем приобретающее камневидное состояние (цементы различных видов, известь, гипсовые вяжущие вещества и др.);

– **бетоны** - искусственные каменные материалы, получаемые из смеси вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей. Бетон со стальной арматурой называют железобетоном, он хорошо сопротивляется не только сжатию, но и изгибу и растяжению;

– **строительные растворы** - искусственные каменные материалы, состоящие из вяжущего вещества, воды и мелкого заполнителя, которые со временем переходят из тестообразного состояния в камневидное; искусственные необжиговые каменные материалы, получаемые на основе неорганических вяжущих веществ и различных заполнителей (силикатный кирпич, силикатные бетоны, гипсовые и гипсобетонные изделия, асбестоцементные изделия и конструкции);

– **органические вяжущие вещества и материалы на их основе** - битумные и дегтевые вяжущие, кровельные и гидроизоляционные материалы (рубероид, пергамин, изол, бризол, гидроизол, толь, приклеивающие мастики, асфальтовые бетоны и растворы);

– **полимерные материалы и изделия**, получаемые на основе синтетических полимеров - термопластических и терморезистивных смол (линолеумы, релин, синтетические ковровые материалы, плитки, древесно-слоистые пластики, стеклопластики, пенопласты, поропласты, сотопласты и др.);

– **древесные материалы и изделия**, получаемые в результате механической обработки древесины (круглый лес, пиломатериалы, заготовки для различных столярных изделий, паркет, фанера, плинтусы, поручни, дверные и оконные блоки, клееные конструкции);

– **металлические материалы** - наиболее широко применяемые в строительстве черные металлы (сталь и чугун), стальной прокат (двутавры, швеллеры, уголки), сплавы металлов.

1.2. Составы и структура материалов

Свойства строительных материалов формируются в процессе изготовления и в значительной степени определяются их составом и строением.

Состав – это качественная и количественная характеристика веществ, входящих в состав материалов или сырья при их изготовлении.

Знание состава сырья и материалов позволяет прогнозировать свойства получаемых изделий при изготовлении и получать их с заданными качественными характеристиками на длительный период эксплуатации.

Различают **химический**, **минеральный** (минералогический), **фазовый** (твёрдый, жидкий, газообразный) и другие составы.

Химический состав указывает на процентное содержание в материале химических элементов или оксидов и позволяет судить об их химической стойкости, прочности, огнестойкости, биостойкости и других свойствах.

Например, в состав глины входят кремнезём SiO_2 , глинозём Al_2O_3 , оксиды железа Fe_2O_3 , кальция CaO и другие соединения.

В зависимости от химического состава все материалы делятся на **органические** (древесина, битум, пластмассы), **минеральные** (бетон, цемент, кирпич, природный камень и др.) и **металлы** (сталь, чугун, алюминий).

К органическим относят соединения углерода с другими элементами (преимущественно водородом, кислородом и азотом).

Минералогический состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в каменном материале, вяжущем веществе и других композиционных составах.

Например, известняк, мел состоят из одного минерала – кальцита, а мергель – из нескольких минералов.

Фазовый состав указывает на содержание в материале фаз, т. е. частей однородных по химическому составу и физическим свойствам и отделённых друг от друга поверхностями раздела.

В пористом материале выделяют твёрдые вещества, образующие стенки пор, и сами поры, заполненные воздухом или водой. Если вода замёрзнет в порах, то изменятся и свойства материала.

Материалы, представленные одной фазой, называются *гомогенными*, а двумя и более – *гетерогенными*.

Если характеризовать состав композиционных материалов, то лучше говорить о вещественном составе, поскольку они состоят из нескольких веществ, каждое из которых может иметь свой достаточно сложный химический и минеральный составы.

Структура (от лат. *structura* – строение) – внутреннее строение материала, обусловленное формой, размерами, взаимным расположением составляющих их частиц, пор, капилляров, микротрещин и других структурных элементов.

Структура материала может в значительной степени влиять на его свойства и качественные показатели в целом.

Строение материалов изучают на 3-х уровнях.

Различают **макроструктуру** (от греч. *macros* – большой), **микроструктуру** (*micros* – малый) материала и внутреннее строение на **молекулярно-ионном уровне** (наноструктуру).

Макроструктура материала видима невооружённым глазом (визуально) или при небольшом увеличении (до 6 раз).

При этом различают структуру поверхностного и внутреннего слоёв.

Макроструктура материала может быть однородной и неоднородной, плотной, зернистой (конгломератной или рыхлозернистой), ячеистой (мелко-, средне и крупнопористой), волокнистой, слоистой, ячеистой и др.

Материалы, состоящие из отдельных, не связанных между собой зёрен, образуют рыхлозернистую структуру.

Это песок, гравий, порошкообразные материалы, различные засыпки для тепло- и звукоизоляции.

Конгломератная структура (плотная) - когда отдельные зерна надёжно соединены между собой (бетоны, некоторые природные и керамические материалы).

Ячеистая структура характерна для материалов, имеющих макро- и микропоры (пено- и газобетоны, газосиликаты, ячеистые пластмассы).

Волокнистую структуру имеют материалы, у которых волокна расположены параллельно одно другому. При этом они обладают различными свойствами вдоль и поперёк волокон, так называемые анизотропные материалы. Волокнистая структура присуща древесине, минераловатным изделиям.

Слоистую структуру имеют листовые, рулонные и плитные материалы (текстолит, бумажнослоистый пластик, глинистые сланцы и др.).

Микроструктура – это строение, видимое под микроскопом.

В зависимости от порядка расположения атомов и молекул, материалы могут иметь строго упорядоченное строение – кристаллическое и неупорядоченное, хаотическое – аморфное.

Кристаллическая структура образуется при очень медленном охлаждении расплавов, когда элементарные частицы (ионы, атомы, молекулы), из которых они составлены, имеют возможность перемещаться в пространстве и занимать наиболее устойчивое положение.

Поэтому кристаллическими называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены в правильном геометрическом порядке в трёхмерном пространстве и образуют кристаллическую решётку. Примером может служить металл, гранит, мрамор и др.

Аморфная (бесформенная) *структура* образуется при быстром охлаждении расплавов, когда атомы при переходе в твёрдое состояние не успевают образовать кристаллическую решётку, а остаются вблизи тех положений, которые занимали в расплаве.

Поэтому аморфными называют материалы, в которых атомы и молекулы расположены беспорядочно (хаотически).

В отличие от кристаллического состояния веществ, аморфное является термодинамически неустойчивым (метастабильным).

При определённых условиях (температура, давление, время) аморфные материалы могут перейти в кристаллические.

Различие между аморфными и кристаллическими материалами ещё в том, что кристаллические материалы при нагревании имеют определённую температуру плавления, которая равна температуре отвердевания.

Аморфные материалы при нагревании размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние. Кроме того, прочность аморфных материалов, как правило, ниже кристаллических. Поэтому иногда для получения более высокой прочности аморфного материала специально проводят его кристаллизацию.

Аморфный материал, как правило, изотропный.

Кристаллический – в микрообъёме может быть анизотропный, в макрообъёме, когда кристаллы расположены хаотически (гранит), – изотропны.

1.3. Свойства строительных материалов

Свойство – характеристика материала, проявляющаяся в процессе его обработки, применении или эксплуатации. Оцениваются числовыми показателями.

Качество – совокупность свойств материала, обуславливающих его способность удовлетворять определённым требованиям в соответствии с его назначением.

Численные значения свойств строительных материалов получают при лабораторных или натуральных испытаниях.

Для взаимосогласованности и координации размеров строительных материалов, изделий и частей зданий используется условная единица измерения – **модуль** (основной, равный 100 мм) и производные (укрупненный – 3 М, 6 М и т.д. и дробный – 1/2 М, 1/42 М, 1/5 М и т.д.).

$$M = 100 \text{ мм}$$

На все строительные материалы и изделия, выпускаемые различными производителями, имеются нормативно-правовые документы (ТНПА – технические нормативно-правовые акты), которые регламентируют их технические характеристики, технологические процессы, правила эксплуатации, перевозки, хранения, утилизации, а также требования к терминологии, символике, упаковке и маркировке.

По совокупности признаков различают физические, механические, химические, технологические, эксплуатационные, специальные и др. (рисунок 1.1).

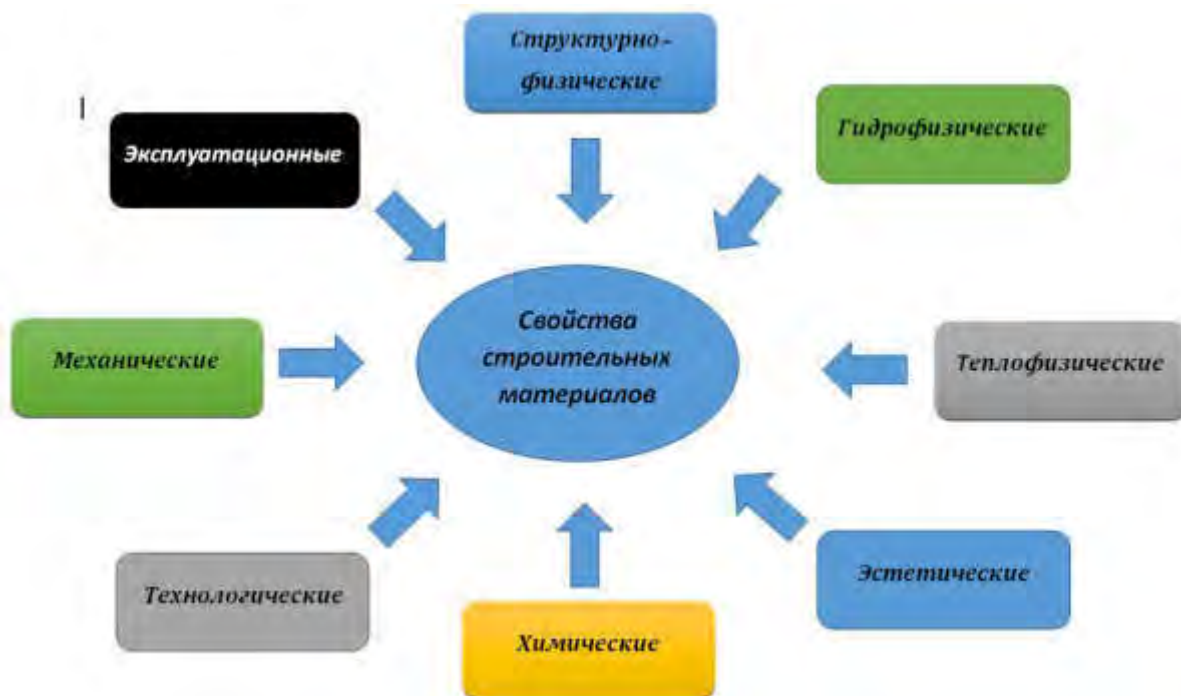


Рис. 1.1. Свойства строительных материалов

1.3.1 Структурно-физические свойства

Структурно-физические свойства строительных материалов определяются параметрами их физического состояния и структуры.

Они характеризуют вещество и структуру материала как физического тела, а также способность реагировать на внешние воздействия, не вызывающие изменения их химического состава и структуры.

Плотность – свойство материала, количественно характеризующее отношение его массы m к объёму V , т. е. масса единицы объёма материала:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Размерность плотности – кг/м³ или производные: г/см³, т/м³, кг/л.

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Различают:

- **истинную** плотность или *плотность вещества*;
- **среднюю** плотность или *плотность материала*;
- **насыпную** плотность для зернистых (сыпучих) материалов, причём в рыхлонасыпном и в уплотнённом состоянии;
- **плотность зёрен сыпучих материалов**, например, заполнителя в бетонах и растворах

Истинная плотность или плотность вещества (абсолютная плотность) – масса единицы объёма материала в абсолютно плотном состоянии.

$$\rho_{\text{и}} = \frac{m}{V_{\text{абс}}},$$

где m – масса вещества, г; $V_{\text{абс}}$ – абсолютный объем, см³.

Это значит, что при измерении объёма в него не входят поры, пустоты, трещины и другие полости, присущие материалу в естественном состоянии.

Следовательно, истинная плотность – это характеристика не материала, а вещества, из которого состоит материал.

Для определения истинной плотности, материал предварительно измельчают **в тонкий порошок** до тонкости 0,25 мм, чтобы при определении объёма исключить поры.

Масса порошка определяется взвешиванием, а объём в абсолютно плотном состоянии ($V_{\text{абс}}$) – в пикнометре или **приборе Ле Шателье** (рисунок 1.2) по объёму вытесненной жидкости.

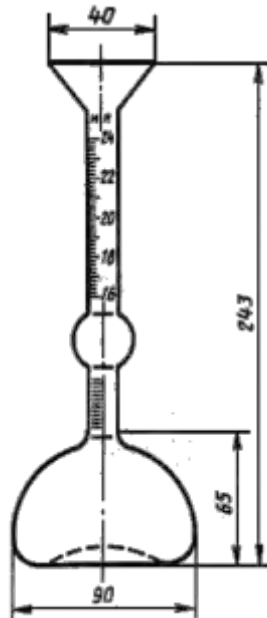


Рис. 1.2. Прибор Ле Шателье

Истинная плотность материала – характеристика постоянная (физическая константа), которая не может быть изменена без изменения его химического состава или молекулярной структуры.

Для большинства строительных материалов значение истинной плотности более 1 г/см^3 .

Например, для природных и искусственных каменных материалов – $2,2 \dots 3,3 \text{ г/см}^3$; органических (дерево, битум, пластмассы) – $0,8 \dots 1,6 \text{ г/см}^3$; чёрных металлов – более $7,0 \text{ г/см}^3$.

Для строительных материалов истинная плотность имеет вспомогательное значение. Её используют при вычислении показателей плотности и пористости материалов, в расчётах состава бетона и т.п.

Средняя плотность (плотность материала) – масса единицы объёма материала в естественном состоянии, т. е. объём материала измеряется вместе с имеющимися в нем порами и пустотами.

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V_e},$$

где m – масса материала, г; V_e – объём материала, см^3 .

При определении средней плотности объём материала устанавливают по внешним размерам образца или по объёму вытесненной им жидкости, если испытываемый образец имеет неправильную форму (рисунок 1.3).

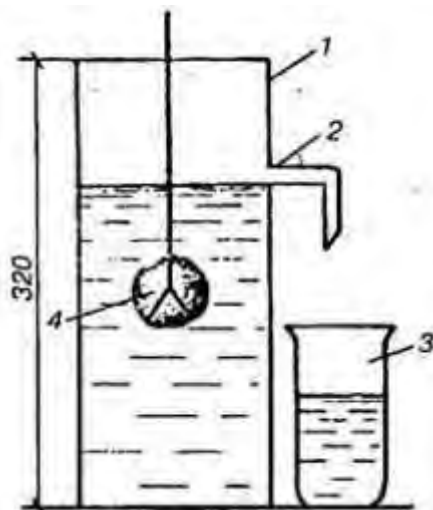


Рис. 1.3. Объемомер: 1 – цилиндр, 2 – сливная трубка, 3 – стакан, 4– образец.

Средняя плотность материалов не является величиной постоянной и в зависимости от их вида и структуры может изменяться в достаточно широких пределах – от 10 кг/м^3 (для отдельных видов пенопластов и др.) до 7850 кг/м^3 (сталь) и более (таблица 1.1).

Численное значение средней плотности для одного и того же вида материала может быть тоже различным в зависимости от количества пор и пустот в нём.

Таблица 1.1. Значения плотности некоторых строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м^3	
	истинная	средняя (насыпная)
Сталь	7850...7900	7850...7900
Гранит	2700...2800	2600...2700
Мрамор	2700...2730	2600...2700
Бетон: тяжёлый ячеистый	2600...2900	2200...2500
	2500...2600	350...1200
Кирпич: полнотелый пустотелый	2600...2700	1700...1900
	2600...2700	1450...1600
Древесина сосны дуба	1540	450...500
	1540	750
Пенополистирол	1000...1200	20...150
Песок	2500...2600	(1500...1700)
Гравий	2500...2600	(1500...1700)
Щебень	2600...2700	(1350...1450)
Керамзит	2650	350...600
Цемент	3050...3150	(900...1300)
Пеностекло	2500	200...400

У подавляющего большинства строительных материалов (пористых) величина средней плотности всегда меньше истинной. Разница между ними тем больше, чем больше пористость. Численные значения средней и истинной плотности вещества совпадают, когда материал не имеет пор, т. е. для абсолютно плотных материалов.

Средняя плотность является необходимой характеристикой при расчёте прочности сооружений с учётом собственной массы, для определения стоимости и способа перевозок материалов, для расчёта складов и подъёмно-транспортного оборудования, при переводе количества материала из массовых единиц в объёмные, при расчёте пористости, при подборе состава бетона, дозировке материалов в бетон и т.д.

Для сыпучих или зернистых материалов (заполнителей для бетона) характеристикой плотности являются насыпная плотность и плотность зёрен.

Насыпная плотность – отношение массы рыхло насыпанных зернистых и порошкообразных материалов m ко всему занимаемому ими объёму V_H , включая поры в зёрнах и объём пустот между зёрнами, так называемую **межзерновую пустотность**.

$$\rho_H = \frac{m}{V_H}.$$

Определяется в стандартных мерных сосудах, выбор объёма (вместимости) которых зависит от вида и величины зёрен сыпучего материала.

Насыпная плотность сыпучих материалов – величина не постоянная и зависит не только от пористости самих зёрен и межзерновой пустотности, но и от степени их уплотнения и влажности.

В уплотнённом состоянии насыпная плотность таких материалов всегда больше, чем в рыхлонасыпном, с повышением влажности плотность их (за исключением песка) тоже повышается.

Для мелкозернистых материалов (с размером зерен не менее 5 мм) используют мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л. Мерный цилиндр предварительно взвешивают и насыпают в него с помощью стандартной воронки (рисунок 1.4) кварцевый песок.



Рис. 1.4. Стандартная воронка и мерный цилиндр

Плотность зёрен заполнителя – отношение массы пробы сухого заполнителя к суммарному объёму его зёрен, т. е. без объёма межзерновых пустот, но с учётом пор, содержащихся в зёрнах заполнителя.

При определении плотности зёрен заполнителя их объём устанавливается путём гидростатического взвешивания навески заполнителя (рисунок 1.5).

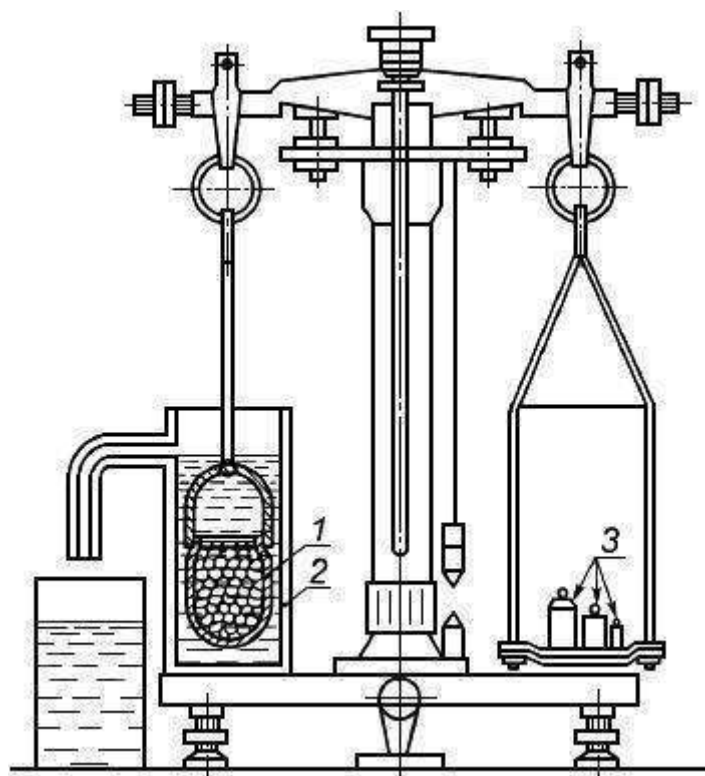


Рис. 1.5. Весы для гидростатического взвешивания:
1 – сетчатый (перфорированный) стакан; 2 – сосуд со сливом для воды;
3 – разновесы

Методика гидростатического взвешивания основана на законе Архимеда, согласно которому на погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объеме тела.

Для измерения плотности зерен крупного заполнителя определенное количество заполнителя последовательно взвешивают на воздухе и в жидкости известной плотности (например, в воде).

По результатам этих взвешиваний определяют массу и объем зерен заполнителя, а, следовательно, и их плотность.

Среднюю плотность зерен заполнителя в г/см³ или кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_3 = \frac{m \cdot \rho_B}{m_1 - m_2},$$

где: m – масса пробы заполнителя в сухом состоянии, г (кг)

m_1 – масса пробы заполнителя в водонасыщенном состоянии (результат взвешивания на воздухе, г (кг);

m_2 – результат взвешивания той же пробы в воде, т.е. масса гирь, уравновешивающих массу зерен в воде г (кг);

$\frac{m_1 - m_2}{\rho_e}$ – объем зерен заполнителя, см³;

ρ_e – плотность воды, принимая равной 1 г/см³ (1000 кг/м³).

Отношение средней плотности материала к истинной $\left(\frac{\rho_{cp}}{\rho_{и}}\right)$ – **показатель плотности**. Выражается в долях единицы или в %. Чем меньше разность между численными значениями средней и истинной плотности, тем выше значение показателя плотности.

Например, для кирпича: $\frac{1800}{2600} = 0,7$ – 70%, для гранита: $\frac{2600}{2700} = 0,97$ – 97%.

Для абсолютно плотных материалов показатель плотности равен 1,0 или 100%.

Величина обратная показателю плотности есть показатель пористости или **пористость** - степень заполнения объема материала порами. Если принять общий объем материала за единицу или за 100 %, то разность между единицей и показателем плотности будет пористость P .

Общую пористость рассчитывают по величине их истинной и средней плотности.

Разность между численными значениями истинной и средней плотности, отнесенная к численному значению истинной плотности и есть пористость.

$$П = \left(1 - \frac{\rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{и}}}\right) \cdot 100\%$$

Пористость строительных материалов колеблется в довольно широких пределах – от 0% до 90% и более.

Например, для стекла и металла пористость составляет практически 0%, пенопластов – 92...98%, кирпича полнотелого – 30...35%, пенобетона – 60...80%.

По показателям пористости различают:

низкопористые ($П \leq 30\%$),

среднепористые ($П = 30...50\%$),

высокопористые ($П > 50\%$) материалы.

Поры в материалах могут быть крупные и мелкие; открытые, закрытые и сообщающиеся; в виде ячеек и капилляров и др.

Различают общую ($П$), открытую ($П_0$) и закрытую ($П_з$) пористость:

$$П = П_0 + П_з$$

От величины пористости и ее характера зависят важнейшие свойства материала: плотность, прочность, теплопроводность, долговечность, водопоглощение и др.

Открытые поры увеличивают водопоглощение и водопроницаемость материала, ухудшают его морозостойкость, но улучшают звукопоглощение (акустику).

Увеличение закрытой пористости за счет открытой увеличивает долговечность материала и снижает его теплопроводность.

Поры могут быть заполнены воздухом, во влажном состоянии – водой, при отрицательных температурах – льдом.

С теплозащитной точки зрения лучше мелкие, замкнутые поры и равномерно распределённые по всему объёму материала.

Количество пустот, образующихся между зернами рыхлонасыпного материала, выраженное в процентах по отношению ко всему занимаемому объёму, называют **межзерновой пустотностью**.

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{н}}}{\rho_{\text{з}}}\right) \cdot 100\%$$

1.3.2 Гидрофизические свойства

Гидрофизическим называют свойства, связанные с воздействием на материал влаги.

Они характеризуют поведение материалов и условия их хранения и эксплуатации при воздействии влаги и водяных паров, содержащихся в воздухе.

Влага, проникающая в строительные материалы и изделия, в отдельных случаях может оказывать благоприятное воздействие на процессы, происходящие в их структуре, например, при твердении бетонов и строительных растворов. Однако в большинстве случаев вода оказывается одной из основных причин разрушения и ухудшения их теплозащитных и других свойств.

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Характеризуется количеством воды, которую поглощает сухой материал при полном погружении и выдерживании в воде заданный промежуток времени, отнесённым к массе сухого материала (водопоглощение по массе B_M) или к объёму материала в сухом состоянии (водопоглощение по объёму B_V). Водопоглощение по массе и по объёму выражают относительным числом или в процентах и вычисляют по формулам:

$$B_M = \left(\frac{m_H - m_C}{m_C} \right) \cdot 100\%$$

$$B_V = \left(\frac{m_H - m_C}{\rho_B \cdot V} \right) \cdot 100\%$$

где m_C – масса сухого образца, г; m_H – масса образца, насыщенного водой, г; ρ_B – плотность воды, г/см³; V – объём образца в сухом состоянии, см³.

Водопоглощение по массе показывает степень увеличения массы материала (за счёт поглощённой воды), а водопоглощение по объёму – степень заполнения объёма материала водой.

Водопоглощение по массе и по объёму характеризует собой предельное состояние, когда материал больше не в состоянии поглощать влагу.

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах.

Например, водопоглощение по массе ситаллов и шлакоситаллов составляет 0%, керамического гранита не превышает 0,05%, натурального гранита – 0,02...0,5%, тяжёлого бетона – 3...8%, а пористых теплоизоляционных материалов может превышать 100%.

Водопоглощение по объёму иногда называют *кажущейся пористостью*. Однако пористость материалов по абсолютному значению всегда выше водопоглощения по объёму, т.к. вода в обычных условиях не заполняет все поры. Водой запол-

няются только открытые (и то не все) поры, а стенки крупных пор только смачиваются водой. Поэтому водопоглощение по объёму всегда меньше пористости a , следовательно, и меньше 100 %.

$$V_V < P < 100\%$$

Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битум) равно нулю.

Степень заполнения объёма пор водой характеризуется **коэффициентом насыщения**, т.е. отношением водопоглощения по объёму к пористости материала:

$$K_{\text{нас}} = \frac{V_V}{P}$$

Если учесть, что водопоглощение по объёму всегда меньше пористости, то всегда $K_{\text{нас}} < 1,0$.

Следовательно, коэффициент насыщения изменяется от нуля (все поры закрытые) до единицы (все поры открытые).

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства:

- увеличиваются плотность материала, его теплопроводность, линейные размеры и объём;
- понижаются прочность, водостойкость, морозостойкость.

По величине коэффициента насыщения можно косвенно оценить морозостойкость материала. Чем меньше значение коэффициента насыщения, тем выше его морозостойкость.

Материалы считаются морозостойкими при $K_{\text{нас}} < 0,8$.

Объясняется это величиной заполнения пор водой – чем больше пор заполнено водой, тем больше вероятность разрушения материала после замерзания в порах воды.

Влажность. В реальных условиях эксплуатации строительных конструкций материал может содержать некоторое количество влаги, полученной при кратковременном увлажнении или гигроскопичности.

В этом случае состояние материала характеризуют влажностью.

Следовательно, **влажность** (влагосодержание) – содержание влаги в материале в данных условиях, отнесённое к массе материала в сухом состоянии.

Влажность материала выражают в процентах и вычисляют по формуле:

$$W = \left(\frac{m_B - m_C}{m_C} \right) \cdot 100\%$$

где m_B – масса влажного образца, г; m_C – масса сухого образца, г.

Теоретически влажность строительных материалов может изменяться от нуля, когда материал находится в абсолютно сухом состоянии, до величины, соответствующей полному водопоглощению материала по массе.

Однако численное значение влажности, как правило, всегда будет меньше водопоглощения по массе: $W < B_M$.

Различают абсолютную и относительную влажность.

Абсолютная влажность материала – отношение массы воды, содержащейся в материале, к массе абсолютно сухого материала.

Относительная влажность то же, но к массе материала во влажном состоянии.

В естественных же условиях эксплуатации материалы в сооружениях находятся преимущественно в воздушно-сухом состоянии, т. е. при установлении равновесия между влажностью материала и окружающего его воздуха.

При этом различают фактическую, нормальную (равновесную) и нормированную влажность.

Например, влажность легкого бетона в ограждающих конструкциях не должна превышать 13% для жилых и 15% – для производственных зданий, воздушно-сухой древесины – 12...18%, молотого мела – 5...7%.

Гигроскопичность – способность материала поглощать (сорбировать) и конденсировать (адсорбировать) водяные пары из воздуха до установления равновесия и удерживать их вследствие капиллярной конденсации, т. е. изменять свою влажность при изменении влажности воздуха.

Характеризуется отношением массы поглощённой материалом влаги при относительной влажности воздуха 100% и температуре 20°C к массе сухого материала.

Гигроскопичность зависит от температуры воздуха; его относительной влажности; вида, количества и размера пор, а также от природы вещества.

Материалы с одинаковой пористостью, но имеющие более мелкие поры (а соответственно и большую поверхность), оказываются более гигроскопичными, чем крупнопористые материалы. Для сыпучих материалов гигроскопичность зависит от их дисперсности.

Гигроскопичность отрицательно сказывается на качестве строительных материалов, т. е. вызывают вредные последствия.

Цемент, например, при хранении, поглощая влагу, комкуется, теряет активность (прочность). Древесина от влажности разбухает, коробится, трескается и гниёт.

Влагоотдачей (скоростью высыхания) называют способность материала отдавать воду при изменении температуры и влажности окружающей среды.

Характеризуется количеством воды в процентах от массы стандартного образца, теряемом материалом в течение 1 сут. при относительной влажности воздуха 60% и температуре 20°C.

Скорость влагоотдачи в значительной степени зависит от разности между влажностью материала и относительной влажностью воздуха.

Влагоотдача имеет большое значение для стеновых материалов и изделий (в данном случае – это желанная влагоотдача, нежеланная – высыхание твердеющего бетона).

Водопроницаемость – способность материала пропускать воду под давлением.

Для одних материалов в зависимости от назначения характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в единицу времени через 1 м² поверхности материала при заданном давлении.

Для других (гидроизоляционных) – время контакта с водой, по истечении которого появляются первые признаки просачивания воды через испытываемый образец под определённым давлением и др.

Для некоторых материалов (например, гидротехнических бетонов) в зависимости от назначения оценкой водопроницаемости служит обратная характеристика – водонепроницаемость.

По водонепроницаемости такие бетоны подразделяются на марки (W2, W4...W20).

Характеристикой водонепроницаемости служит глубина проникновения воды через образец бетона под давлением (СТБ ЕН 12390-8).

Численное значение марки выражает максимальное одностороннее гидростатическое давление (кгс/см² или 0.1 МПа), при котором стандартный образец не пропускает воду в условиях стандартных испытаний или наименьшее давление, при котором вода начинает проникать через образец.

W20

20 кгс/см² = 2 МПа

Водопроницаемость (водонепроницаемость) зависит от плотности и строения материала. Чем больше в материале пор и чем эти поры крупнее, тем больше водопроницаемость материала.

К водонепроницаемым материалам относятся особо плотные – сталь, стекло, битум и др.

Паропроницаемость – способность материалов пропускать водяные пары, которые содержатся в воздухе, при наличии разницы абсолютной влажности воздуха (величины парциального давления пара в воздухе) по обе стороны материала.

Пар стремится пройти через материал в ту сторону, где его парциальное давление ниже (обычно из теплого помещения в холодное).

В одних случаях нужна высокая паропроницаемость (например, материал стены должен «дышать»). В других – желательно отсутствие паропроницаемости (теплоизоляция не должна отсыревать).

Паропроницаемость оценивается коэффициентом паропроницаемости K_n (г/м·с·Па) или относительным коэффициентом сопротивления паропроницаемости μ (мю) по сравнению со свойствами сопротивления паропереносу воздуха (ISO 12572:2016).

1.3.3 Теплофизические свойства

Теплопроводность – это способность материала проводить тепло через свою толщу при наличии разности температур на противоположных поверхностях и обуславливает выравнивание температуры материала.

Если обе поверхности или системы имеют одинаковые температуры, то они находятся в тепловом равновесии, и какой-либо теплообмен между ними не происходит. При наличии же разности температур происходит передача тепла из системы с более высокой температурой в систему с более низкой температурой до тех пор, пока не установится тепловое равновесие.

Однако в чистом виде теплопроводность встречается, как правило, только в твердых телах. В жидких и газообразных средах практически невозможно обеспечить неподвижность вещества.

Хорошим проводником тепла является металл, средним – дерево и плохим – воздух.

Степень теплопроводности различных строительных материалов характеризуется **коэффициентом теплопроводности** λ [Вт/(м · К)] выражающим количество теплоты (тепловой энергии) Q (Дж), которое проходит в течение $Z = 1$ сек., через материал толщиной $a = 1$ м и площадью $A = 1$ м² при разности температур по обе стороны $t_1 - t_2 = 1$ К

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{A(t_1 - t_2)Z}$$

Теплопроводность зависит от многих факторов – и в первую очередь – от атомно-молекулярного строения вещества. Например, теплопроводность меди –

350, стали – 58, мрамора – 3,5, льда – 2,32, воды – 0,58 Вт/(м·К). Теплопроводность аморфных тел меньше, чем кристаллических.

Теплопроводность материалов уменьшается с увеличением их пористости. Например, теплопроводность тяжёлого бетона – 1,2...1,5, лёгкого бетона на пористых заполнителях – 0,3...0,7, пено- и газобетона – 0,2...0,4, пенопласта – 0,04...0,06 Вт/(м·К). Наименьшей теплопроводностью будет обладать материал, поры у которого мелкие, равномерно распределённые по всему объёму и замкнутые.

С увеличением влажности материала теплопроводность увеличивается, т.к. теплопроводность воздуха – 0.023, воды – 0.58 (больше в 25 раз), а льда – 2.32 Вт/(м·К) (больше в 100 раз).

Знать теплопроводность необходимо при теплотехнических расчётах стен, перекрытий, тепловой изоляции трубопроводов. Чем меньше теплопроводность материала, тем меньше толщина ограждения, а, следовательно, меньше затрачивается материала на единицу его площади.

Термическое сопротивление, сопротивление теплопередаче R_T ($m^2 \cdot K / Вт$) является величиной обратной теплопроводности. Характеризует способность материала или конструкции (например, наружной стеновой панели) препятствовать распространению теплового потока или теплового движения молекул, т. е. характеризует теплозащитные свойства материала или конструкции.

Для однородной ограждающей конструкции термическое сопротивление определяется отношением толщины слоя ограждения (a) к теплопроводности материала λ .

$$R_T = \frac{a}{\lambda}$$

Термическое сопротивление – величина, нормируемая в каждом регионе (в зависимости от температурной зоны эксплуатации), характеризует все типы ограждающих конструкций с точки зрения их теплозащитных свойств.

В настоящее время в Республике Беларусь термическое сопротивление принято: для наружных стен – 3,2 ($m^2 \cdot K$)/Вт, совмещённых покрытий и чердачных перекрытий – 6,0 ($m^2 \cdot K$)/Вт, световых проёмов – 1,0 ($m^2 \cdot K$)/Вт.

Теплоёмкость – свойство материала поглощать и аккумулировать тепло при нагревании (Дж/К) и выделять его при охлаждении.

Оценивается удельной теплоёмкостью (C) или **коэффициентом теплоёмкости** в Дж/(кг·К), т. е. это количество тепла, необходимого для нагревания 1 кг материала на 1 К.

$$C = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)}$$

где Q – количество тепла, Дж; m – масса материала, кг; $(t_1 - t_2)$ – разность температур при нагревании, К.

Материалы, обладающие высокой теплоёмкостью способны выделять больше тепла при последующем их охлаждении. Органические материалы имеют большие значения удельной теплоёмкости, чем, неорганические. Например, коэффициент теплоёмкости древесины составляет 2,38...2,72, природных камней 0,75...0,93, у стали – 0,48 кДж/(кг·К). Наибольшей же теплоёмкостью обладает вода – 4.2 в кДж/(кг·К).

Учитывается теплоемкость при расчёте теплоустойчивости ограждающих конструкций, затрат на топливо и энергию при обогреве материалов и конструкций, подогреве составляющих бетона и раствора при зимних работах и др.

Тепловое расширение (сжатие) – способность материалов изменять в процессе нагревания или охлаждения свои размеры и форму – расширяться при нагревании и сжиматься при охлаждении.

Количественно характеризуется коэффициентами линейного или объёмного расширения. В строительстве чаще всего используют коэффициент линейного теплового (температурного) расширения (КЛТР).

Коэффициент линейного теплового расширения α характеризует изменение линейного размера (длины) при изменении температуры на один градус, т. е. это относительное приращение длины образца, вызванное повышением его температуры на один градус. Размерность – $10^{-6} \text{ K}^{-1} (\text{°C}^{-1})$. С повышением температуры коэффициент линейного расширения возрастает (табл. 1.2).

Таблица 1.2. КЛТР различных строительных материалов

Материал	КЛТР (10^{-6} K^{-1})	
Древесина:	вдоль волокон	6
	поперек волокон	30
Стекло оконное	9	
Сталь	12	
Бетон	≈14	
Медь	17	
Алюминий	23	
Поливинилхлорид (PVC)	80...90	
Полиэтилен	160...230	
Полиэфирные смолы	80...200	

В практических условиях нагрев или охлаждение материалов приводят к возникновению достаточно больших термоупругих напряжений, способных разрушить материал или конструкцию.

Примерно одинаковые коэффициенты теплового расширения бетона и стали позволили создать и обеспечить совместную работу такого материала как «железобетон».

Температура плавления – это температура, при которой нагреваемый материал полностью переходит из твёрдого состояния в жидкое при нормальном атмосферном давлении.

Температура обратного перехода из жидкого состояния в твёрдое, называется температурой затвердевания.

Материалы кристаллического строения имеют строго определенную температуру плавления, аморфные – не плавятся, а постепенно размягчаются, превращаясь в очень вязкую жидкость.

1.3.4 Акустические свойства

Акустические свойства материалов — это свойства, связанные с взаимодействием материала и звука.

Звук, или звуковые волны, — это механические колебания, распространяющиеся в твердых, жидких и газообразных средах.

Акустическими свойствами, характеризующими способность материала проводить, отражать или поглощать падающий на него звук, являются звукопроводность, звукопоглощение, звукоизоляция и др. Следовательно, **звукопроводность** – способность материала проводить звук сквозь свою толщу, **звукопоглощение** – способность материала поглощать и отражать падающий на него звук, а **звукоизоляция** – степень ослабления звука при его проникновении через слой материала.

Падающая на поверхность строительной конструкции звуковая волна частично отражается от неё, частично поглощается материалом поверхности, а частично проникает сквозь поверхность наружу или в соседнее помещение (рисунок 1.6).

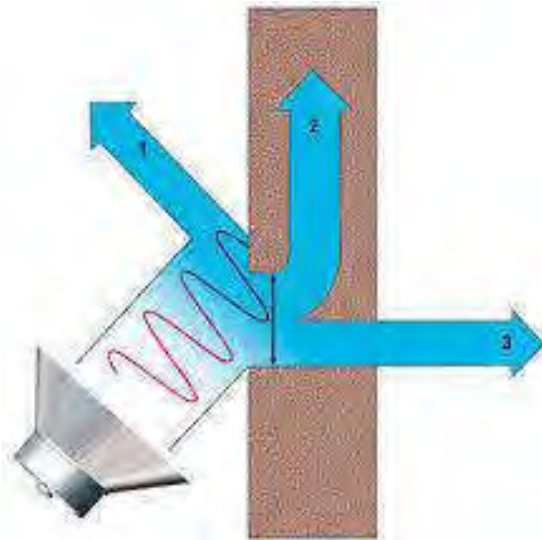


Рис. 1.6. Схема воздействия звуковых волн на материал ограждения: 1 – отраженная энергия; 2 – поглотившаяся энергия; 3 – звуковая энергия, прошедшая через толщу материала

Звукопроводность материала зависит от его массы и строения. Чем больше масса материала, тем больше звуковой энергии затрачивается, чтобы пройти через него, и тем меньше он проводит звук. Пористые и волокнистые материалы плохо проводят ударный звук, потому что звуковая энергия поглощается и рассеивается развитой поверхностью материала и переходит в тепловую энергию.

Звукопоглощение – физический процесс перехода звуковой энергии в тепловую называется. Мерой его измерения является коэффициент звукопоглощения, т. е. отношение звуковой энергии, поглощенной материалом (не отраженной от поверхности), к общему количеству падающей энергии в единицу времени.

Звукопоглощение зависит от степени и характера пористости материала, а также состояния его поверхности. Чем больше пористость и больше пор, сообщающихся между собой и выходящих на поверхность материала, тем выше коэффициент звукопоглощения.

Звукоизоляционные материалы и изделия защищают от распространения и проникновения ударного (структурного – распространяющегося внутри строительной конструкции), воздушного (громкая музыка, лай собак), акустического и другого звука (шума). Свойства таких материалов тесно связаны с их упругими деформациями: способностью уплотняться и восстанавливать первоначальные размеры при постоянной и переменной нагрузках. Такие материалы обладают, как правило, небольшим модулем упругости (не более 10 МПа), обуславливающим малую скорость распространения звука.

Так, например, скорость распространения звуковых волн (м/с) в стали составляет 5050, железобетоне – 4100, древесине – 1500, пробке – 50, поризованной резине – 30 м/с.

Кроме того, звукоизоляционная способность материалов пропорциональна их логарифму массы. Поэтому массивные конструкции обладают большей звукоизоляционной способностью от воздушного шума, чем легкие.

1.3.5 Эстетические свойства

Эстетические (архитектурно-художественные) свойства строительных материалов способствуют правильному выявлению объемно-пространственной структуры и композиции зданий и сооружений.

Они влияют также на восприятие среды жизнедеятельности человека, в том числе внешнего вида зданий, сооружений и их интерьеров.

К ним относятся *форма, цвет, фактура, рисунок, текстура* и др.

Форма материала или изделия воспринимается визуально через лицевую поверхность и определяется ее геометрией (кубическая, цилиндрическая, квадратная, прямоугольная, многогранная) и пропорциями (соотношениями) основных размеров, т. е. представляет собой внешнее очертание, наружный вид и контуры материала или изделия.

Она непосредственно влияет на своеобразие фасада или интерьера здания и является важной эстетической характеристикой многих строительных материалов и изделий (кирпича, черепицы паркета, столярных, профильно-погонажных, санитарно-технических изделий и др.).

Цвет – свойство поверхности избирательно отражать световые лучи или свойство света вызывать определённое зрительное ощущение в результате воздействия на сетчатку глаза человека электромагнитных колебаний, отражённых от лицевой поверхности, и является субъективным восприятием.

Качественными характеристиками цвета являются:

- *цветовая тональность* – определяется длиной волны чистого спектрального цвета;

- *насыщенность* – характеризуется степенью разбавления спектрального цвета белым и изменяется от 100% до нуля;

- *светлота* – определяется коэффициентом отражения, который для белых поверхностей близок к единице, а для черных – приближается к нулю.

Все цвета строительных материалов и изделий можно разделить на две группы: хроматические и ахроматические.

Хроматические цвета - (с английского chromatic colors - цветные цвета) - все цвета видимого спектра от красного до фиолетового и их оттенки.

В шкале ахроматических цветов выделяют белый, чёрный и серый, тоже со всеми оттенками.

По яркости различают тона интенсивный и неинтенсивный.

Фактура (от лат. *factura* — обработка, строение) – это характер поверхности материала или своеобразное строение материала, видимое на его поверхности.

Характеризуется степенью неровности (рельефом) или гладкости поверхности и блеском.

По степени рельефа материалы могут быть *гладкие* (от зеркально-блестящих до шероховато-ровных), *шероховатые* (высота рельефа до 5 мм) и *рельефные* (высота рельефа более 5 мм).

По степени блеска различают материалы с *блестящей* и *матовой* фактурой.

В современной отделке зданий предпочтение отдаётся, как правило, матовым фактурам, так как блестящие могут искажать восприятие интерьера.

Фактуру поверхности материала можно определить инструментальным или визуальным методами.

Рисунок – материальное изображение на лицевой поверхности изделий каких-либо предметов, явлений, совокупности графических элементов, а также особое строение твёрдых веществ, обусловленное характером расположения его составных частей. Если рисунок создан самой природой, то его принято называть **текстурой**. Например, у древесины, природного камня и др.

Рисунок, текстура, как и другие эстетические характеристики материалов, влияют на своеобразие наружной и внутренней отделки зданий и сооружений.

1.3.6 Химические свойства

Химические свойства материалов характеризуются их способностью к химическим превращениям под влиянием веществ (воздействий), с которыми они находятся в соприкосновении, а также способностью сохранять постоянными состав и структуру в условиях инертной окружающей среды.

Химическая активность материалов (веществ) характеризуется их способностью участвовать в химических реакциях с образованием новых соединений. Характеристикой химической активности может быть, как разнообразие возможных реакций, так и их скорость.

Химическая активность строительных материалов зависит от состава, строения (активности составляющих их молекул) и тонкости измельчения.

Проявление химической активности сопровождается, как правило, образованием новых веществ, упрочнением материалов (твердение цементного камня, силикатных материалов) или их разрушением (коррозия металлов, бетонов). Следовательно, химическая активность может быть положительной и отрицательной.

Дисперсность (от лат. *dispersus* – рассеянный, рассыпанный) означает рассеянность, раздробленность вещества и характеризует размер твёрдых частиц и капель жидкости. Понятие дисперсности простирается на широкую область размеров – от больших, чем простые молекулы, до видимых невооружённым глазом, т. е. от 10^{-7} до 10^{-2} см.

По мере роста дисперсности (измельчении твёрдого тела) увеличивается его суммарная или *удельная поверхность* при неизменном суммарном объёме и массе.

Величина, характеризующая степень раздробленности материала и развитости его поверхности, называется *удельной поверхностью* $S_{уд}$ ($\text{см}^2/\text{г}$).

С увеличением удельной поверхности вещества возрастает его химическая активность.

Например, цемент с удельной поверхностью 3000...3500 $\text{см}^2/\text{г}$ через 1 сут. твердения связывает 10...13% воды, а с удельной поверхностью 4500...5000 $\text{см}^2/\text{г}$ – около 18%.

Растворимость – способность вещества в смеси с одним или несколькими другими веществами образовывать однородные системы (растворы), в которых вещество находится в виде отдельных атомов, ионов, молекул или частиц.

Характеризуется концентрацией растворенного вещества в его насыщенном растворе и выражается в процентах, массовых или объёмных единицах.

Растворимость зависит от химического состава вещества, температуры и давления.

Гидрофильность (от греч. «*hydro*» и «*phileo*» – любящий воду) и **гидрофобность** (от греч. «*hydro*» и «*phobos*» – боящийся воды) являются характеристиками интенсивности молекулярного взаимодействия поверхности веществ (материалов) с водой, т. е. способности их смачиваться водой.

Гидрофильность и гидрофобность можно оценить по растеканию капли воды на гладкой поверхности тела. На гидрофильной поверхности капля растекается полностью, а на гидрофобной – лишь частично (рисунок 1.7).

Для снижения гидрофильности материалов необходимо изменять характер их поверхности, т. е. обрабатывать водоотталкивающими веществами, например, гидрофобизирующей жидкостью (ГКЖ) и др.

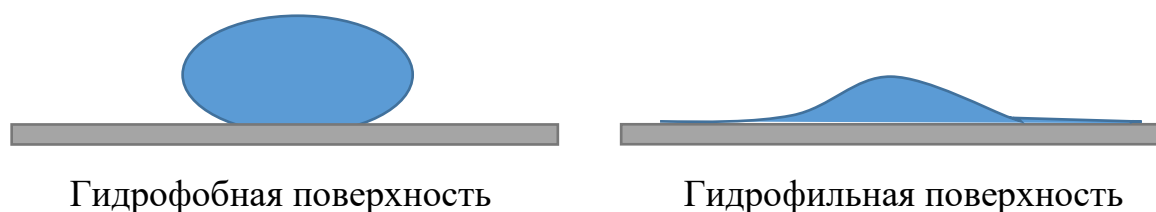


Рис. 1.7. Гидрофильная и гидрофобная поверхность

Коррозия – самопроизвольное разрушение материалов, вызываемое химическими и электрохимическими процессами при взаимодействии с внешней средой.

В зависимости от вида и характеристик среды, условий протекания процессов различают около 40 видов коррозии.

Например, разрушение материалов продуктами жизнедеятельности живых организмов (грибов, микробов, насекомых) называют *биокоррозией*. Изменение структуры и химического состава пластмасс под влиянием внешней среды называют *старением* и др.

1.3.7 Технологические свойства

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться тому или иному виду обработки. Так, например, к технологическим свойствам древесины относятся хорошая гвоздимкость, легкость обработки различными инструментами. Технологические свойства некоторых полимерных материалов включают способность обтачиваться, сверлиться, легко склеиваться, свариваться. Одним из основных технологических свойств растворной смеси является удобоукладываемость, т.е. способность легко укладываться тонким и плотным слоем на пористое основание и не расслаиваться при транспортировке, перекачивании насосами и хранении

Вязкость (внутреннее трение) – сопротивление жидкости передвижению одного ее слоя относительно другого. Характеризуется коэффициентом динамической вязкости (Па·с). Численное значение этого коэффициента зависит от вещественного состава и температуры.

Вязкость является одной из основных характеристик органических вязких веществ, клеев, масел, лакокрасочных материалов. Например, чем меньше вязкость лакокрасочного состава, тем легче наносить его пульверизатором, но в то же время, чем выше вязкость, тем больше можно его развести.

Пластичность – способность материала деформироваться без разрыва сплошности под влиянием внешнего механического воздействия и сохранять полученную форму после снятия нагрузки.

Адгезия (от лат. *adhaesio* – прилипание) – свойство одного материала прилипать к поверхности другого, т. е. это связь (сцепление) между приведенными в контакт разнородными поверхностями.

Адгезия двух различных материалов зависит от природы материала, формы и состояния поверхности, условий контакта и т. д.

Характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого и обуславливает склеивание твёрдых тел с помощью клеящего вещества – *адгезива*. Численно адгезия определяется как усилие при отрыве, приходящееся на единицу площади поверхности.

Адгезия имеет большое значение при получении композиционных материалов и изделий (бетонов, клееных изделий, отделочных материалов).

Когезия – сцепление частиц одного и того же вещества, обусловленное химическим межмолекулярным воздействием в пределах одной фазы и является характеристикой прочности материала и его способности противостоять внешнему воздействию.

Количественной мерой когезии в физическом понимании служит работа удаления взаимно притягивающихся молекул на бесконечно большие расстояния друг от друга.

Время и степень высыхания материала являются характеристиками лакокрасочных составов.

За время высыхания применяют время, за которое слой материала определённой толщины, нанесённый на пластинку, достигает необходимой степени высыхания при заданных условиях сушки.

Степень высыхания характеризует состояние поверхности материала при определённой продолжительности и температуре сушки в стандартных условиях испытания.

Технологические свойства бетонных и растворных смесей, будут рассмотрены в темах 12–14.

1.3.8 Механические свойства

Под **механическими свойствами** строительных материалов понимают их способность сопротивляться различного рода деформациям и разрушению (в сочетании с упругим и пластическим поведением) под действием внутренних или внешних сил (нагрузок), т. е. механические свойства характеризуют поведение материалов при действии различного вида нагрузок (сжимающей, растягивающей, изгибающей и т.д.).

В зданиях и сооружениях почти все конструкции испытывают или воспринимают внешние нагрузки – от частей зданий, оборудования, мебели, атмосферных осадков и др. В результате в материалах конструкций возникают напряжения, противодействующие этим силам, что может привести к деформациям и разрушению.

Деформация – это изменение размеров и формы материала и изделия вследствие изменения взаимного расположения его частиц, приводящее к возникновению напряжений. Наиболее простыми видами деформирования материалов являются: сжатие, растяжение, кручение, срез и изгиб (рисунок 1.8).

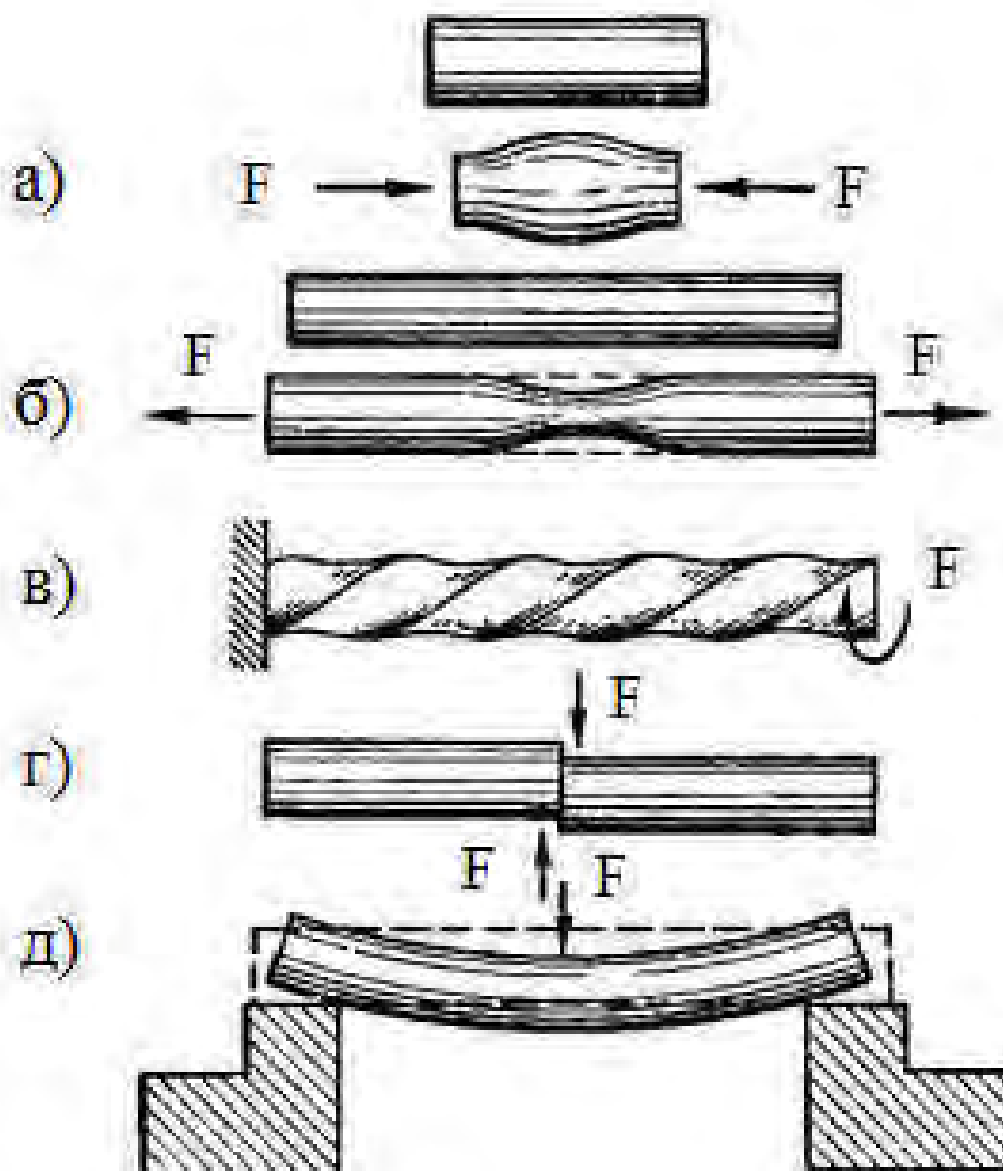


Рис. 1.8. Основные виды деформаций: а – сжатие; б – растяжение; в – кручение; г – срез (сдвиг); д – изгиб

Напряжением называют физическую величину, численно равную силе, приходящейся на единицу площади сечения. За единицу измерения напряжения принят паскаль (Па), равный давлению, которое вызывает сила в 1 ньютон (Н), равномерно распределенная по поверхности площади в 1 м^2 .

Строительные материалы по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности. Поэтому различают упругие и пластические

деформации. Если после снятия нагрузки образец восстанавливает свои первоначальные размеры и форму, то деформацию называют **упругой**. Если же он частично или полностью сохраняет изменённые размеры или форму, то такую деформацию называют **пластической**.

Следовательно, **упругость** – свойство материала деформироваться и восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки, **пластичность** (от греч. *plasticos* – податливый) – свойство материала изменять свою форму под нагрузкой, без нарушения сплошности структуры (появления трещин) и частично сохранять её после снятия нагрузки.

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению и деформациям под действием внутренних напряжений, возникающих от внешних нагрузок или других факторов (неравномерная усадка, нагревание и т.п.).

Количественно оценивается **пределом прочности**, т. е. предел прочности (временное сопротивление) – это напряжение, соответствующее наибольшей (разрушающей) нагрузке в момент разрушения материала к единице площади или критическое напряжение, при котором наступает разрушение материала.

Предел прочности определяют нагружением до разрушения испытываемых образцов материала с помощью гидравлических прессов или разрывных машин. Испытание проводят на образцах (кубах, цилиндрах, призмах, балочках), форма и размеры которых указаны в стандартах на соответствующий материал.

Предел прочности при сжатии или растяжении (рисунок 1.9) вычисляют делением максимальной нагрузки при разрушении образца (F) на площадь первоначального поперечного сечения (S):

$$R_{сж} = \frac{F_{max}}{S}, \quad R_{раст} = \frac{F_{max}}{S}$$

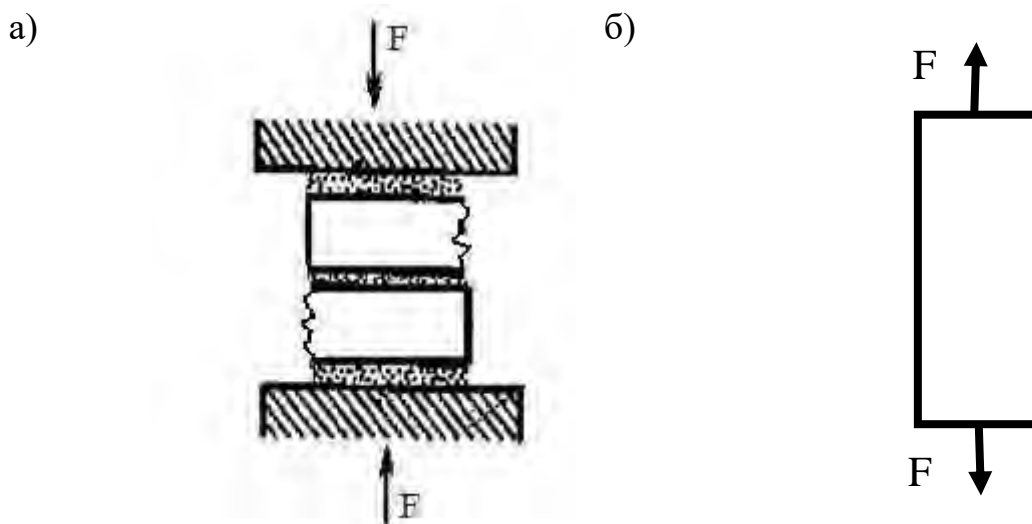


Рис. 1.9. Схема испытания образцов на сжатие (а) и растяжение (б)

Нагрузка выражается в меганьютонах (МН), площадь – в квадратных метрах (м²). Поэтому предел прочности, как и напряжение, в Международной системе единиц (СИ) измеряется МН/м² (Н/мм²) или в МПа. В некоторых нормативных документах сохраняется размерность показателя предела прочности в технической системе единиц – кгс/см². При этом 1 мегапаскаль = 10⁶ Па, 1 МПа ≈ 10 кгс/см².

Предел прочности при изгибе определяют на образцах призмах, расположенных на двух опорах (рисунок 1.10). Сила (F) прикладывается, как правило, в середине образца.

$$R_{\text{изг}} = \frac{3F_{\text{max}}l}{2bh^2},$$

где l – расстояние между опорами, см; b – ширина образца, см; h – высота, см.

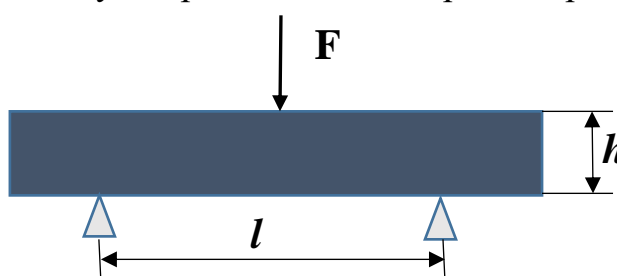


Рис. 1.10. Схема испытания образца на изгиб

На величину прочности испытываемых материалов оказывают влияние размеры и форма образцов, характер обработки их поверхности, скорость нарастания нагрузки и другие факторы. Поэтому при испытании материалов необходимо строго придерживаться указаний стандарта.

Предел прочности при сжатии строительных материалов колеблется в довольно широких пределах от 0,5 МПа (некоторые виды теплоизоляционных материалов), до 1000 МПа и выше (высокосортные стали). Например, у кирпича от 7,5 до 30 МПа, у бетона – до 115 МПа и более (таблица 1.2).

Таблица 1.2. Прочность и модуль упругости ряда строительных материалов

Материал	Прочность, МПа			Модуль упругости, МПа
	сжатие	изгиб	растяжение	
Сталь	210...600	-	380...900	$2 \cdot 10^5$
Гранит	150...250	-	3...5	$0,49 \cdot 10^5$
Бетон тяжёлый	10...120	2...8	1...4	$(0,146...0,232) \cdot 10^5$
Кирпич	7,5...30	1,8...4,4	-	-
Сосна	40...48	70...85	90...110	$(0,135...0,15) \cdot 10^5$
Дуб	52...57	93...107	100...115	
Стекло	500...2000	35...100		$(0,48...1,2) \cdot 10^5$
Стеклопластик	90...150	130...250	60...120	$0,55 \cdot 10^5$
Каучук	-	-	8	$0,00008 \cdot 10^5$

Методы испытания для определения прочности путём разрушения испытываемых образцов называются разрушающими.

В строительной практике применяются и неразрушающие способы контроля прочности (ультразвуковой способ, метод ударного импульса и др.).

Коэффициент конструктивного качества (удельная прочность) $K_{КК}$ оценивается по отношению прочности материала (R) к его средней плотности ($\rho_{ср}$).

$$K_{КК} = \frac{R}{\rho_{ср}}$$

Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность.

Физически коэффициент конструктивного качества выражает собой максимальную высоту столба из данного материала, когда в основании под действием собственной массы возникают разрушающие напряжения.

Твёрдость – способность материала сопротивляться прониканию в него другого, более твёрдого материала. Существует ряд методов определения твёрдости в зависимости от вида и назначения материала.

Твёрдость природных каменных материалов оценивают по шкале сравнительной твёрдости Мооса (по имени немецкого минеролога F. Mohs. Шкала Мооса предназначена для грубой сравнительной оценки твёрдости материалов. Она состоит из 10 минералов, принятых за эталон и расположенных по степени возрастания их твёрдости, из которых первый – тальк (самый мягкий) и десятый – алмаз (самый твёрдый). Показатель твёрдости испытываемого материала находится между показателем твёрдости двух соседних минералов.

Однако твёрдость большинства материалов (металлов, пластмасс, древесины, бетона) определяют вдавливанием в образцы с установленным усилием индентора – стального шарика либо твёрдого наконечника правильной геометрической формы (конуса или пирамиды). По величине образующегося отпечатка рассчитывают показатель твердости. В зависимости от типа и формы индентора различают показатель твердости по Бринеллю (символ HB), по Виккерсу (HV), по Кнуппу (HN) и др.

Результаты испытаний одних и тех же материалов, проведенных различными методами, как правило, не совпадают, хотя сходимость их имеет место.

Твёрдость нельзя отождествлять с понятием прочности.

Например, древесина по прочности равна или превосходит прочность бетона, но твёрдость её значительно меньше.

Тем не менее, для некоторых материалов существует определённая связь между твёрдостью и прочностью, например, у металлов.

Хрупкость – свойство материала внезапно разрушаться после незначительной пластической деформации.

Хрупкому материалу, в отличие от пластичного, нельзя придать форму, так как под нагрузкой материал быстро разрушается, т. е. дробится на части или рассыпается. Хрупкими являются природные и искусственные камни, стекло, чугун и некоторые полимерные материалы. Однако провести чёткую границу между пластичными и хрупкими материалами практически невозможно, поскольку на характер деформации влияют множество факторов: температура, тип напряжённого состояния, скорость деформации, окружающая среда и др.

Ползучесть – свойство материала медленно и непрерывно увеличивать пластические деформации в течение длительного периода времени под действием постоянной нагрузки.

Истираемость – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям, которые вызывают постепенный отрыв и удаление с поверхности материала мелких частиц. Значимость этого показателя связана с трением о поверхность материала подошв обуви, транспортных средств и т.д.

Сопротивление материала истиранию определяют на специальных приборах (кругах истирания) путём воздействия на образец абразивами (кварцевым песком, наждаком, наждачной шкуркой).

Оценивается истираемость по величине потери массы (объёма, толщины) образца, отнесённой к площади истирания, и выражается в г/см²:

$$И = \frac{m_1 - m_2}{S}$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания, г; S – площадь истирания, см².

Степень истираемости зависит от прочности и твёрдости материала. Чем больше твёрдость материала, тем меньше его истираемость. Например, для гранита показатель истираемости равен 0,03...0,07 г/см², а для известняка и мрамора в 10...15 раз больше.

Истираемость является важной характеристикой для оценки эксплуатационных свойств материалов напольных и дорожных покрытий, лестниц, ступеней и др.

1.3.9 Эксплуатационные свойства

Эксплуатационные свойства материалов проявляются в процессе эксплуатации и обеспечивают высокую надёжность работы материалов в течение заданного срока службы.

Свойства строительных материалов не остаются постоянными во времени, а постепенно изменяются. Причиной этому служат различные механические, химические, биологические и другие воздействия окружающей среды в процессе эксплуатации. Такие изменения могут происходить медленно (десятилетиями и столетиями, например, разрушение горных пород) и сравнительно быстро (коррозия металлов, бетона). Поэтому материалы должны обладать не только комплексом положительных свойств, но и сохранять их длительное время в процессе эксплуатации в конструкциях и сооружениях.

Водостойкость – это способность материала противостоять растворяющему, адсорбционному и химическому воздействию воды. Практически это степень снижения прочности материала при предельном его водонасыщении. Численно характеризуется коэффициентом размягчения:

$$K_{\text{разм}} = \frac{R_{\text{нас}}}{R_{\text{сух}}}$$

где $R_{\text{нас}}$ – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии МПа; $R_{\text{сух}}$ – то же, сухого материала, МПа.

Снижение прочности насыщенных водой материалов обусловлено частичным разрушением структуры вследствие разрыва наиболее слабых химических связей. Величина коэффициента размягчения для разных материалов колеблется от 0 (необожжённая глина) до 1,0 (стекло, битум, сталь). Критерием водостойкости принято считать 20%-е снижение прочности, т. е. материалы с $K_{\text{разм}} \geq 0,8$ относятся к водостойким. При $K_{\text{разм}} < 0,8$ материалы не водостойки и не могут применяться в воде и в сырых условиях.

Водостойкость материалов можно повысить путём нанесения на его поверхность гидрофобных покрытий.

Морозостойкость – способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности, т. е. на заданном уровне.

Причиной разрушения является вода, которая, замерзая в порах, увеличивается в объёме почти на 10%. Если поры заполнены водой, то возникает давление на стенки пор, достигающее иногда нескольких десятков МПа (до 200 МПа) и приводящее к разрушению материала. Обычно эти разрушения начинаются с поверхности, а затем распространяются внутрь материала. Хотя во многих пористых материалах вода и не заполняет более 90% объёма пор, т. е. образующийся лёд имеет свободное пространство для расширения, тем не менее, материал разрушается в результате

многократного попеременного замораживания и оттаивания. Поэтому количественно морозостойкость материалов оценивается циклами замораживания и оттаивания. Количество циклов определяется по потере прочности и массы.

Материалы на морозостойкость испытывают в холодильных камерах путём замораживания насыщенных водой образцов при температуре $-15\dots-17$ °С и последующего их оттаивания при температуре (18 ± 2) °С. По числу выдерживаемых циклов замораживания и оттаивания материалы подразделяют на марки. Марка состоит из буквенного обозначения F (от Freeze – замерзать) и численного значения, которое выражает количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, выдерживаемых образцами без снижения прочности на $5\dots 25\%$ и потери массы на $3\dots 5\%$ в зависимости от назначения материала. Допускаемые значения (пределы) потери массы и прочности приводятся в стандартах на конкретный материал. Нормативными документами приняты следующие марки строительных материалов по морозостойкости – от F 10 до F 300 (10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200) и более.

Морозостойкость материала зависит от плотности, прочности, пористости и степени насыщения водой. Пористые материалы являются морозостойкими, если они имеют закрытые поры или вода занимает не более 90% объёма пор. Плотные материалы (гранит, стекло и др.), как правило, морозостойки.

Морозостойкость материалов можно повысить путём увеличения его прочности, уменьшения пористости, создания закрытых пор в материале, а, так же за счёт использования гидрофобизирующих веществ при изготовлении материала.

Термическая стойкость – способность материала выдерживать или сохранять свои физико-механические свойства при чередовании резких тепловых изменений (нагревание и охлаждение). Это свойство зависит от однородности материала и температурного коэффициента расширения. Чем более однородный материал, тем он, как правило, более термостойкий. Так, например, каменные материалы из мономинеральных горных пород (мрамор) более термостойки, чем из полиминеральных (например, гранит).

Чем меньше коэффициент термического расширения, тем выше термическая стойкость материала.

Пожарно-технические свойства. Основными показателями пожарной опасности строительных материалов, изделий и конструкций являются горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующая способность, токсичность продуктов горения и огнестойкость.

По горючести строительные материалы подразделяют на негорючие и горючие. К **негорючим** относят материалы не способные гореть в воздухе нормального состава при температуре до 200°С. В основном это минеральные материалы – бетоны, металлы, стекло, керамика и др.

Горючие строительные материалы (на основе органических растительных компонентов – древесина, пластмассы (в абсолютном большинстве) и др. в зависимости от параметров горючести подразделяются на слабо горючие (Г1), умеренно горючие (Г2), нормально горючие (Г3) и сильно горючие (Г4) (таблица 1.3).

Таблица 1.3. Классификация материалов по степени горючести

Группа горючести	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов, °С	Степень повреждения по длине, %	Степень повреждения по массе, %	Продолжительность самостоятельного горения, с
Г1	≤135	≤65	≤20	0
Г2	≤235	≤85	≤50	≤30
Г3	≤450	>85	>50	≤300
Г4	>450	>85	>50	>300

Характеристикой обратной горючести является **несгораемость**, т. е. способность материала не загораться. Согласно Международному стандарту ISO 1182 материал определяется как несгораемый, если при температуре 750 °С он не выделяет излишней энергии – не загорается и не начинает тлеть сам.

Воспламеняемость – способность материала к горению пламенем в заданных условиях.

В зависимости от ряда показателей горючие строительные материалы по воспламеняемости подразделяются на три группы:

- В1 (трудновоспламеняемые);
- В2 (умеренно воспламеняемые);
- В3 легковоспламеняемые.

По **распространению пламени** по поверхности горючие строительные материалы подразделяются на группы:

- РП1 (не распространяющие пламя),
- РП2 (слабо распространяющие пламя),
- РП3 (умеренно распространяющие пламя),
- РП4 (сильно распространяющие пламя).

Показатель распространения пламени определяют для поверхностных слоев кровли и полов, в т. ч. ковровых покрытий.

Некоторые органические материалы при действии огня не дают открытого пламени, но спекаются, оплавляются, образуют дым и выделяют вредные для здоровья человека газы. Если, например, древесина и пенополистирол при горении выделяют только угарный и углекислый газы, то отдельные пластмассы выделяют фенол, оксиды серы, фосфора и другие вредные или ядовитые вещества.

В зависимости от способности создавать ту или иную опасную среду строительные материалы подразделяются на группы по дымообразующей способности и токсичности продуктов горения.

По **дымообразующей способности** (значению коэффициента дымообразования – оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении материала в $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$) строительные материалы делятся на группы:

- Д1 (с малой дымообразующей способностью – до $50 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$);
- Д2 (с умеренной дымообразующей способностью – $50 \dots 500 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$);
- Д3 (с высокой дымообразующей способностью – свыше $500 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$).

Показатель **токсичности** продуктов горения определяют преимущественно, для полимерных отделочных и теплоизоляционных материалов. Различают:

- Т1 (малоопасные);
- Т2 (умеренно опасные);
- Т3 (высоко опасные);
- Т4 (чрезвычайно опасные).

Огнестойкость характеризует способность материала в конструкции выдерживать воздействие огня, высоких температур, воды и ограничивать распространение огня в условиях пожара в течение определенного промежутка времени. Устанавливается по пределу – времени в минутах (часах) от начала теплового воздействия до наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний (потери несущей способности «R», целостности «E», теплоизолирующей способности «I» или ограничение плотности потока теплового излучения – «W») Например, предел огнестойкости элементов деревянного дома составляет 15...20 мин, стального каркаса – 30 мин, железобетонных изделий – 60...120 мин, бетонных – 120...300 мин.

Огнестойкость материалов учитывается при проектировании несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений различного назначения, а также при выборе материалов для их отделки.

По совокупности всех показателей пожарной опасности строительные материалы подразделяются на классы от КМ0 (негорючие) до КМ1...КМ5 (горючие) (таблица 1.4).

Таблица 1.4. Классы пожарной опасности строительных материалов

Свойства пожарной опасности	Класс пожарной опасности					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	-	В1	В1	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	-	Д1	Д3	Д3	Д3	Д3
Токсичность продуктов горения	-	Т1	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени по поверхности	-	РП1	РП1	РП2	РП3	РП4

Огнеупорность – свойство материала противостоять, не расплавляясь, воздействию высокой температуры.

Характеризуется температурой, при которой образец в форме пирамиды деформируется и вершиной касается основания.

По степени огнеупорности материалы подразделяют на:

- легкоплавкие – способны длительное время выдерживать температуру до 1350°С (пустотелый и полнотелый керамический кирпич);
- тугоплавкие – 1350...1580°С (гжельский кирпич для кладки печей);
- огнеупорные – свыше 1580 °С (динас, шамот, корунд и др.).

Химическая (коррозионная) стойкость – свойство материала сопротивляться коррозионному воздействию агрессивной среды (жидкой, газообразной, твёрдой) или физическому воздействию (нагревание, облучение, электрический ток).

Основными агрессивными агентами, вызывающими коррозию строительных материалов, являются: пресная и солёная вода, минерализованные почвенные воды, растворенные в дождевой воде газы (SO_3 , SO_2 , CO_2 , NO_2) от промышленных предприятий и автомашин, микроорганизмы (биокоррозия).

Большинство строительных материалов не обладают достаточной стойкостью к действию кислот, солей, щелочей, природных факторов.

Коррозионная стойкость зависит от химического состава материала и пористости, определяющей условия взаимодействия с агрессивной средой. Химическая стойкость каждого материала оценивается нормативно-техническими документами.

Различают также **биологическую стойкость** – способность материалов сопротивляться действию процессов жизнедеятельности бактерий и живых организмов (биологической коррозии). Низкую биологическую стойкость имеют преимущественно материалы органического происхождения.

Радиационная стойкость (радиация от лат. *radiatio* - излучение) – свойство материала сохранять исходный химический состав, структуру и технические характеристики в процессе и (или) после воздействия ионизирующих излучений.

Радиационная стойкость материалов существенно зависит от вида радиации, величины и мощности поглощённой дозы, режима облучения (непрерывное или импульсное, кратковременное или длительное), условий эксплуатации материала (температура, давление, механические нагрузки), размеров конструкции, удельной поверхности и других факторов.

При длительном воздействии на материал ионизирующих излучений возможны разрывы химических связей в структуре материала, смещение атомов в кри-

сталлической решётке, аморфизация структуры, образование внутренних напряжений, деформаций и трещин, изменения упругих характеристик, плотности и теплопроводности материалов. Все это в конечном итоге приводит к разрушению материала.

Для защиты от радиоактивных излучений применяют гидратные, имеющие повышенное содержание химически связанной воды, особо тяжёлые бетоны (плотность 3000...5000 кг/м³) и другие материалы.

Долговечность – способность материала сопротивляться комплексному воздействию атмосферных и других факторов в условиях эксплуатации. К таким факторам можно отнести интенсивность воздействия нагрузок, изменение температуры и влажности, действие различных газов или растворов солей, совместное действие воды и мороза, солнечных лучей и т.п.

Долговечность оценивается экспериментальным или расчётным путём в годах от начала эксплуатации в заданных условиях до момента достижения предельного состояния (критических уровней). Например, для железобетонных и каменных конструкций нормами предусмотрены три степени долговечности: I – соответствует сроку не менее 100 лет, II – 50 лет, III – 20 лет.

Долговечность строительных материалов оказывает существенное влияние на величину эксплуатационных затрат, содержание зданий и сооружений.

Надежность - способность строительного объекта выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации.

ТЕМА 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1. Общие сведения

Горные породы – естественные (природные) плотные или рыхлые агрегаты разнообразных минералов или обломков каких-либо пород, более или менее постоянного минералогического и химического составов, образующие самостоятельные геологические тела, слагающие земную кору, литосферу.

Минералы – это природные физически и химически однородные тела, возникающие в земной коре в результате физико-химических процессов. Каждый минерал имеет определенный состав.

Каждая горная порода имеет свои породообразующие минералы.

Горные породы, состоящие из зёрен одного минерала (например, известняк, мрамор состоят из кристаллов кальцита) являются мономинеральными. Полиминеральными, когда произошло срастание двух или нескольких минералов, различных по химическому составу и свойствам (например, гранит состоит из зёрен кварца, полевого шпата, слюды) (рис. 2.1).

90 % слагают полиминеральные горные породы: гранит, лампрофир, гнейс, перидотит, дунит, горнблендит и др. Меньшую часть составляют мономинеральные породы.



Рис. 2.1. Полиминеральная горная порода

Внутреннее строение горных пород определяется структурными и текстурными особенностями, которые в свою очередь обусловлены формой, размерами, взаимным расположением минеральных зёрен, частиц, составляющих горную породу.

Изучением горных пород занимаются науки петрография, петрология и литология.

2.2. Породообразующие минералы

Все породообразующие минералы в зависимости от химического состава, кристаллической структуры, других показателей условно делят на группы:

- кремнеземистые (силикаты);
- полевые шпаты(алюмосиликаты);
- железисто- магнезиальные;
- карбонаты;
- сульфаты.

2.2.1. Минералы группы кремнезема

Кристаллический кварц отличается сравнительно высокой плотностью (2,6...2,8 г/см³), прочностью (до 200 МПа), твёрдостью (7 – по шкале твёрдости Мооса), химической стойкостью и другими положительными свойствами. Он может быть прозрачным, бесцветным, белым, железистым или других цветов (рис. 2.2).

При температуре 1710 °С кварц плавится и после быстрого охлаждения образует аморфный кремнезём (кварцевое стекло) плотностью 2,3 г/см³. В аморфном состоянии кремнезём встречается в осадочных горных породах в виде минерала опала – SiO₂·nH₂O, т.е. гидратированного кремнезёма (рис.2.3).



Рис.2.2. Кварц



Рис.2.3. Опал

Свойство аморфного кремнезёма широко используют при изготовлении минеральных вяжущих, например, пуццолановых и шлакопортландцементов.

2.2.2. Минералы группы алюмосиликатов

Полевые шпаты составляют 58 % всей литосферы и являются самыми распространенными минералами. Разновидности их ортоклаз и плагиоклазы.

Ортоклаз – калиевый полевой шпат $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, имеет среднюю плотность 2,57 г/см³, твердость – 6,5. Является основной частью гранитов, сиенитов.

Плагиоклазы – минералы, состоящие из смеси твердых растворов альбита и анортита (рис. 2.4).

Альбит – натриевый полевой шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, имеет среднюю плотность 2,6 г/см³, твердость – 6–6,5.



Полевой шпат



Рис.2.4. Плагиоклаз

Анортит-кальциевый полевой шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ имеет среднюю плотность 2,6 г/см³, твердость 6–6,5.

Слюды – водные алюмосиликаты слоистого строения, способные расщепляться на тонкие пластинки. Наиболее часто встречаются два вида – мусковит и биотит. Мусковит – калиевая бесцветная слюда $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ или $KAl_2(OH, F)_2 \cdot (AlSi_3O_{10})$. Обладает высокой химической стойкостью, тугоплавка. Биотит – железисто-магнезиальная слюда черного или зелено-черного цветов $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6(Mg, Fe)O \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ или $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2 \cdot (AlSi_3O_{10})$. Слюды имеют твердость 2–3. Мусковит встречается в изверженных и осадочных породах, биотит – в изверженных.



Рис.2.5. Группа железисто-магнезиальные минералы

Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – минерал, получаемый в результате разрушения полевых шпатов и слюд (рис.2.5). Залегают в виде землистых рыхлых масс. Применяют для изготовления керамических материалов.



Рис. 2.5. Каолинит

2.2.3. Группа железисто-магнезиальных минералов

Железисто-магнезиальных минералов является их высокая плотность (3000...3600 кг/м³), ударная вязкость, стойкость против выветривания и тёмная окраска. Поэтому их называют ещё «тёмноокрашенными».

К ним относят пироксены, амфиболы, оливины и др. (Рис.2.6).

Они входят в состав таких горных пород, как габбро, диабазы, базальты.

2.2.4. Группа карбонатов

Кальцит $CaCO_3$ имеет среднюю плотность 2,7 г/см³, твердость – 3. Вскипает при воздействии слабого раствора соляной кислоты. Входит в состав мела, известняков, мрамора, травертинов.

Магнезит $MgCO_3$ имеет среднюю плотность 3,0 г/см³, твердость – 3,5–4. Вскипает от горячей соляной кислоты. Образует породу с тем же названием (рис.2.6).

Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ имеет плотность 2,8–2,9 г/см³, твердость – 3,5–4. По свойствам занимает среднее положение между кальцитом и магнезитом. Входит в состав мраморов. Образует породу с таким же названием.

Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ имеет среднюю плотность 2,3 г/см³, твердость 1,5–2,0, цвета – белый, серый, красноватый. Строение кристаллическое. Хорошо растворяется в воде. Образует породу – гипсовый камень.

Ангидрит $CaSO_4$ имеет среднюю плотность 2,9–3 г/см³, твердость – 3–3,5, строение кристаллическое. При насыщении водой переходит в гипс (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Ангидрит



Рис. 2.6. Магнезит

2.3. Классификация горных пород по образованию

В зависимости от условий формирования горные породы делятся на генетические группы (рис.2.8).



Рис.2.8. Генетическая классификация горных пород

Магматические и метаморфические горные породы составляют около 90 % объема земной коры. Остальные 10 % приходятся на долю осадочных горных пород, но они занимают порядка 75 % площади земной поверхности.

Глубинные - это породы, образовавшиеся при застывании магмы на разной глубине в земной коре.

Излившиеся породы образовались при вулканической деятельности, излиянии магмы из глубин и затвердении на поверхности. Обломочные породы образовались при быстром охлаждении лавы

Осадочная порода образуется в условиях переотложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности растений. В результате воздействия агентов химического выветривания происходит окисление минералов, их гидратация, а

также разложение минералов сложного состава с образованием новых минеральных видов и выносом в растворенном состоянии различного рода соединений.

Метаморфические образовались под воздействием изменившихся физико-химических условий среды путем перекристаллизации породы без существенного плавления.

2.4. Магматические горные породы

Магматические горные породы формировались в результате застывания прорвавшейся в слои земной коры или на ее поверхность расплавленной магмы.

Если магма застывала под землей (на большой глубине, где преобладали высокие температуры и давление), охлаждение шло медленно и такие породы называли глубинными (интрузивными),

если на поверхности – быстрее и породы называли излившимися (эффузивными). Для глубинных магматических пород свойственно массивное сложение, для излившихся – как массивное, так и пузырчатое, шлаковое и др.

По содержанию кремнезёма магматические породы подразделяют на кислые (85...65% SiO₂), нейтральные (65...52% SiO₂) и основные (52...35% SiO₂).

К глубинным породам относятся граниты, сиениты, диориты, габбро, лабрадориты и др.

Гранит обладает плотностью 2600...2800 кг/м³, морозостойкостью (более 200 циклов) и прочностью при сжатии – 120...300 МПа.

Пористость гранита не превышает 1,5%, водопоглощение – 0,5%. Долговечность составляет 1000 и более лет. В зависимости от соотношения минералов и прежде всего от главной составляющей (полевого шпата) гранит имеет цвет от серого до чёрного, в том числе розовый, тёмно-красный, зелёный и даже голубой (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Гранит

Вместе с тем гранит – хрупкая порода и недостаточно огнестойкая. При пожарах сравнительно легко растрескивается.

Применяется гранит:

- для внешней облицовки зданий и сооружений,
- для изготовления бортовых камней,
- ступеней, колон,
- в качестве напольного покрытия в больших залах,
- декоративных элементов в ландшафтном дизайне и как заполнитель для бетонов и др. (рис.2.10).



Рис.2.10. Александровская колонна в Санкт-Петербурге (высота 25,6 м , массой около 600 т)

Сиениты – по минералогическому составу отличаются от гранитов отсутствием кварца. Обладают плотностью 2600...2800 кг/м³, морозостойкостью (более 200 циклов) и прочностью при сжатии – 120...150 МПа. Более вязкие породы и лучше полируются. Область применения как у гранитов.

Габбро - самая прочная и стойкая магматическая порода (рис.2.12). Плотность 2800...3000 кг/м³, морозостойкостью (более 200 циклов) и прочностью при сжатии – 200...350 МПа. Высокая вязкость породы и стойкость против выветривания.

Применяется

- в качестве облицовочного и штучного камня,
- заполнителя для бетона,
- сырья для каменного литья и минеральной ваты,
- балластировки автомобильных дорог и железнодорожных путей.

Разновидностью породы габбро является лабрадорит (рис. 2.13).

Имеет массивную текстуру и зернисто-кристаллическую структуру.

Обладает яркими переливами цветов: синего, голубого, зелёного, золотистого и др.

Плотность породы составляет 2700...2860 кг/м³, пористость – 1,2...1,8%, прочность на сжатие – 40...160 МПа, водопоглощение – 0,14...0,21%.

Используется в качестве ценного и красивого облицовочного камня.



Рис.2.12. Габбро

Излившиеся (вулканические) горные породы образовались в результате вулканического извержения магмы, застывшей ближе к поверхности (в приповерхностных слоях до 5 км) или на самой поверхности земли при более низкой температуре и давлении. Из-за быстрого охлаждения магмы, такие породы закристаллизовались частично.

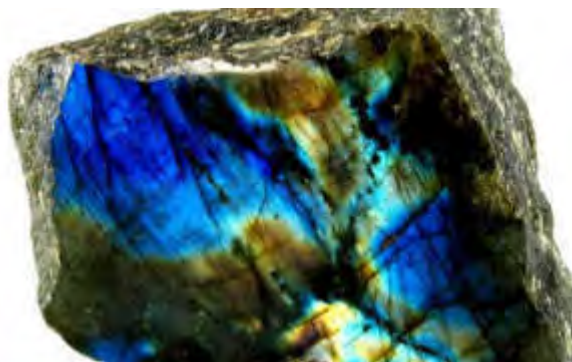


Рис.2.13. Лабрадорит

Излившиеся горные породы могут иметь как плотное строение (массивные породы), так и пористое (рыхлые и сцементированные).

К массивным излившимся горным породам относятся порфиры, диабазы, базальты и др. (рис.2.14).

Порфиры (от греческого «порфиреос» – красный, пурпурный) по химическому составу и строительным свойствам близки к гранитам.

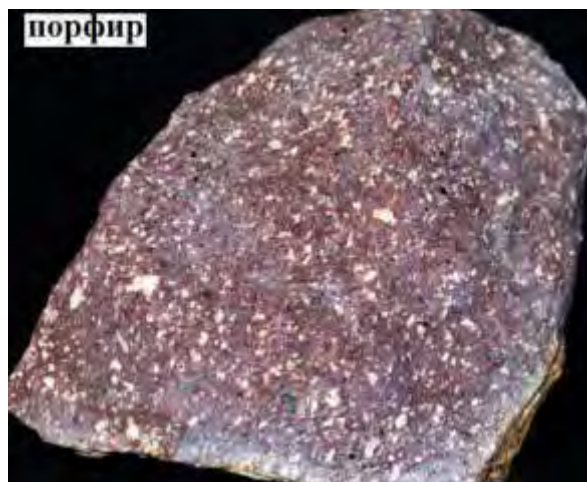


Рис. 2.14 Порфир

Имеют две разновидности кварцевую (аналоги гранитов) и бескварцевую (аналоги сиенитов).

Отличаются от гранитов неоднородностью строения и наличием вкрапленников в мелкозернистой структуре.

Стойкость их к выветриванию ниже, а декоративные свойства выше, чем у гранитов.

Цвет у порфиров – от красно-бурого до серого с различными оттенками, плотность – 2400...2500 кг/м³, прочность на сжатие – 120...130 МПа.

Из порфиров изготавливают облицовочные плиты, щебень и штучный камень в дорожном строительстве.

Базальт – плотность их составляет 2600...3300 кг/м³, водопоглощение – 0,15...10%, прочность на сжатие – 110...500 МПа, температура плавления – 1100...1250 °С. Цвет базальтов обычно темно-серый, чёрный или зеленовато-чёрный, структура – скрытокристаллическая порфировая (рис. 2.15).



Рис.2.15.Базальтовые месторождения

Плавленный базальт имеет более высокую прочность (до 800 МПа) и долговечность.

Применяется как облицовочный материал, заполнитель для бетона и в дорожном строительстве.

Диабаз – отличается высокой твёрдостью, вязкостью, долговечностью и относительно невысокой температурой плавления – 1200...1300 °С. Прочность плавленого диабаза возрастает в 2 – 2,5 раза (500 МПа против 200...300 МПа).

Плавленный диабаз также стоек к кислотам и щелочам.

Обладает низкой истираемостью и поэтому является хорошим материалом для устройства дорожных покрытий и получения высокопрочного щебня, а также в качестве сырья для каменного литья.

Перлит (от фр. *perle* – жемчуг) – это природное вулканическое стекло, обогащённое водой, т. е. это застывшее вулканическое стекло излившихся пород, которые вышли на поверхность по трещинам в земной коре.

Содержание воды в нём колеблется в очень широких пределах от 1 до 12% и выше. После измельчения и термообработки получают сыпучий пористый материал насыпной плотностью от 80 до 600 кг/м³ (рис. 2.16).

Вспученный перлит применяют как заполнитель при изготовлении легких бетонов и растворов, тепло- и звукоизоляционных материалов.



Рис. 2.16. Перлит

Вермикулит – (от лат. *vermiculus* – червеобразный) является мономинеральной горной породой (минералом) из группы гидрослюд.

Имеет слоистую структуру и содержит воду в связанном состоянии 5...18%. Окраска – бурая, золотистая, зелёная, серая, чёрная. При нагревании до 750 °С увеличивается в объеме в 18...40 раз с образованием легкого рыхлого материала (рис. 2.17).



Рис.2.17. Вермикулит

Вспученный вермикулит применяется для изготовления теплоизоляционных изделий.

Вулканический пепел – порошкообразные частицы вулканической лавы, состоящие, в основном, из мельчайших обломков вулканического стекла (аморфного кремнезёма), кристаллических зёрен кварца и других минералов (рис.2.18).

Рыхлые массы (образования) с крупностью частиц до 2 мм называют вулканическим пеплом, от 0,16 до 5 мм – вулканическим песком и более 5 мм – пемзой.

Применяются в качестве активной минеральной добавки к вяжущим веществам (цемент, известь) и как заполнители для лёгких бетонов.



Рис.2.18. Вулканический пепел

Пемза – образовалась при быстром охлаждении магмы и интенсивном выделении из неё газов, вспучивающих массу. До 70% пемза состоит из аморфного кремнезема и до 15% глинозема.

Плотность 400...600 кг/м³, прочность на сжатие до 4 МПа, до 80% замкнутых пор.

Используют пемзу как заполнитель для легких бетонов и растворов, гидравлическую добавку к цементам, в качестве тепло- и звукоизоляционного, шлифовального и другого рода материалов.

Вулканический туф – это мелкопористая порода, состоящая из вулканического пепла и пемзы, уплотнённых и сцементированных(рис.2.19).

Вулканический туф характеризуется значительной пористостью (50...70%), низкой плотностью (1200...1300 кг/м³) и теплопроводностью, достаточной прочностью, долговечностью и хорошо обрабатывается.

Применяется как стеновой материал в виде блоков и облицовочных плит.



Рис.2.19. Вулканический туф

Отходы при этом используются в качестве заполнителей для лёгких бетонов.

2.5. Осадочные горные породы

Осадочная порода образуется в условиях переложения продуктов выветривания и разрушения различных горных пород, химического и механического выпадения осадка из воды, жизнедеятельности растений. Тектурные признаки осадочных пород это слоистость и пористость.

В зависимости от условий образования их условно подразделяют на породы:

Обломочные	<ul style="list-style-type: none"> • Галька • Гравий • Песок • Глина
Химические	<ul style="list-style-type: none"> • Гипс • Доломит • Каменная соль
Органические	<ul style="list-style-type: none"> • Каменный уголь • Известняк-ракушечник • Мел

Доломиты – образуются в основном путём химического изменения известняковых пород и выпадением из водных растворов (рис.2.20).

Плотность составляет $\approx 2850 \text{ кг/м}^3$), цвет – серовато-белый с желтоватым, буrowатым и зеленоватым оттенками до чёрного. Твёрдость – 3,5...4,0.



Рис. 2.20. Доломиты

Применяют для изготовления облицовочных плит, щебня для бетона, огнеупоров, минеральных вяжущих веществ, в стекольной промышленности.

Гипсовый камень (гипс) – плотная порода белого или светло-серого цвета. Образовалась примерно 100...200 млн. лет назад вследствие гидратации залежей ангидрита или выветривания соляных месторождений. Средняя плотность составляет 2100...2300 кг/м³, истинная - 2,3...2,4 г/см³, твердость – 1,5...2 (рис. 2.21).



Рис.2.21. Гипсовый камень

Основное применение – сырьё для производства гипсовых вяжущих веществ .

Известняк (белый камень) – образовался в водных бассейнах из остатков животного и растительного мира, или как продукт химических осадков (рис.2.22).



Рис.2.22. Известняк

Плотность известняков составляет от 800 кг/м^3 (известняк-ракушечник, травертин) до 2800 кг/м^3 (плотные кристаллические).

Прочность на сжатие соответственно от 0,4 до 300 МПа.

Твёрдость известняков невелика, поэтому они хорошо поддаются обработке.

Известняки имеют белый, светло-серый, желтоватый и розоватый цвета, но с примесями могут иметь любой цвет вплоть до чёрного.

Используются для производства извести, портландцемента, а также щебня и облицовочных плит. Однако для облицовки зданий и изготовления архитектурно-строительных изделий больше используются мраморизованные известняки.

Известняк-ракушечник – пористая порода, состоящая из раковин моллюсков и их обломков, сцементированных известковым веществом.

Он хорошо пилится и обрабатывается.

Мергель – представляет собой механическую смесь известняка и глины в различных соотношениях (рис.2.23).

В зависимости от породообразующих карбонатных минералов подразделяется на известняковый и доломитовый.

Средняя плотность составляет 1900...2500 кг/м³, а прочность на сжатие – до 60 МПа.



Рис.2.23. Мергель

Используются для производства цементов.

Мел – аморфная модификация карбоната кальция.

По химическому составу почти целиком состоит из минерала кальцита (CaCO₃). Образовался из мельчайших остатков раковин простейших организмов (растительных и планктонных животных – 60...70%).

Мел имеет пористую структуру, имеет белый цвет и небольшую прочность (рис.2.24).



Рис.2.24. Меловые карьеры в Беларуси

Используется для приготовления красок, замазок, шпаклёвок, а также при производстве извести, цементов и стекла.

Диатомиты и трепелы представляют собой породы с большим содержанием водного аморфного кремнезёма (в диатомитах 90...95 %, трепелы содержат больше примесей) (рис. 2.25). Имеют твердую хаотичную структуру и большую площадь поверхности, пористость составляет 60...70%, плотность – 350...950 кг/м³.

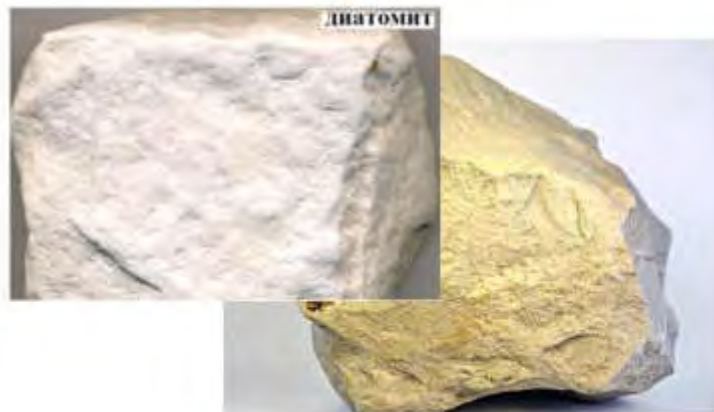


Рис.2.25. Диатомит и трепел

Используются в качестве активной (гидравлической) минеральной добавки к цементам, наполнителя в производстве пластмасс и как тепло- и звукоизоляционный материал.

После термообработки породы в 1,5...2 раза снижается плотность.

Продукт термообработки используется в качестве заполнителя для бетона (получил название «термолит»).

С течением времени трепел превращается в тонкопористую или плотную породу, почти полностью состоящую из аморфного кремнезёма – *опоку*.

Применяют опоку в качестве стенового камня и заполнителя для лёгких бетонов в естественном или термообработанном виде.

Песок – это рыхлая смесь зёрен горных пород крупностью 0,16...5 мм.

По составу песок делят на кварцевый, известняковый, полевошпатовый, пемзовый и др.

Применяются пески в качестве мелкого заполнителя в бетонах и растворах, для производства силикатных материалов, керамики, стекла и других материалов.

Гравий – смесь окатанных обломков горных пород размером 5...70 мм (рис.2.26). Более крупные обломки (70...150 мм) называют галечником.



Рис.2.26. Гравий

Применяются в качестве крупного заполнителя для бетонов и балласта при строительстве дорог. Природная смесь зёрен песка и гравия в разных соотношениях называется песчано-гравийной смесью.

Глина представляет собой горную породу, очень сложную и непостоянную как по составу входящих в нее минералов, так и по физическим и технологическим свойствам.

Состоит из мельчайших частиц размером менее 0,005мм минералов группы алюмосиликатов (каолинита, монтмориллонита, других глинистых минералов), а также частиц кварца, слюды, полевых шпатов.

Применяется в керамической и цементной промышленности.

Каолин (фарфоровая глина) – смесь особо чистых глин белого цвета и песка.

Применяется в фарфоровой и фаянсовой промышленности.

Песчаники – это плотная порода, состоящая из зёрен песка (чаще всего кварца), сцементированных различными природными примесями-растворами (рис. 2.27).

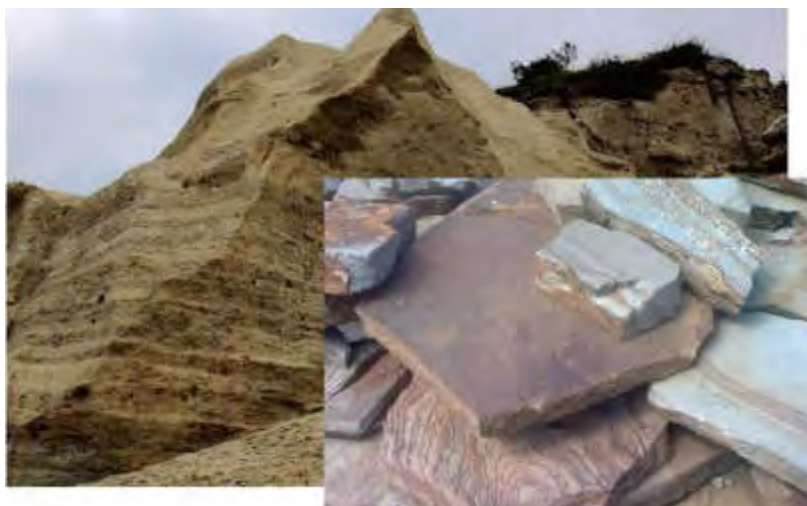


Рис.2.27. Песчаник

Прочность песчаников колеблется в пределах от 1 до 150 МПа, плотность от 1900 до 2800 кг/м³, пористость – 0,7...7%, водопоглощение – 0,6...6%.

В зависимости от вида связующего различают песчаники глинистые, известняковые, мергелистые, кремнезёмистые и др.

Наибольшей прочностью обладают кремнезёмистые песчаники (до 250 МПа), наименьшей – глинистые.

Песчаники бывают серого, зелёного, красного, жёлтого, коричневого и бурого цветов.

При метаморфизме кремнезёмистый песчаник переходит в кварцит.

Применяются песчаники для устройства полов промышленных зданий, тротуаров, в качестве облицовочного камня и заполнителей для бетона.

Конгломераты и брекчии состоят либо из сцементированных зёрен гравия (конгломераты), либо щебня (брекчии) (рис.2.28). Их прочность зависит от прочности входящих в их состав веществ и составляет от 100 до 160 МПа.

Применяются в основном в виде щебня, бутового камня и как декоративные отделочные камни.



Рис.2.28. Брекчия и конгломерат

2.6. Метаморфические горные породы

Метаморфические (от греч. metamorfo – превращать) горные породы образовались в результате видоизменения или геологических преобразований магматических или осадочных горных пород под воздействием тектонических процессов, высокого давления, температуры, газов, водных минеральных растворов и возможных химических процессов.



По структуре их подразделяют на массивные или зернистые (кварциты, мрамор) и сланцеватые (гнейсы, глинистые сланцы).

Гнейсы – состоят в основном из калиевого полевого шпата, кварца, плагиоклаза и темноцветных минералов. По цвету – светлоокрашенные, серые, красноватые и других оттенков (рис.2.29).

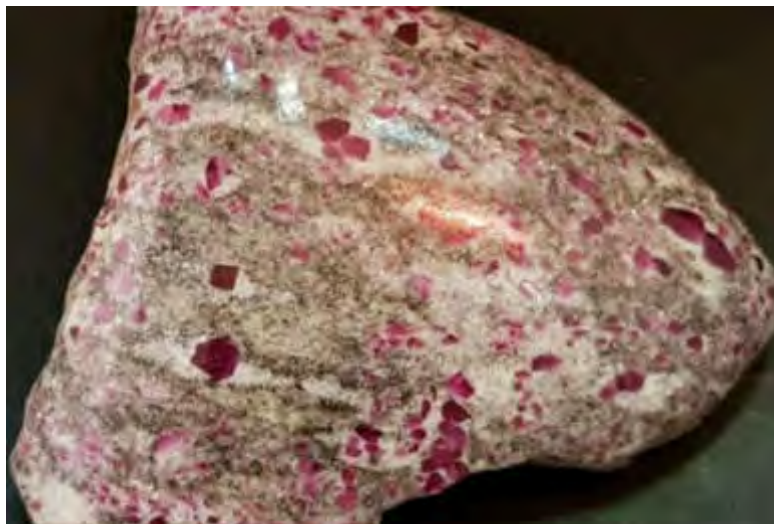


Рис.2.29. Гнейс

Текстура – полосчатая, сланцеватая, структура – полнокристаллическая, разномзернистая.

Строение – слоистое, и поэтому легко раскалываются вдоль слоёв и с трудом в перпендикулярном направлении.

По свойствам гнейсы близки к гранитам, но менее декоративны и менее долговечны.

Плотность их составляет 2400...2800 кг/м³, а прочность 100...200 МПа.

Используются для устройства фундаментов, в качестве щебня и облицовочного камня.

Сланцы – образовались в результате метаморфизма магматических и осадочных горных пород (сильно уплотнившихся глин). Наиболее распространены в строительстве глинистые и кремнистые сланцы (рис. 2.30).



Рис.2.30

Используются в наружной и внутренней облицовке стен, полов и в качестве кровельного материала (природный шифер).

Кварциты - образовались в результате перекристаллизации песчаников.

Прочность на сжатие достигает 400 МПа, плотность 2800...3000 кг/м³, водопоглощение менее 0,2%.

Обладают высокой твёрдостью, малой истираемостью и большой долговечностью – более 500 лет. Хорошо полируются.

Бывают тёмно-вишнёвого, красного, лилового, белого, серого и зелёного цветов (рис.2.31).



Рис.2.31. Разновидности кварцита

Мрамор (marmaros в переводе с греческого означает «блестящий камень») образовался в результате перекристаллизации известняков и доломитов под воздействием высоких температур и огромных давлений.

Цвет и текстура мрамора определяются в основном сочетанием различных минералов и их распределением в массиве породы (рис.2.32).

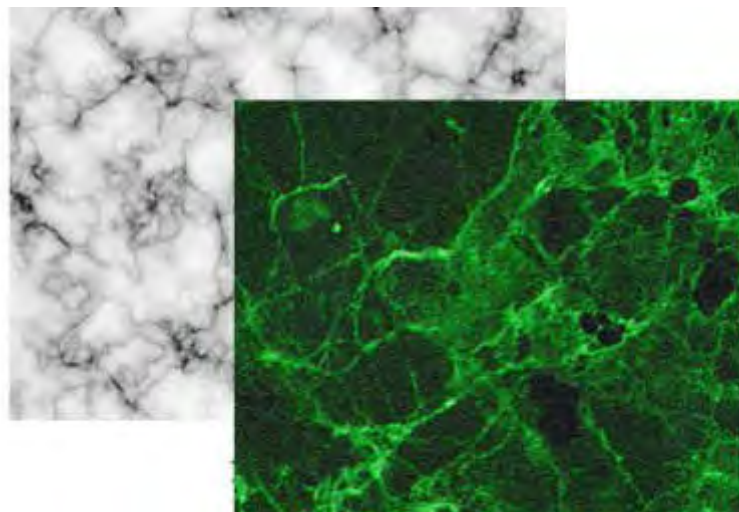


Рис.2.32. Разновидности мрамора

Отличительными особенностями мрамора являются высокие плотность (1900...2900 кг/м³) и прочность на сжатие (до 250 МПа), малое водопоглощение (до 0,7%) и небольшая твёрдость (3 – по шкале Мооса). Поэтому, мрамор легко поддаётся обработке: хорошо пилится на тонкие плиты, легко шлифуется и полируется.

Применяется мрамор в качестве строительного и декоративного материала для оформления интерьеров зданий и сооружений, внутренней облицовки стен, изготовления лестничных ступеней. Из мрамора производят сантехнику, столешницы, фонтанные композиции и другие изделия различного назначения.

2.7. Материалы и изделия из природного камня

Каменные материалы (горные породы) могут применяться:

- в естественном виде – получаемые в результате только механической переработки без изменения состава и внутреннего строения, так называемые «каменные материалы и изделия» (ГОТ Р 57294/EN 771-6);
- в качестве сырья для производства искусственных строительных материалов и изделий (обжиговые, безобжиговые и др.).

Каменные материалы и изделия, используемые в естественном виде, можно условно разделить на следующие группы:

- материалы, применяемые без обработки (ГОСТ 31426) – в исходном виде (валунный и булыжный камни, гравий, песок, песчано-гравийные смеси и др.);
- изделия, получаемые методами механической переработки:
- непосредственно из горного массива (блоки, камни стеновые, щебень и др.);
- путем дополнительной обработки уже полученных изделий – облицовочные (декоративные) изделия (плиты, ступени, проступи, парапеты и др.).

Блоки из горных пород (СТБ ЕН 771-6 и ГОСТ 9479) имеют форму прямоугольного параллелепипеда или близкую к нему с размерами от 0,4 до 3,5 м по длине и от 0,2 до 2,0 м по ширине и высоте.

Получают их способом пиления или раскола из массивов горных пород, не тронутых выветриванием (рис. 2.33).

Оценка блоков производится по внешним показателям, геометрическим параметрам и физико-механическим характеристикам.



Рис. 2.33. Блоки из массивных горных пород

Предназначаются такие блоки для изготовления облицовочных плит, архитектурно-строительных изделий, бортовых и брусчатых камней, заготовок для реставрационных работ и мемориальных изделий.

Стеновые камни (ГОСТ 4001) и *блоки* (ГОСТ 15884) получают, как правило, из пористых горных пород (пористых известняков, вулканического туфа и др.) плотностью 900...2200 кг/м³ (рис.2.34).

Лицевая поверхность их должна отвечать требованиям декоративности, прочность на сжатие составлять 0,4...50 МПа, морозостойкость – не менее F15, коэффициент размягчения – 0,6...0,7.



Рис.2.34. Стековые камни

Применяют их для кладки несущих стен малоэтажных зданий, декоративных стен, перегородок, колонн, элементов оград, декоративных заборов, пристроек к дому, хозяйственных построек, опорных стен, парапетов и других частей зданий и сооружений, элементов ландшафтной и садово-парковой архитектуры.

Облицовочные плиты и плитки (ГОСТы 9480 и 30629) применяются для облицовки наружных и внутренних стен зданий и сооружений различного назначения (СТБ ЕН 1469), для покрытий пола и лестничных ступеней, облицовки стен и перекрытий (СТБ ЕН 12057 и 12058) и для переработки на архитектурно-строительные изделия.

Одним из важнейших признаков пригодности горной породы для использования в качестве декоративно-облицовочных изделий являются его художественно-эстетические характеристики, объединяемые в понятие «декоративность».

Под термином «декоративность» подразумевается совокупность свойств камня, включающих структуру, текстуру, фактуру, цвет, окраску, рисунок и др.

Полируемость – свойство горной породы приобретать зеркальную поверхность.

Рисунок горной породы – совокупная характеристика, оцениваемая характером текстуры и структуры, расположением, конфигурацией и сочетанием различных цветов и оттенков, наличием прожилок и включений (ГОСТ 9479).

Цвет – обусловлен составом минералов и примесей.

Текстура - совокупность признаков, определяемых расположением и распределением составных частей породы относительно друг друга в занимаемом ими пространстве. Подавляющее большинство магматических пород характеризуется массивной текстурой (рис.2.35).



Рис. 2.35. Текстура горных пород

Структура определяется степенью кристалличности и размерами зерен, а также формой и взаимными отношениями составных частей породы. От того насколько быстро остывала лава, зависят расположение, величина и строение кристаллов, т.е. структура каменной породы. По структуре породы бывают: полнокристаллические, стекловатой или скрытокристаллической, полукристаллическая (рис. 2.36).

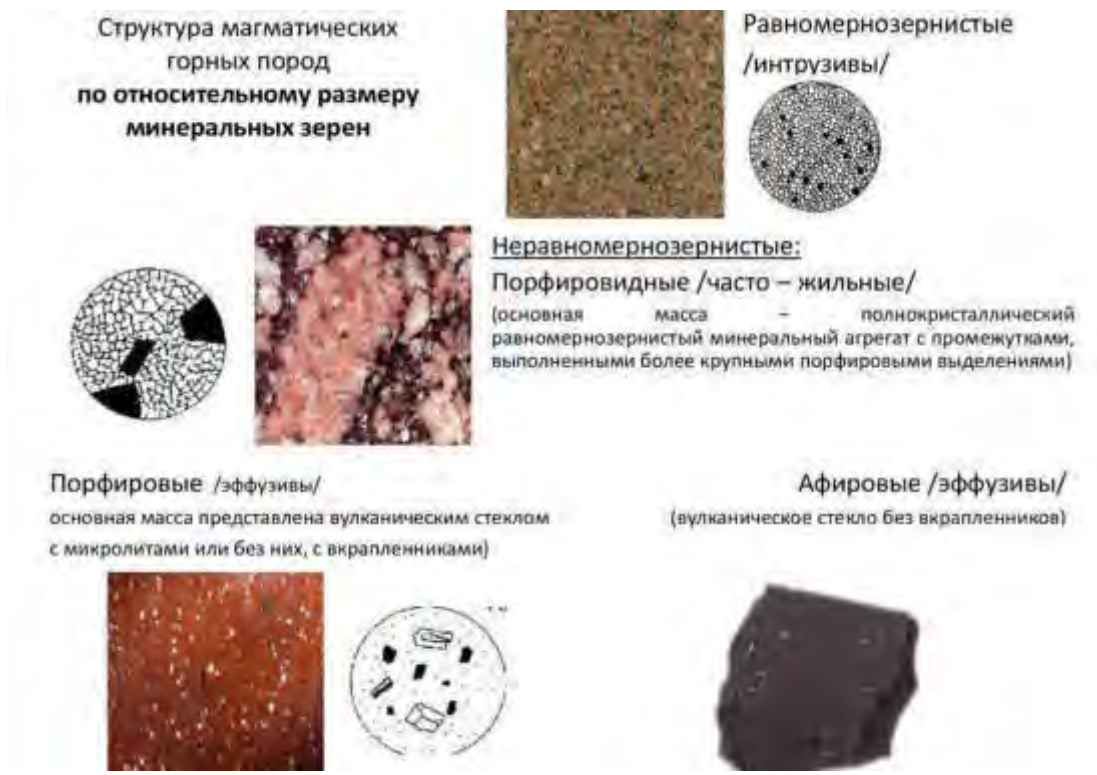


Рис.2.36. Структура магматических горных пород

2.8. Защита каменных материалов от разрушения

Основные причины разрушения природных каменных материалов в сооружениях:

- замерзание воды в порах и трещинах, вызывающие внутренние напряжения;
- частое изменение температуры и влажности, вызывающее появление в материале микротрещин;
- растворяющее действие воды и понижение прочности при водонасыщении;
- химическая коррозия, происходящая под действием газов, содержащихся в атмосфере (SO_2 , CO_2 и др.), и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде.

Для защиты проводят:

Конструктивную защиту открытых частей сооружений (цоколей, карнизов, поясков, столбов, парапетов) сводят к приданию им такой формы, которая облегчает отвод воды. Гладкая полированная поверхность облицовки и профилированных деталей.

Химический способ:

путем пропитки поверхностного слоя уплотняющими составами и нанесения на лицевую поверхность гидрофобизирующих (водоотталкивающих) составов (для пористых материалов).

пленкообразующие полимерные материалы - прозрачные и окрашенные. Также пропитывают поверхность камня мономером с последующей его полимеризацией флюатирование, т. е. обработку поверхности каменного материала водными растворами, например, солей кремнефтористо-водородной кислоты.

Механические меры защиты выражаются в устройстве гладких или полированных поверхностей каменных материалов (шлифовка и полировка), неспособных задерживать дождевые и талые воды и пропускать агрессивные среды внутрь каменного материал

ТЕМА 3. ОСНОВЫ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ

3.1. Общие сведения

По определению СТБ EN 844- 1 *древесина* – это лигноцеллюлозное вещество между сердцевиной и корой дерева.

Все составляющие дерева (корни, ствол и крона) в большей или меньшей степени имеют практическое значение.

Крона – верхняя часть дерева с сучьями и ветвями, включающая часть ствола.

Ствол – надземная часть дерева, кроме сучьев, связывающая корневую систему с кроной.

Ствол является основным источником деловой древесины.

На долю ствола в зависимости от породы дерева, возраста и условий произрастания приходится от 55 до 90% всего объёма дерева (рис.3.1).

При жизни дерева ствол служит для проведения из корней в крону влаги и питательных веществ, а из кроны в ствол органических веществ, выработанных листьями, для хранения запаса питательных веществ и для размещения и поддержания кроны.

В зависимости от породы и климатических условий произрастания стволы деревьев имеют различную форму, длину (от 7 до 100 м) и толщину (диаметр) – от 6 до 100 см более (рис. 3.1).



Рис. 3.1.

Древесиной называют внутреннюю часть дерева, лежащую под корой и на 99% состоящую из органических веществ.

3.2. Строение древесины

Древесину можно определить, как композиционный материал, армированный волокнами.

Это сравнительно твердый и прочный сосудисто-волокнистый материал, скрытый корой.

Волокно – длинная узкая клетка или группа клеток, из которых в основном состоит древесина.

В древесине лиственных пород имеются мелкие и крупные сосуды в форме трубочек, идущих вдоль ствола.

У хвойных пород сосудов нет, их функции выполняют удлиненные замкнутые клетки, называемые трахеидами (рис. 3.2).

Клеточные стенки примерно в тысячу раз тоньше человеческого волоса.

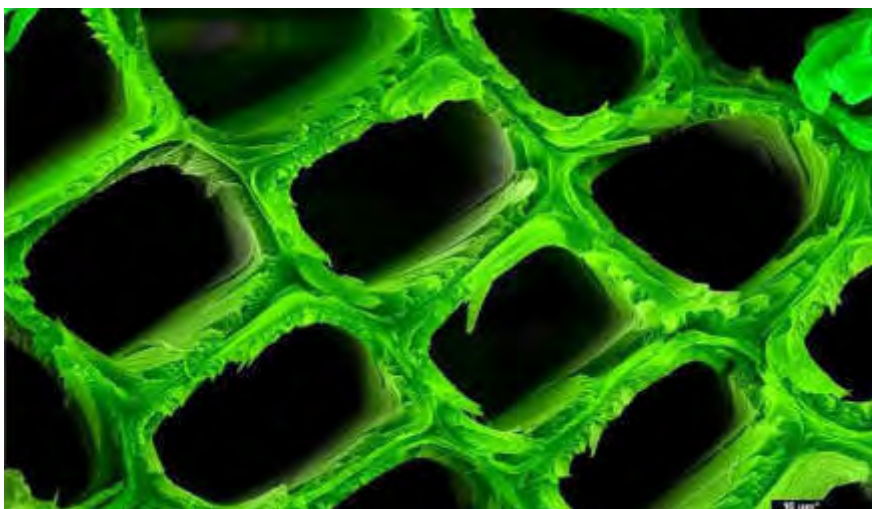


Рис. 3.2. Клеточное строение ели

Каждая клетка имеет свою оболочку (стенку), которой она отделяется от соседних клеток.

Оболочки (стенки) клеток состоят из сложных органических соединений: целлюлозы (45...60 %), гемицеллюлозы (15...25 %), лигнина (15...35 %), экстрактивных (2...4 %) и минеральных (менее 1 %) веществ (рис.3.3).

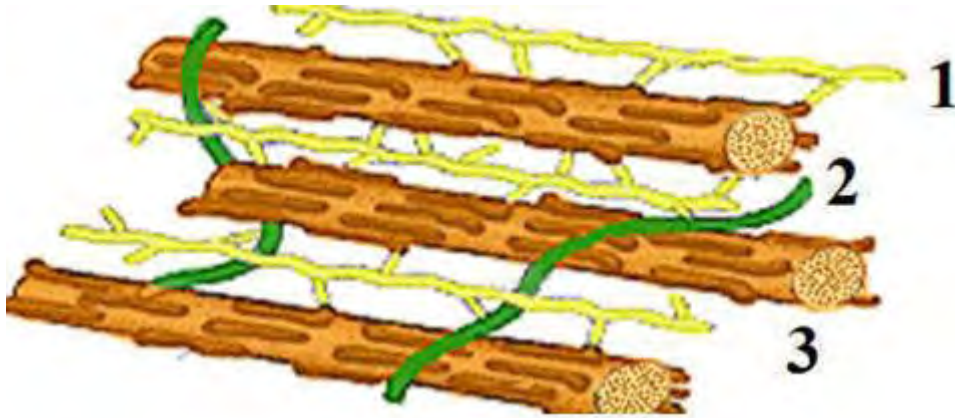


Рис. 3.3. Состав древесины
 1 – лигнин (желтые волокна); 2 – гемицеллюлоза (более темные «червячки» на волокнах); 3 – целлюлоза (длинные оранжевые волокна);

В клеточных оболочках (стенках) целлюлоза играет роль арматуры (каркаса), обеспечивая механическую прочность и эластичность древесных тканей (рис.3.4).



Рис.3.4. Пучок целлюлозных волокон под электронным микроскопом

Целлюлоза и лигнин являются высокомолекулярными соединениями (природными полимерами).

В клеточных оболочках (стенках) целлюлоза играет роль арматуры (каркаса), обеспечивая механическую прочность и эластичность древесных тканей.

Лигнин – аморфное вещество, находится в межклеточном пространстве и связывает целлюлозные волокна и клетки между собой, благодаря чему древесина приобретает прочность и эластичность (как в железобетоне).

Лигнин придает клеточной стенке жесткость, прочность и гидрофобность. т. е. лигнин и целлюлоза, пропитывая стенки клеток вызывают их одревеснение.

3.3. Макроструктура древесины

Наращение древесины происходит концентрическими слоями (рис. 3.5). Каждый годовой слой состоит из двух частей:

- ▶ ранней светлой
- ▶ и поздней темного цвета древесины.

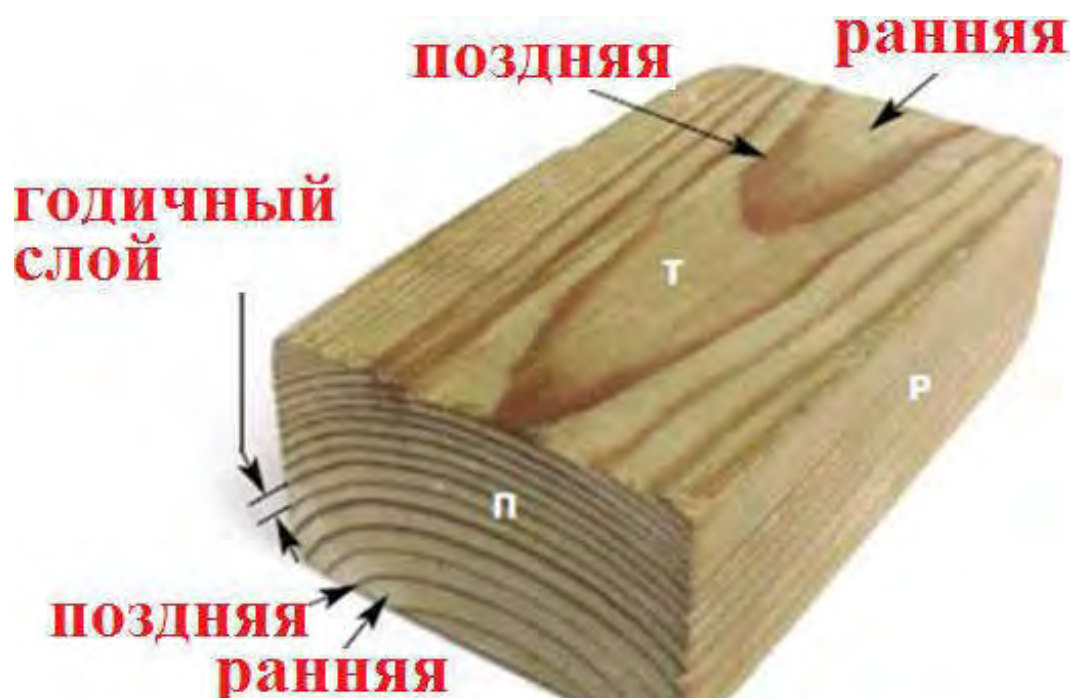


Рис.3.5. Годичные слои древесины

Ранний слой древесины (внутренний, обращенный к сердцевине) образуется на ранней стадии периода роста и состоит из крупных тонкостенных клеток (живых), а поздний (наружный, обращенный к коре) – на поздней стадии периода роста и состоит из мелких с толстыми стенками (одревесневших, отмерших) клеток.

Поздняя древесина обладает гораздо лучшими физико-механическими свойствами и от ее процентного содержания (m) зависят плотность и прочность древесины.

Изучение строения ствола и тканей древесины осуществляется, как правило, по трём основным разрезам (срезам) ствола (рис.3.6):

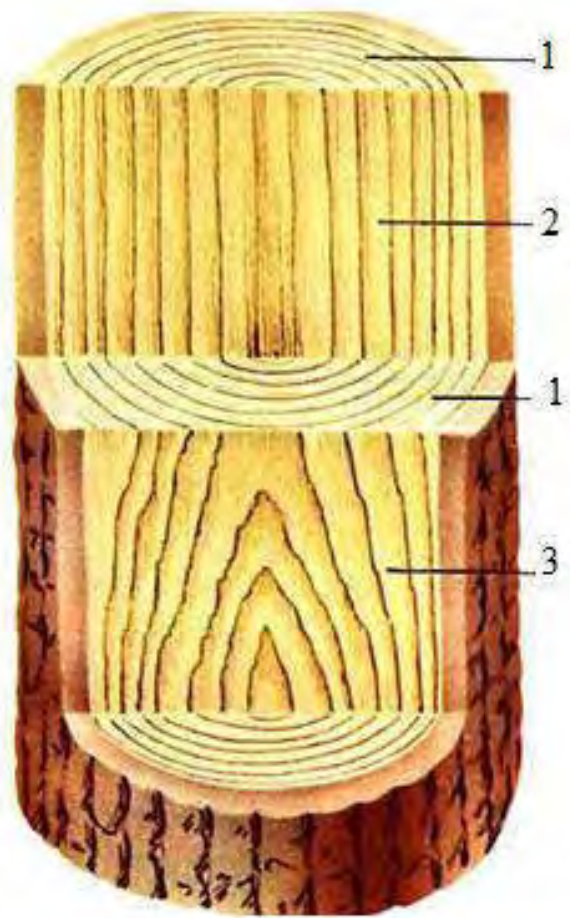


Рис.3.6. Основные срезы ствола:
 1 – поперечный, 2 – радиальный, 3 – тангенциальный.

Поперечный или *торцевой* (лобовой) – по плоскости, перпендикулярной оси ствола и направлению волокон;

Радиальный (зеркальный) – продольный, проходящий вдоль ствола через сердцевину по радиусу (вдоль сердцевинных лучей);

Тангенциальный (хордовый) – проходящий вдоль ствола по хорде, т.е. на некотором расстоянии от сердцевины касательно к годичным слоям (перпендикулярно сердцевинным лучам и радиусу ствола).

На поперечном разрезе по сечению от периферии к центру (снаружи внутрь) в составе ствола дерева различают (рис.3.7):

- кору, луб (волокнистая ткань), камбий
- и собственно древесину, состоящую из заболони, ядра и сердцевины.



Рис.3.7. Поперечный разрез древесины

3.4. Физические и механические свойства древесины

Свойства древесины определяются, прежде всего, структурой и составом её пород.

Свойства древесины могут различаться в зависимости от возраста дерева, места и условий произрастания, влажности, способов переработки и многих других факторов.

Например, древесина сосны достигает максимума по физико-механическим свойствам в возрасте 150...200 лет, а в возрасте 260...280 лет плотность снижается на 8...10%, содержание поздней древесины – на 16...18%, прочность при сжатии вдоль волокон – на 8...9%.

Важнейшими декоративными и эстетическими свойствами древесины являются её цвет, текстура и блеск.

Многообразие цветов и оттенков, которые имеет древесина, придают ей в основном красящие, дубильные и смолистые вещества, которые находятся в полостях клеток.

Древесина большинства пород окрашена в желтовато-бурые и красно-коричневые цвета различных оттенков.

С возрастом дерева интенсивность окраски усиливается.

Блеск – это способность древесины направленно отражать падающий на ее световой поток и является качественной характеристикой ее поверхности.

Блеск придает древесине красивый вид и подчеркивает ее текстуру.

Наибольшим блеском отличается древесина осины, дуба, клена, бука, красного дерева и др.

Плотность:

Истинная плотность – это плотность материала клеточных стенок и у древесины всех пород примерно одинаковая (1,53...1,55 г/см³), поскольку древесина состоит в основном из одного вещества – целлюлозы.

Средняя плотность – от 150 кг/м³ (бальза, или бальзовое дерево) до 1280 кг/м³ (бакаут, или железное дерево).

Влажность древесины растущего дерева может составлять от 35 до 115 % и более.

Различают несколько форм влаги, содержащейся в древесине (СТБ EN 844-4 и 12):

- гигроскопическую – связанную в стенках клеток.
- капиллярную или свободную – заполняющую полости клеток, сосуды и межклеточное пространство.
- и полную – арифметическую сумму гигроскопической и капиллярной влаги.

Древесину, которая содержит только связанную влагу, принято называть влажной.

Древесину, содержащую связанную и свободную влагу, называют сырой.

Полная влажность может значительно превышать 35 % и достигать у свежесрубленного дерева 120 %.

Древесину с влажностью 0 % (высушенная до постоянной массы при 101...105°C) называют абсолютно сухой.

По степени влажности древесина бывает:

- ▶ мокрая (влажность более 100%, это бывает, если древесина долгое время находилась в воде),
- ▶ свежесрубленная (влажность от 50 до 100%),
- ▶ влажная (от 23 до 50%),
- ▶ атмосферно-сухая (18-22%),
- ▶ воздушно-сухая искусственной сушки (12-18%),
- ▶ комнатно-сухая (влажность 8-10%),
- ▶ абсолютно сухая (влажность 0%).

Для сопоставления свойств древесины, определяемых при различной влажности, их приводят затем к условной стандартной влажности – равной 12 %.

Изменение гигроскопической влажности древесины влечёт за собой изменение линейных размеров пиломатериалов, т. е. происходит усушка или набухание.

Усушка древесины – это уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной воды и образования вследствие этого многочисленных пор;

Разбухание (набухание) – это увеличение линейных размеров и объема древесины при повышении содержания связанной воды (ГОСТ 32714).

В различных направлениях срезов ствола полная усушка древесины неодинакова. Это явление называется *анизотропией*.

В зависимости от породы дерева усушка составляет:

- линейная – 0,1...0,3% (1...3 мм на длине 1 м);
- в радиальном направлении (перпендикулярно годичным кольцам или параллельно сердцевинным лучам) – 3...6%;
- в тангенциальном направлении (касательно к годичным кольцам или перпендикулярно сердцевинным лучам) – 7...12%, т.е. в 1,5...2 раза больше радиальной.

Коробление.

Вследствие анизотропности и внутренних напряжений, возникающих при сушке, может произойти коробление и растрескивание древесины (рис.3.8, 3.9).

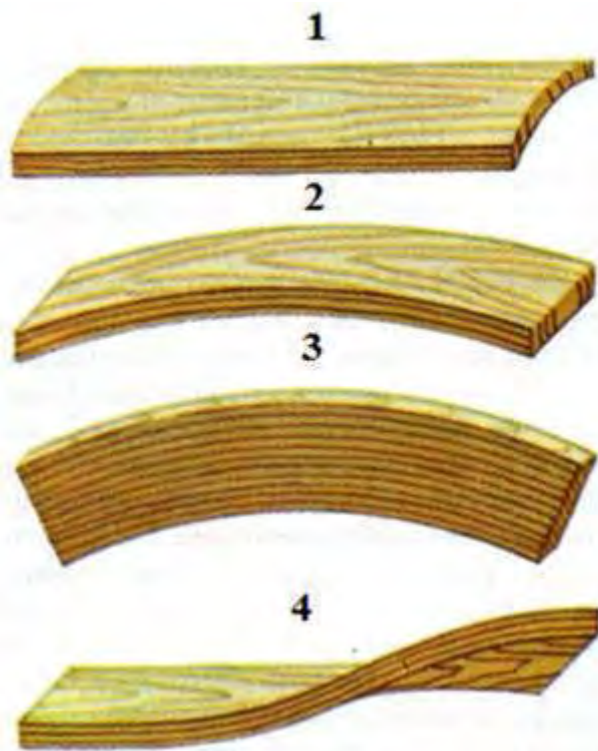


Рис.3.8. Наиболее распространенные виды коробления: 1 – поперечная; 2 – продольная по пла- сти; 3 – продольная по кромке; 4 – крыловатость.



Рис.3.9. Растрескивание древесины

Прочность – способность древесины сопротивляться разрушению от механических усилий.

Зависит прочность древесины, прежде всего, от ее породы, строения, плотности, пористости, содержания поздней древесины, наличия пороков, влажности, направления приложения механических сил и других факторов.

При увеличении влажности за предел насыщения (30%) существенного снижения прочности не наблюдается (рис.3.10).

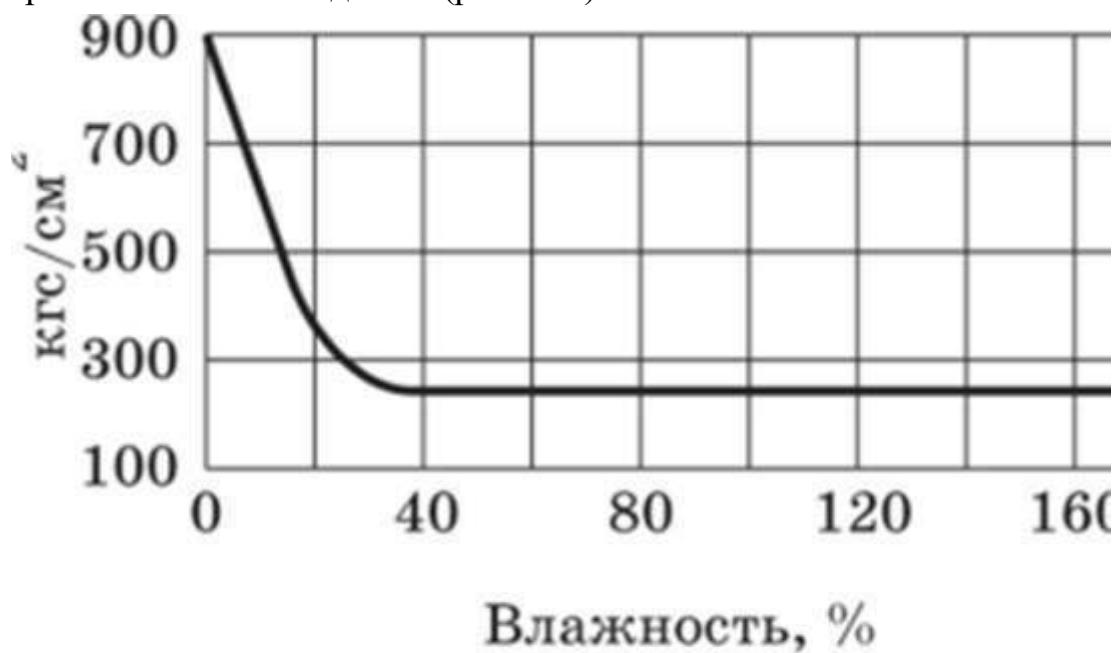


Рис.3.10. Зависимость предела прочности от влажности

Самые лучшие показатели прочности древесина имеет при влажности 6...12%. Однако сравнивать пределы прочности древесины можно только при одинаковой (стандартной – 12%) влажности.

Ввиду анизотропности и волокнистого строения прочностные показатели древесины в разных направлениях значительно отличаются друг от друга.

Максимального значения прочность древесины достигает в случае совпадения направления усилия и волокон.

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон в среднем составляет 40...60 МПа, что практически сопоставимо с прочностью бетона и других конструкционных материалов.

Прочность при сжатии поперек волокон составляет всего $\approx 0,1...0,3$ от предела прочности вдоль волокон. Это объясняется тем, что при сжатии поперек волокон происходит не разрыв, а смятие волокон, т. е. без явного разрушения стенок клетки.

Прочность при растяжении вдоль волокон приблизительно в 2...3 раза больше прочности при сжатии в этом направлении и составляет 100...120 МПа.

Прочность при изгибе в 1,5...2 раза выше прочности при сжатии вдоль волокон, но меньше прочности при растяжении, и составляет $\approx 60...110$ МПа.

Неоднородность строения и наличие пороков снижают прочность древесины при сжатии и изгибе примерно на 30%, а при растяжении – на 70%.

Все показатели прочности приводят к единой влажности – 12%.

В зависимости от прочности, жёсткости и плотности древесина несущего назначения подразделяется на классы:

тополь и древесина хвойных пород на классы: С14; С16; С18; С20; С22; С24; С27; С30; С35; С40; С45; С50,

лиственных пород – D30; D35; D40; D50; D60; D70 (СТБ ЕН 338 и ГОСТ 33080).

Сорт (класс, группа) древесины устанавливаются по многим показателям, в том числе в зависимости от вида и назначения материала, наличия/отсутствия пороков (дефектов), физико-механических характеристик и др.

Лесоматериалы (СТБ 1711 и 1712) по наличию/отсутствию пороков делятся на три сорта – 1-й, 2-й и 3-й,

Пиломатериалы (СТБ 1713 и 1714) – на пять сортов.

Меньшее численное значение сорта соответствует, как правило, более высокому качеству.

Согласно СТБ 2315 и 2316 гармонизированных с ЕН 1927 круглые лесоматериалы в зависимости от наличия/отсутствия пороков (дефектов) делятся на четыре сорта (А, В, С и D),

пиломатериалы по DIN 68126 – на три сорта (А, В и С).

К наиболее высокому качеству относится древесина сорта «А».

3.5. Пороки и дефекты древесины

Влияние пороков на качество древесины определяется их видом и местом расположения в изделии, размерами поражения, характером и назначением продукции.

Пороками называют повреждения (недостатки) отдельных участков древесины, снижающие ее качество и ограничивающие возможность использования.

К ним относятся:

- *Сучки;*
- *Трещины;*
- *Пороки формы ствола;*
- *Пороки строения древесины;*
- *Химические окраски;*
- *Биологические (грибные) повреждения;*
- *Инородные включения, механические повреждения и пороки обработки;*
- *Покоробленность.*

Сучки – это основания живых или отмерших ветвей, заключённых в древесине ствола.

Они встречаются во всех породах и относятся к порокам растущего дерева.

Сучки



Их классифицируют:

- по внешнему виду (*открытые, заросшие*),
- форме разреза на поверхности пиломатериала (*круглая, овальная, продолговатая*),
- положению в пиломатериале (*пластовый, кромочный, ребровый, торцовый, шпильной*),
- взаимному расположению (*разбросанные, групповые, разветвленные*),
- степени срастания (*сросшийся, частично сросшийся, несросшийся, выпадающий*),
- состоянию древесины (*здоровый, загнивший, гнилой, табачный*) и др.

Древесина самих сучков имеет, как правило, самостоятельную систему годовичных слоёв, более тёмную текстуру и повышенную твёрдость (рис.3.11).

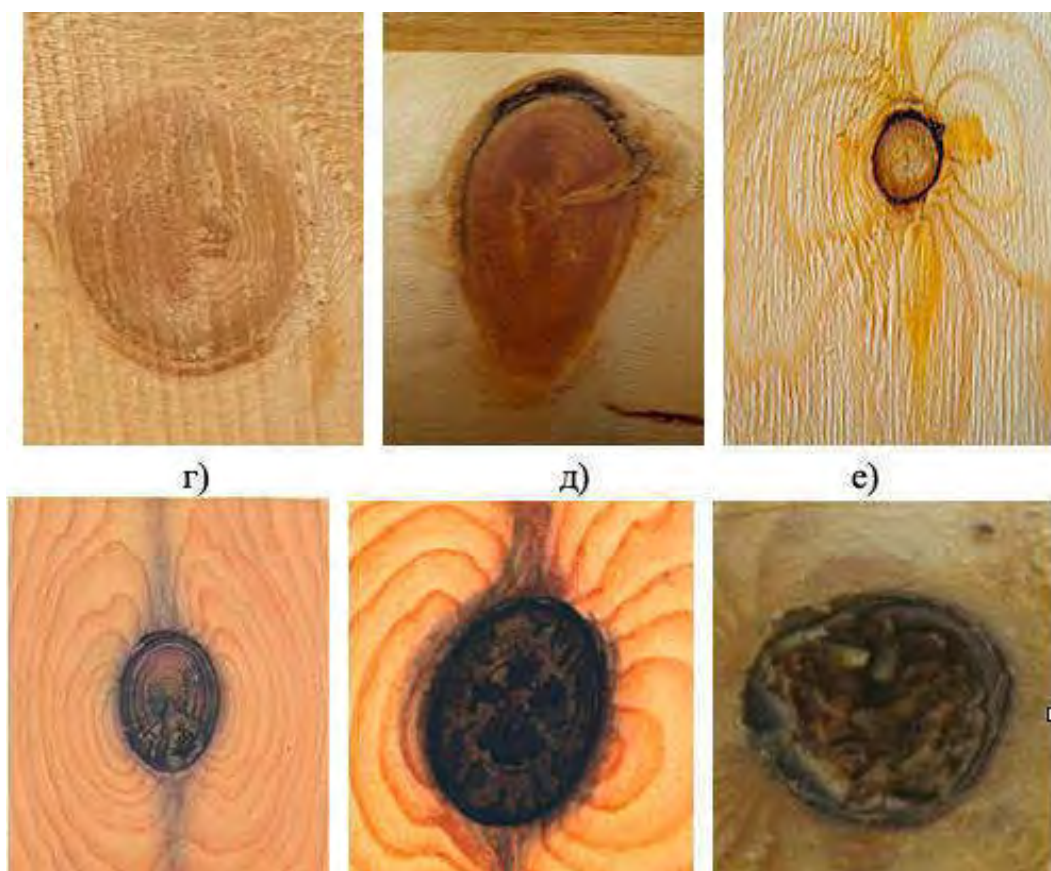


Рис.3.11. Разновидности сучков: а - здоровый сросшийся; б - частично сросшийся; в — не сросшийся; г – загнивающий; д – гнилой; е – табачный

Наличие сучков может снижать прочность древесины на 40% и более в зависимости от их числа, размеров и расположения.

Трещины представляют собой разрывы древесной ткани вдоль волокон.

Различают трещины метиковые (простые и сложные), отлупные (кольцевые и частичные), трещины усушки и морозные (открытые и закрытые), от удара молнии и др (рис.3.12).

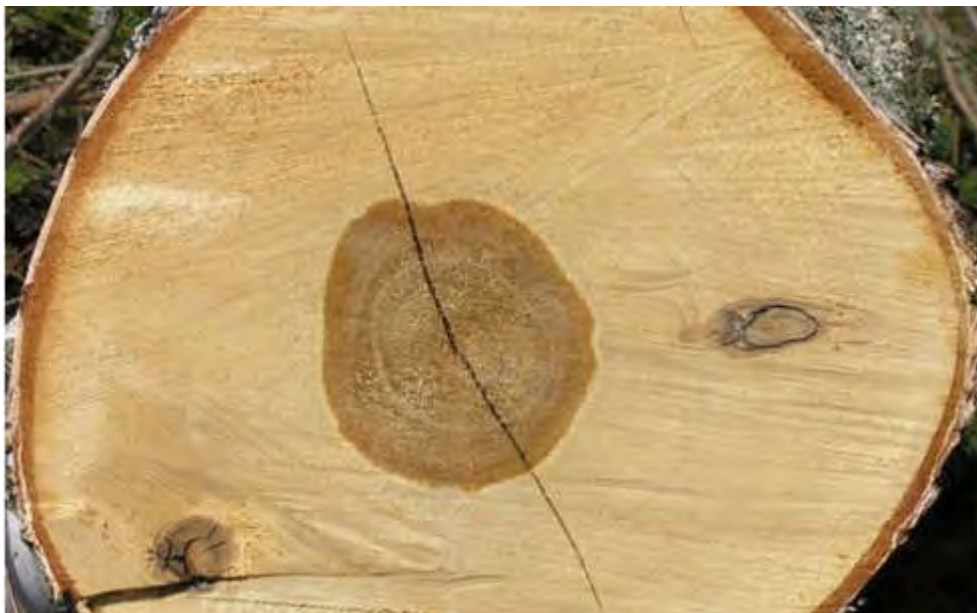


Рис.3.12. Трещина

К порокам формы ствола относят сбежистость, закомелистость (округлая и ребристая), нарост, кривизна и др (рис.3.13, 3.14).



Рис.3.13. Закомелистость

Все пороки формы ствола носят, как правило, природный характер и легко устанавливаются на растущем дереве.

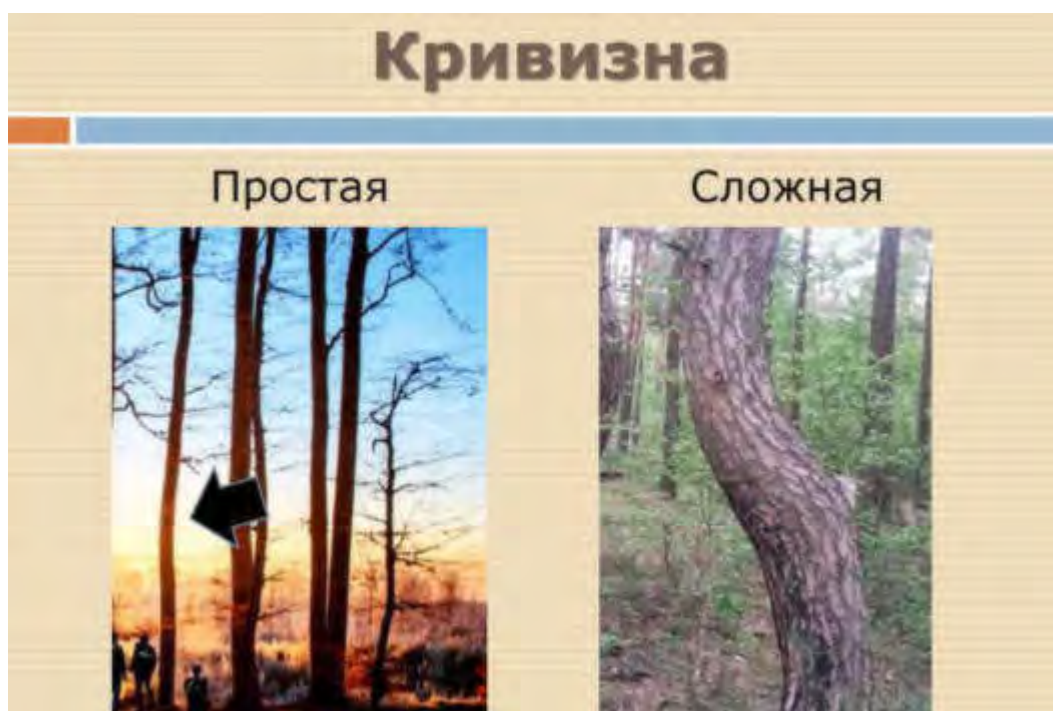


Рис.3.14. Кривизна

Поэтому стволы деревьев с такими дефектами заранее могут быть отбракованы или переведены в низший сорт.

К порокам строения древесины относят наклон волокон (косослой) (рис.3.15), свилеватость (волнистая и путаная) (рис.3.16), завиток (односторонний и сквозной), крень (сплошная и местная), ложное ядро, внутренняя заболонь, прорость (рис. 3.17), сердцевина смещенная и двойная и др.



Рис.3.15.



Рис.3.16.

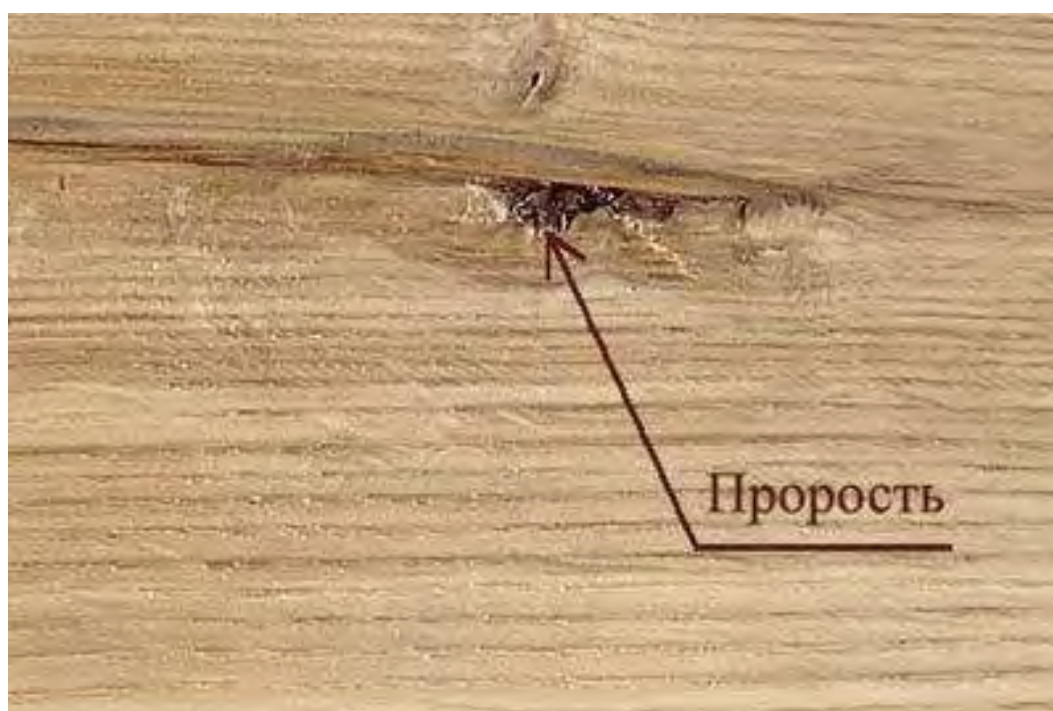


Рис.3.17.

Биологические (грибные) повреждения вызываются простейшими растительными организмами – грибами, которые развиваются из спор, заносимых в древесину ветром, водой, насекомыми и т. п.

Классификация биологических повреждений древесины



К грибным поражениям относят грибные ядровые пятна (полосы), заболонные грибные окраски, побурение (торцовое и боковое), плесень (грибницу) (рис. 3.18), гниль, дупло (полость, образующуюся в растущем дереве в результате жизнедеятельности дереворазрушающих грибов).



Рис.3.18. Плесень

Дефектами (СТБ ЕН 844-3) принято считать пороки искусственного (механического) происхождения, возникающие при обработке древесины (заготовке, пилении, сортировке, транспортировании).

Они могут возникать как в результате сознательного воздействия на дерево человеком (карра – разрез на стволе для получения смолы) (рис.3.19), так и в результате неисправности или неправильной настройки деревообрабатывающего инструмента, а также как следствие естественных пороков (кривизна ствола, косо-слой) и покоробленности – изменение формы сортимента при выпиловке, сушке или хранении.

К ним относят также присутствующие в лесоматериалах посторонние предметы недревесного происхождения (камни, гвозди, проволока, металлические осколки), обдир коры, обугленность, скос пропила, обзол, запил, отщеп, скол, вырыв, задир, царапины и др.



Рис.3.19. Карра- разрезы на стволе для получения смолы

3.6. Декоративные характеристики древесных материалов и изделий

Формирование декоративных характеристик древесных материалов и изделий связано, прежде всего, с характером отделки их лицевой поверхности.

Древесина, как материал, сравнительно легко поддается различного рода отделке – крашению, морению, полированию, колорированию, лакированию, тонированию, брашированию, старению и др.

Все защитно-декоративные покрытия можно условно подразделить на твердые облицовочно-отделочные, жидкие лакокрасочные и порошковые.

Кроме того, отделка лицевой поверхности древесины может быть прозрачная, непрозрачная, имитационная и специальная

Виды отделки изделий из древесины



3.7. Защита древесины от гниения и возгорания

Растущее дерево практически без труда сопротивляется биологическому и другим видам разрушения. Однако, когда дерево спилено, природные защитные механизмы практически не действуют. Поэтому срок эксплуатации деревянных конструкций и изделий ограничивается способностью древесины сопротивляться воздействию внешних факторов.

Древесина начинает разрушаться, если в течение длительного времени ее влажность составляет выше 20% (относительная влажность воздуха при этом 80 - 90%). Если относительная влажность воздуха все время превышает 80%, то через несколько месяцев древесина начинает плесневеть, выше 90% древесина начинает гнить. Конечно, при этом температурный режим должен находиться в пределах + 0 - + 40°C. В мороз низкая температура не позволяет плесени и гнили развиваться. Параметрами внешней среды, способствующими разрушению древесины в процессе эксплуатации, являются влажность, температура и кислород.

Одним из условий сохранения древесины в условиях эксплуатации является поддержание благоприятных параметров внешней среды.

Отсутствие одного из факторов, способствующих разрушению (влажность, температура и кислород), приводит к торможению процесса разрушения.

Для поддержания благоприятных параметров внешней среды применяют ряд конструктивных мер, целью которых является предохранение древесины от увлажнения, доступа кислорода и др. Кроме того, для защиты от биоразрушителей применяют кратковременную стерилизацию сырых листовых материалов, сушку и увлажнение (дождевание или затопление круглого леса), наружное *антисептирование*, глубокое консервирование и др.

Антисептики подразделяются на минеральные и органические, растворимые и не растворимые в воде, органорастворимые, масляные, комбинированные и др. Наиболее распространенными из них являются антисептики на основе форсистоого и крмнефтористого натрия, магния и цинка, медного и железного купороса, хлористого цинка, хлорной извести и др.

Древесина в воздушно-сухом состоянии традиционно считается одним из самых пожароопасных строительных материалов.

Она способна не только гореть, но и при соответствующих условиях самовозгораться.

Чтобы исключить процесс горения, необходимо:

либо устранить контакт древесины с кислородом воздуха и предотвратить нагревание древесины теоретически до температуры воспламенения 250...300°C (практически в естественных условиях 450...620°C)

либо использовать для обработки древесины огнезащитные составы.

Такие вещества плавятся при нагревании и покрывают поверхность древесины огнезащитной теплоизоляционной пленкой, прекращающей доступ кислорода и не дающей возможности древесине достигнуть температуры воспламенения, или разлагаются с выделением большого количества негорючих газов, оттесняющих воздух.

Основными видами огнезащитной обработки древесины являются:

- поверхностная пропитка антипиренами (от греч. anti – противодействие и руг – огонь), т.е. веществами, снижающими горючесть древесины;
- глубокая пропитка в автоклавах;
- нанесение защитных покрытий (обмазки и т.п.);
- нанесение защитных вспучивающихся покрытий (краски, лаки и др.).

В настоящее время на рынке имеется большое количество отечественных и зарубежных средств огнезащиты.

ТЕМА 4. МАТЕРИАЛЫ ИЗДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

4.1. Классификация и характеристика пород древесины

В нашей стране произрастает около 30 видов деревьев, которые, в большей или меньше степени, используются в строительстве.

В зависимости от биологических признаков древесные породы подразделяют на две большие группы: хвойные и лиственные.

Отличительной чертой деревьев хвойных пород является игольчатая и чешуйчатая форма листьев (хвои), не опадающих (кроме лиственницы) на зиму, смолистость, меньшая подверженность гниению и др.

Сосна – дерево быстрорастущее, при благоприятных условиях годовой прирост может составлять 0,8...1,0 м. Полная технологическая зрелость наступает в 80...90 лет, продолжительность жизни составляет от 100 до 300 лет.



Рис.4.1. Сосновый лес

Ствол отличается наибольшей прямоотой, достигая высоты 30...50 м (и более – до 70 м), в диаметре до 1,5 м, и практически с отсутствием дефектов.

Ель – дерево с прямым стволом, конусообразной кроной и высотой от 20 до 50 м, в диаметре – от 0,4 до 1,2 м, максимум около 2 м.

Лучший возраст для заготовки древесины ели –120 лет, предельный возраст – 300...350 лет.

По качественным показателям ель несколько уступает сосне.

В пиломатериалах ель легко можно узнать по круглой форме сучков и большому их количеству.



Рис.4.2. Ель

Кедр или сосна кедровая – древесина сравнительно мягкая, хорошо обрабатывается в разных направлениях.

По стойкости к гниению сравнима с сосной обыкновенной и лиственницей.



Рис.4.3. Текстура кедра

Лиственница – хвойное дерево, ежегодно сбрасывающее свою хвою (отсюда и название).

Диаметр ствола достигает 2 м и более, высота – 50...60 м.

Возраст лиственницы для заготовки древесины – от 120...130 лет, жизненный цикл составляет 300...700 лет, но встречаются деревья возрастом до 900 лет.

У лиственницы красивая древесина: ядро от красно-коричневого цвета до бурого, заболонь – узкая, желтовато-белая.



Рис.4.4. Лиственница

Дуб в высоту достигает 45 м, в диаметре – 2,0...2,5 м и более. Продолжительность произрастания дуба 400...1000 лет.



Рис.4.5. Дубу 800 лет

Древесина дуба отличается достаточно высокой прочностью, твёрдостью, плотностью и благодаря сердцевинным лучам – красивой текстурой, фактурой (рис.4.6).

Поздняя древесина составляет более 50% годового слоя.

Со временем древесина дуба немного темнеет, что придает ей оттенок благородной старины.



Рис.4.6. Текстура дуба

Береза. Лучшие эксплуатационно-технические характеристики берёзы проявляются в возрасте 60...70 лет, предельный возраст – около 150 лет.

Древесина однородная, мелкоструктурная, довольно твёрдая и прочная, особенно при ударных нагрузках.

Плотность составляет около 650 кг/м³.

Древесина имеет молочно-белый цвет с лёгким желтоватым или с красноватым оттенком. Годичные кольца практически не различимы (рис.4.7.)



Рис. 4.7. Береза

Клен. В высоту клены достигают 20...30 м при диаметре до 2 и даже 5 м. Лучший возраст клена для заготовки древесины 120 лет.



Рис.4.8. Клен

Древесина клена твёрдая и сравнительно тяжёлая, обладает красивой текстурой (рис.4.8).

По прочностным характеристикам древесина клёна несколько превосходит древесину дуба.



Рис.4.8. Текстура клена

Но из-за склонности к трещинообразованию и короблению пиломатериалы из клёна требуют очень тщательного режима сушки.

Ясень растёт в высоту до 40 м и диаметром до 1 м (рис. 4.9).

Лучшей для изготовления строительных изделий считается древесина в возрасте 60...70 лет.



Рис. 4.9. Ствол ясеня

По внешнему виду древесина ясеня очень похожа на дуб, но не содержит крупных сердцевинных лучей (рис.4.10).

По твердости превосходит дуб, но при этом более эластичная.



Рис.4.10. Текстура ясеня

Древесина ясеня отличается красивой текстурой, имеет бурый цвет ядра, плавно переходящий в жёлто-розовую заболонь, что делает переход практически не различимым.

Годичные слои хорошо видимы на всех разрезах ствола.

Применяют наравне с древесиной дуба, как в виде цельной древесины, так и в виде фанеры или шпона.

Лица отличается густой кроной, ствол достигает в диаметре 2...3 м и высотой более 20 м.

Продолжительность произрастания достигает 300...400 лет, а отдельные разновидности – до 1000 лет.

Лучший возраст для заготовки древесины 90 и более лет.

Древесина мягкая, легкая (420 кг/м³) и вязкая, практически непроницаема для жидкостей, но подвержена червоточине, не коробится и не растрескивается при сушке.

Обладает небольшой прочностью и твердостью.

Легко обрабатывается, хорошо удерживает тепло, имеет приятный запах.

Ольха произрастает в основном на сильно увлажнённых почвах. В заболоченных местах достигает высоты 35 м и в диаметре 40...50 см.

Продолжительность жизни – до 100 лет, отдельных разновидностей – до 300 лет.

Лучшей для изготовления строительных изделий считается древесина в возрасте 60 лет.

Древесина ольхи мягкая, лёгкая, вязкая, однородного строения без деления на ядро и заболонь, но иногда имеет так называемое «ложное ядро», границы которого обычно не совпадают с годичными слоями.

Осина. Древесина осины однородно-белого цвета (белее, чем у других лиственных пород) с зеленоватым или слегка голубоватым оттенком, легкая, мягкая и однородная, что позволяет делать прорези практически в любом направлении, не скалывается и не сминается.

На корню осина недолговечная, так как легко поражается сердцевинной гнилью. Поэтому лучший возраст для заготовки древесины 40...60 лет.



Рис.4.11. Осина

Древесина осины обладает уникальной способностью при выдержке (сушке) значительно увеличивать прочность.

Только для этого необходимо срубить молодую осину весной, когда древесина наполнена соком, и дать ей возможность хорошо просохнуть в тени – провялиться.

Считается, что при этом происходит дополнительная полимеризация древесины под действием компонентов ее сока.

Тополь – быстрорастущая порода. В 30...40 лет достигает крупных размеров – в высоту от 30 до 60 м и диаметром ствола около метра (рис. 4.12).

К 50-ти годам рост дерева прекращается.

Продолжительность жизни преимущественно до 80 лет. Лучший возраст для заготовки древесины 40 и более лет.



Рис.4.12. Тополь

Чёрное дерево на строительном рынке – это больше коммерческое название древесины темного или черного цвета некоторых деревьев, принадлежащих к разным семействам и имеющих названия – эбеновое дерево (рис.4.13), мугембе, мукелете, мпинго, парротия, бакаут. Некоторые виды палисандра (рис.4.14) - черный афри-

канский, бразильский, остиндийский, сенегальский или африканский эбони, африканский гренадилл, дальбергия черная, кокоболо, фунера, намбар, австралийское черное дерево.



Рис.4.13. Эбеновое дерево



Рис.4.14. Палисандр

Произрастают породы чёрного дерева преимущественно в Африке (Камеруне, Заире, Нигерии), Индии и других странах.

Древесина чёрного дерева плотная, тяжёлая (до 1300 кг/м³), однородная, твёрдая, прочная, устойчивая ко многим формам биологического воздействия, обладает водоотталкивающими свойствами.

Красное дерево объединяет группу тропических деревьев из семейства мелиевых, имеющих древесину красного или коричневого цвета с различными оттенками и интенсивностью окраски.

Ее цвет обусловлен присутствием в волокнах растения естественных красителей.



Рис.4.14. Красное дерево

Древесину красного дерева получают преимущественно из африканских и американских пород – махагони, амаранта, мербау, тика и др.

Железное дерево тоже условное название группы разных пород, которые имеют общие характеристики.

Например, обладают высокой плотностью (0,9...1,05 кг/м³) и твердостью (рис.4.15).

Некоторые из них по твердости сродни железу.

Многие тонут в воде и поэтому такое название.

В высоту они растут до 20 м и до 2 м в обхвате. Продолжительность жизни их около 200 лет и более, но, как правило, столько прожить им не дают.



Рис.4.15. Пародия персидская

4.2. Лесоматериалы

Лесоматериалом считается древесина в виде растущих и срубленных деревьев или продуктов их обработки путём поперечного или продольного деления (пиления, раскалывания, строгания, лущения, фрезерования, измельчения) и сохранившая ее природную физическую структуру и химический состав (СТБ EN 844-2).

Разновидности лесоматериалов определенного (установленного) назначения называют *сортиментом*. Т.е сортимент (от франц. assortiv – сортировать, подбирать) – это определенная часть срубленного дерева установленного назначения, которая отвечает тем или иным требованиям.

Для каждого сортимента разработаны и утверждены стандартами его размеры и требования к качеству древесины (рис.4.16).



Рис.4.16. Сортимент бревна

Для получения высококачественного сортимента заготовка древесины, как материала, должна вестись преимущественно осенью и зимой (с октября по январь) или в начале весны пока дерево «спит» и имеет наименьшую влажность.

Круглые лесоматериалы представляют собой отрезки древесных стволов (хлыстов), очищенные от коры и сучьев.

Хлыст – это ствол срубленного дерева, у которого отделены корни, вершина и сучья.

К круглым лесоматериалам соответственно относят долготье, бревна, *кряжи* и *чураки*, которые получают в результате поперечного деления (раскряжевки) хлыста на части разной длины.

Долготье — отрезок хлыста имеющий длину, кратную длине получаемого сортимента с припуском на разделку, т.е. круглый лесоматериал, у которого еще не проведено последующее поперечное деление (ГОСТ 17462).

Круглые лесоматериалы по толщине (диаметру верхнего отруба) подразделяют на крупные, средние и мелкие.

Крупные имеют диаметр 26 см и более, средние — 14-24 см, мелкие — подтоварник — от 6 до 13 см.

Тонкий лес от 3 до 7 см или более тонкие части ствола называют *жердями*.

Бревно является круглым сортиментом, который применяется в круглом виде или как сырье для создания пиломатериалов.

Кряж — это круглый сортимент, из которого создают особые виды лесопродукции. Длина их соответствует кратному количеству чураков.

Чураки являются отрезками кряжа.

Используют бревна длиной от 3 до 6,5 м с градацией через 0,5 м.

Лесоматериалы в зависимости от качества древесины и дефектов обработки подразделяют на 4 сорта.

Для строительных целей используют бревна 2 и 3 сортов.

Современной разновидностью строительных брёвен являются оцилиндрованные (фрезерованные) брёвна.

Такие бревна прошли механическую обработку на специальном оборудовании и имеют одинаковый диаметр и, как правило, специальный профиль по всей длине



Рис. 4.17. Оцилиндрованные бревна

4.3. Пиломатериалы

Пиломатериалы— это продукция установленных размеров и качества, имеющая как минимум две плоскопараллельные поверхности (пласти) т.е. это стволы деревьев распиленные вдоль на части.

Они могут быть необрезными и обрезными, фрезерованными, строганными, шпунтованными.

Необрезные пиломатериалы имеют параллельные пласти и с одной или двумя не пропиленными кромками (рис. 4.18).



Рис. 4.18. Нетрезвые доски

Обрезные имеют прямоугольное сечение и с обзолом (не снятая круглая поверхность бревна), если он допускается и не превышает установленного значения, т.е. с обрезными кромками (рис.4.19).



Рис.4.19. Обрезные доски

Строганный – это пиломатериал, у которого обработана строганием хотя бы одна плась или обе кромки.

Нестроганный пиломатериал не имеет обработки строганием.

По степени обработки пиломатериалы разделяют на нефрезерованные и фрезерованные-строченные.

Фрезерование древесины – это вид резания с помощью вращающихся фрез, имеющих одну или несколько режущих кромок.

Фрезерованием получают различные профильные поверхности, пазы, шипы, гребни, проушины.

Продольная широкая поверхность пиломатериалов, а также любая сторона пиломатериала квадратного сечения называется пластью.

Пласть, обращенная к сердцевине, называется внутренней, а обращенная к заболони – наружной.

Продольные узкие стороны пиломатериалов называют кромками, пересечения пласти и кромки – ребрами, концевые поперечные сечения – торцами (рис.4.20), расстояние между параллельными пластями – толщиной пиломатериала, между кромками – шириной, между торцами – длиной (рис.4.21).



Рис.4.20 Стороны пиломатериалов



Рис.4.21.

В результате распила в зависимости от формы и размеров поперечного сечения получают:

- горбыль (обапол) – боковая (внешняя) часть бревна, полученная при его продольной распиловке, которая имеет одну пропиленную, а другую не пропиленную или пропиленную не на всю длину поверхность (рис.4.22);



Рис.4.22. Горбыль (обапол)

- брусья – брёвна, опиленные с двух, трёх, или четырёх сторон и имеющие ширину и толщину 100 мм и более;

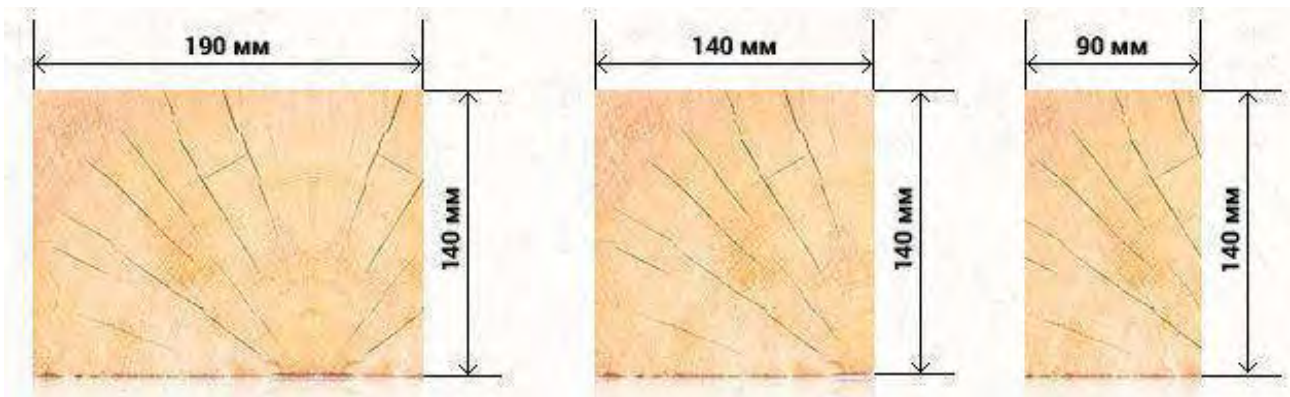


Рис. 4.23. Брусья

В строительстве в основном применяются стандартные размеры бруса 200x200, 200x150, 150x150, 150x100 и 100x100 мм.

- бруски – пиломатериалы толщиной до 100 мм и шириной не более двойной толщины (рис.4.24).

По геометрическим параметрам различают бруски квадратного и прямоугольного сечения;



Рис. 4.24. Бруски

Тес — тонкие доски имеют толщину до 32 мм, толстые — толщину свыше 32 мм (рис.4.25).



Рис.4.25. Тес

Фрезерованные доски

По виду распила доски подразделяют на сердцевинные (чаще всего одна доска, включающая сердцевину), центральные (обычно две доски, выпиленные из центральной части бревна или бруса и расположенные симметрично оси бревна) и боковые (крайние) доски, расположенные между центральными и горбылем.

Качество сердцевинных досок сравнительно низкое.

Рациональная схема распила бревна для получения радиальных и полурадальных досок (рис. 4.26).

Образцы досок распила



Рис.4.26. Схема распила

Вагонка.

Вагонка своим названием обязана деревянным рейкам, которыми обшивали железнодорожные вагоны.

С тех пор доски, строганные (фрезерованные) со шпунтом и производимые по отечественным стандартам, стали называть вагонкой (рис.4.27).

Ширина вагонки составляет 65...150 мм, толщина – 12...25 мм и стандартная длина 1,5; 3,0 и 6,0 м.

Влажность вагонки должна находиться в пределах 15...20%.

В зависимости от качественных показателей различают четыре класса вагонки («экстра», А, В и С) и разновидности (больше рекламного характера) евровагонка, софтлайн, европрофиль, евростандарт и др.

Например, класс «экстра» характеризуется отсутствием дефектов и производится из высококачественного сырья.

Класс «С» допускает сухие выпадающие сучки, трещины, смоляные кармашки, прорость, поражение насекомыми и дефекты строжки.

Разновидностью вагонки является строганная профилированная доска, имитирующая форму бруса (вуд-хаус, еврофинка).

Отличается от вагонки профилем поперечного сечения и большей шириной планки.



Рис. 4.27. Вагонка

Блок-хаус (имитация бревна) конструктивно представляет собой полукруглую вагонку или набранные из неё стеновые панели, с высокой точностью имитирующие оцилиндрованные бревна. (рис. 4.28, 4.29).



Рис. 4.28. Блок-хаус (имитация бревна)

Выпускается трёх категорий – «С», «АВ» и «Экстра».

Блок-хаус категории «Экстра» не имеет внешних дефектов, «С» и «АВ» допускает наличие некоторых изъянов, например – сучков.



Рис. 4.29. Блок-хаус (фальш-брус)

4.4. Полуфабрикаты и изделия

Многие разновидности пиломатериалов, в т. ч. уже рассмотренные нами (доски, бруски), длина которых значительно превышает ширину и толщину, называют ещё погонажными изделиями (от учетной единицы измерения их в погонных метрах).

Главной характеристической единицей таких изделий является погонный метр (метраж), хотя выпуск и потребление их может измеряться и в м^3 или м^2 .

Погонажные изделия (погонаж) – которые измеряются в погонных метрах и преобладающим размером является длина по отношению к ширине.

Различают погонаж строительный, дверной, оконный, мебельный, багетный и др.



Рис. 4.30. Разновидности погонажных изделий

Изготавливают их из цельной и клееной древесины либо путем прессования (экструдирования) композиционных составов на основе мелких древесных частиц и полимеров.

К этой группе изделий относят рейки, бруски, уголки, фальцевые доски для обшивки стен и потолков, плинтусы и галтели для заделки углов между полом и стенами, рельефный погонаж, поручни для перил, наличники и изделия для изготовления оконных и дверных коробок, наружную обшивку, штапик, подоконные доски, обломы и мулюры – архитектурные детали определенного профиля и другие изделия.

Основными качественными характеристиками таких изделий являются в основном внешний вид, наличие (отсутствие) пороков на лицевых поверхностях, прочность клеевых соединений, отклонение от номинальных размеров, качество отделочного покрытия, шероховатость поверхности, влажность и др.

Шпон представляет собой тонкие слои (срезы) натуральной древесины, толщиной от 0,1 до 10 мм, получаемые: строганием брусьев или ванчесов (строганный шпон), лущением коротких пропаренных колод (лущёный) или пилением заготовок (пиленый) (рис.4.32).



Рис. 4.31. Клеёное поганное изделие

Выпускаются и другие виды шпона.



Рис.4.32.Получение шпона

Клееная (многослойная) древесина изготавливается из нескольких слоёв специально подготовленного массива древесины (шпона, досок или ламелей) (рис. 4.33).

В качестве древесины используются преимущественно хвойные породы – сосна, ель, лиственница, кедр.



Рис.4.33. Фрагмент здания из клееного бруса



Рис.4.34. Материал ламинированный шпоночный

В зависимости от прочности, жёсткости, плотности и других показателей конструкционная клееная древесина подразделяется на классы: GL 24, GL 28, GL 32 и GL 36 (СТБ EN 1194).

Численное значение класса выражает собой предел прочности клееной древесины при изгибе (Н/мм²).

Применяется клееный брус для изготовления несущих и ограждающих конструкций, при возведении большепролетных зданий различного назначения.

Разновидностью клееного бруса является конструкционный клееный материал ЛВЛ (англ. Laminated Veneer Lumber (LVL)) или материал ламинированный шпоночный (рис. 4.34), представляет собой слоистый композиционный материал из листов деревянных фанеры или шпона с волокном, главным образом одного направления (СТБ EN 14279 и 14374).

Получают путём склеивания нескольких слоёв фанеры или шпона (7...9 и более толщиной около 3 мм) с параллельным расположением волокон.

Производится в виде бруса и плит. Толщина изделий, как правило, кратная толщине шпона и составляет от 18 до 102 мм, ширина 100...1800 мм при длине до 18 м.

Плотность LVL составляет 400...600 кг/м³, предел прочности при изгибе – 30...35 МПа.

Фанера (рис. 4.35) является слоистым листовым материалом (фанерный сэндвич), склеенным из трёх и более, как правило, нечетного числа тонких листов шпона (нередко в композиции с другими материалами) при взаимно перпендикулярном направлении волокон в смежных слоях путём прессования при температуре 90...150 °С.

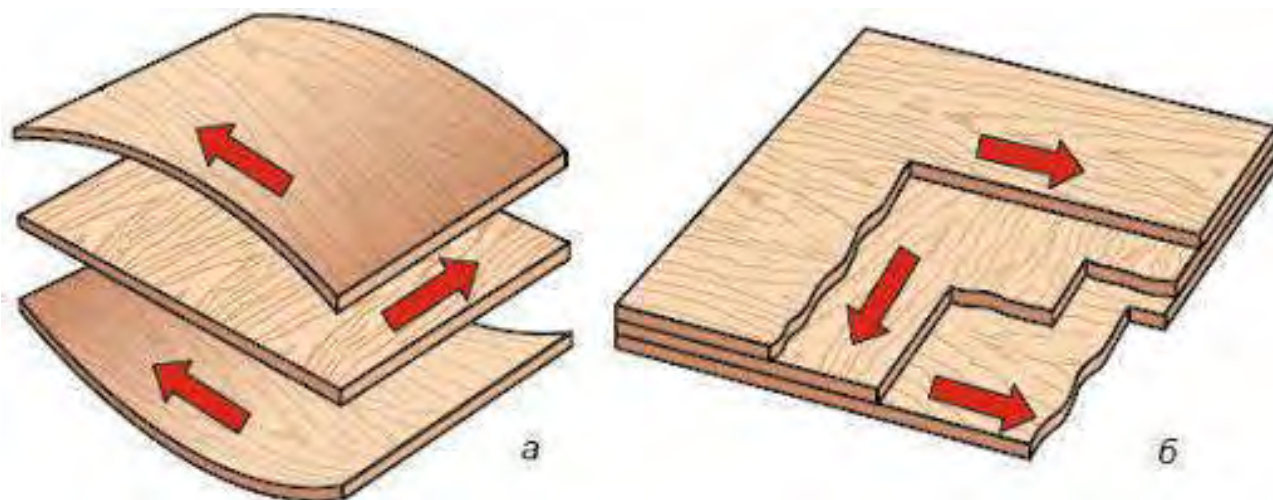


Рис. 4.35. Фанера (фанерный сэндвич)

Фанера (нем. Furnier, от франц. fourmir – снабжать, накладывать) – это материал, который изготавливают из натурального древесного шпона способом склеивания.

Слои соединяют между собой таким образом, чтобы направления волокон чередовались.

Для изготовления фанеры применяют хвойные и лиственные породы.

В качестве клея используются фенолоформальдегидные, карбамидные, альбуминоказеиновые и др.

В листе фанеры различают наружные (лицевой или кроющий и оборотный) и внутренние слои, отличающиеся качеством и породой древесины.

Для лицевых слоёв чаще всего используют шпон древесины берёзы (СТО 00255177-001-2013), ольхи, бука, липы и тополя, для внутренних слоёв – сосны, ели и лиственницы.

При этом фанера считается изготовленной из той породы, из которой изготовлены ее наружные слои (рубашки). Лицевая рубашка фанеры содержит меньше пороков. Чем больше слоёв, тем прочнее фанера.

Выпускают фанеру различных видов, толщины (от 1,5 мм до 30 мм и более) и формата (1525x1525 мм и более).

В зависимости от внешнего вида наружных слоев фанеру подразделяют на пять сортов. Е (элита), I...IV.

Ламинированная фанера – покрытая специальной пленкой а торцы защищены, как правило, акриловой краской (ГОСТ Р 53920).

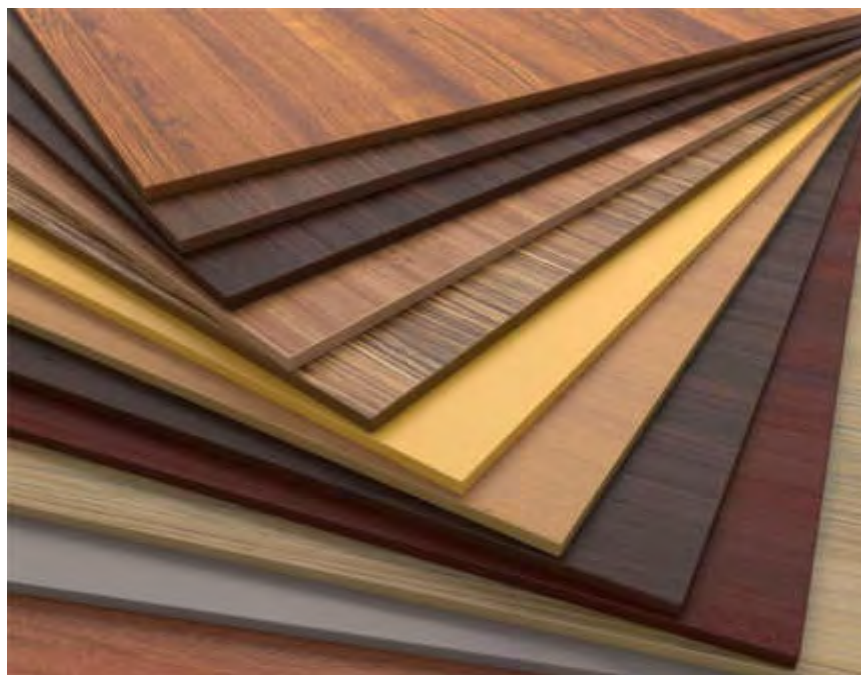


Рис.4.36. Фанера ламинированная

Древесно-стружечные плиты (ДСтП, WW) получают методом плоского или экструзионного горячего прессования отходов древесины (стружек, опилок, деревянной щепки и т. п.), а также других лигноцеллюлозных материалов (льняной и пеньковой костры, жмыха, соломы и т. п.) с полимерной клеящей системой (от 7 до 10% от массы плит) и незначительное количество специальных добавок – гидрофобизирующих, антисептических и др. (СТБ EN 309, 312 и 13168, ГОСТ 10632) (рис.4.37).



Рис. 4.37. Древесно-стружечные плиты

Классифицируют древесно-стружечные плиты по технологии изготовления, плотности, состоянию поверхности, форме, структуре, физико-механическим показателям, назначению и другим показателям.

По плотности различают плиты малой (меньше 550 кг/м³), средней (550...750 кг/м³) и высокой (более 750 кг/м³) плотности.

В зависимости от физико-механических показателей и условий эксплуатации (влажные, сухие) их подразделяют на семь типов: от P1 до P7.

По виду поверхности различают обычные и мелкоструктурные, а по степени обработки – шлифованные и нешлифованные.

Они могут быть плоские, с фасонной поверхностью и с профилированной кромкой, однослойные и многослойные, армированные, на карбидном, фенольном и других связующих, влагостойкие (ГОСТ 32399), биостойкие и огнестойкие (ГОСТ 32398), с окрашенной лицевой поверхностью, ламинированные (ГОСТ 32289) и др.

Плиты OSB изготавливают из стружек определенной формы и толщины, спрессованных при высоком давлении и температуре на конвейерном прессе с использованием водостойких смол (СТБ EN 300).



Рис.4.38. Плиты OSB

Стружка (strand) имеет длину от 50 до 150 мм, толщину обычно до 2 мм, ширину до 50 мм и укладывается в ковре тремя слоями.

При этом внешние слои образуются стружкой, ориентированной параллельно длине плиты, а внутренние – перпендикулярно.

OSB материал с анизотропными свойствами, повышенной прочности и упругости при сохранении гибкости, свойственной древесным материалам.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) получают путём горячего прессования древесно-целлюлозных волокон, воды, наполнителей и при необходимости синтетических полимеров и специальных добавок (СТБ EN 316 и 622) (рис.4.39).



Рис.4.39. Древесноволокнистая масса и разновидности ДВП

Связка древесно-целлюлозной массы обеспечивается сцеплением волокон и их естественными склеивающими свойствами или добавлением к волокнам синтетических склеивающих составов (СТБ EN 316 и 622, ГОСТы 4598, 8904 и 27935).

В зависимости от способа производства различают плиты влажного (с содержанием влаги на стадии формования более 20%) и сухого (менее 20% влаги) формования.

Плиты сухого формования чаще всего маркируются как плиты MDF (СТБ EN 622.5).

По плотности плиты ДВП подразделяются на:

- мягкие (ДВП-М) – плотностью 100...400 кг/м³;
- полутвердые (ДВП-ПТ) – 400...800 кг/м³;
- твердые (ДВП-Т) – более 800 кг/м³;
- сверхтвердые (ДВП-СТ) – более 900 кг/м³.

Постформинг (от лат. post – после и form – форма) является способом обработки, при котором отделочный материал (основание) плавно переходит с основной поверхности на торцы.



Рис. 4.40. Постформинг

В результате такое покрытие не имеет швов.

Однако на практике постформинг представляет собой ламинированную декоративным пластиком плиту – основу (ДСП, МДФ) со скругленными углами с одной или двух противоположных сторон (СТБ 1348).

Облицовка основы осуществляется под действием давления и температуры.

Обратная сторона отделяется компенсирующей влагостойкой бумагой или декоративным пластиком.

Толщина изделий из постформинга, как правило, от 16 до 38 мм, максимальная ширина – 1200 мм, длина – до 3050 мм. Применяется в изготовлении подоконников, стеновых панелей, кухонной и специализированной мебели и других элементов интерьера.

Модифицированная (импрегнированная) древесина – это цельная древесина с направленно изменёнными свойствами путем воздействия на нее химических, биологических и физических агентов (ГОСТ 23944, 24329 и ГОСТ Р 54577).

Различают следующие способы модифицирования древесины – химический, термохимический, химико-механический, термомеханический и др.

Модифицируют, как правило, древесину малоценных пород – тополь, ольху, осину, березу.

В результате изменяется макроструктура и цвет древесины, а текстура становится более выразительной.

Увеличиваются плотность (до 800...1400 кг/м³), прочность, твердость, ударная вязкость. Понижаются разбухание и усушка, водопоглощение, гигроскопичность. Стабилизируются геометрические размеры изделий, разрушаются вещества, служащие питательной средой для грибка и плесени. Повышается долговечность (рис. 4.41).



Рис.4.41. Модифицированные пиломатериалы из ясеня до и посл

Модифицированная древесина используется при изготовлении элементов конструкций, которые подвергаются усиленному воздействию влаги, для изготовления террасной доски (декинга), паркета и т.п.

Термопластичные древесно-полимерные композиты (ТДПК) представляют собой материалы, полученные в результате смешивания измельченной древесины (древесной муки, опилок, волокон) с полимерным связующим и специальными модифицирующими добавками (рис.4.42).

Размер частиц измельченной древесины (наполнителя) составляет от 50...500 мкм до 1...8 мм, содержание – 50...80 %. В качестве полимерного связующего используется в основном полиэтилен.

Находят применение и другие полимеры.

Содержание полимерного связующего составляет 15...45% и модифицирующих добавок – 1...5%.

Изготовление изделий осуществляется методами экструзии, литья под давлением, прессованием и ротационным формованием.

Плотность таких изделий составляет 1100...1300 кг/м³, прочность сопоставима с прочностью натуральной древесины.

Влажность после изготовления – не более 0,5%, влагопоглощение – 1...3%.



Рис.4.42. Компоненты ТДПК (1 –измельченная древесина, 2 – полимерное связующее) и готовые изделия

Применяются ТДПК в производстве наружных отделочных материалов, оконных и дверных профилей, сайдинга, балюстрад, деталей мебели, декинга, подоконных, террасных и половых досок, стеновых панелей, кровельных изделий.

Учитывая природную основу и формуемость смеси, такие композиты получили еще название «жидкое дерево».

4.5. Материалы для полов из древесины

К разновидностям напольных покрытий из древесины относят традиционную половую, массивную и паркетную доски, штучный, мозаичный, модульный, художественный и садовый паркет, ламинат и др. В производстве таких покрытий используется более 50 пород древесины – от ели до экзотических пород (мербау, секвойя, палисандр и др.).

Одним из старейших видов напольного покрытия из древесины являются дощатые полы.

Дощатые полы в отличие от современного покрытия из массивной доски настилают из хорошо остроганных обрезных досок, не требующих обработки кромок, или из шпунтованных досок по лагам (длинные бруски сечением (40...80)х(80...120) мм).

Толщина таких досок может быть от 22 до 60 мм в зависимости от конструкции пола. Ширина, как правило, ограничивается 120...150 мм.

Доски большей ширины могут подвергаться сильному короблению при изменении влажности среды.

Для дощатых полов используют хорошо просушенные доски преимущественно хвойных и некоторых лиственных пород (дуб, ясень и др.).

Дощатые полы могут быть однослойными и двухслойными.

Однако в настоящее время дощатые полы вытесняются более современными разновидностями напольных покрытий из древесины.

Натуральный (массивный, штучный) паркет представляет собой прямоугольные планки (клепки) из массивной древесины со взаимно-параллельными фрезерованными пластинами, по периметру которых имеется специальный соединительный профиль – паз и гребень (СТБ 1454).



Рис. 4.43. Паркет

Для изготовления штучного паркета традиционно используется древесина лиственных пород, отличающихся более высокой твердостью и износостойкостью (СТБ 1454 и DIN 280).

При этом бытует мнение, что твердость дуба самая высокая.

Однако в мире паркета по твердости многие породы превосходят дуб.

Например, оливковое дерево (олива), клен, ясень, орех, акация, груша, ятоба, дуссия, мербау и др.

Штучный паркет различается по направлениям распила ствола дерева.

В зависимости от направления распила паркет подразделяют на радиальный, тангенциальный и смешанный.



Рис.4.44. Текстура паркета в зависимости от типа распила:
 1 – радиальный, 2 – тангенциальный, 3 – смешанный (рустик)

Паркетная доска может быть двух видов – массивной и многослойной (паркетная и инженерная). Массивная паркетная доска занимает промежуточное положение между штучным паркетом и доской пола.

Инженерная и паркетная доска — это два вида паркета, которых объединяет одно качество: они многослойные.

Это значит, что ценная порода древесины у доски — только внешний слой (и благодаря этому, в уложенном виде они неотличимы от массива).

Но нижние слои – вспомогательные.

Благодаря им паркет становится дешевле, а заодно получает и некоторые относительные плюсы.

У паркетной доски нижние слои — из хвойных пород древесины.

У инженерной доски нижние слои — это березовая фанера (рис.4.45).



Рис.4.45. Инженерная доска

Разновидностью штучного паркета является художественный, представляющий собой орнаменты композиции разной степени сложности (рис.4.46).



Рис.4.46. Художественный паркет

Ламинат для пола — самый недорогой вид «паркета». Выглядит он как настоящий, натуральный, но по сути — является, лишь, имитацией, поскольку ценных пород древесины в нем нет ни грамма.

Ламинат – от нем. *Laminat* – слоистый материал, пластик), т.е. ламинированное напольное покрытие.

Он представляет собой панель, состоящую из нескольких слоев различных материалов спрессованных при высоком давлении и высокой температуре.

Верхний слой у такого напольного покрытия – ламинированная пленка из меламиновой или акриловой смолы, которая и дала название всей конструкции. Она защищает панель от истирания, влаги, загрязнений, ультрафиолетовых лучей и других воздействий.

Второй, декоративный слой, состоит из пропитанной меламиновой смолой бумаги или мебельной фольги, имитирующих породы дерева или фактуры других материалов, и устойчивый к ультрафиолетовым излучениям.

Далее следует основа (несущий слой), состоящий из твердой и жесткой древесноволокнистой или древесностружечной плиты, которая обеспечивает механическую прочность всей структуры.

Между декоративным слоем и слоем-основой могут вводиться дополнительные прослойки из бумаги, пропитанной синтетическими смолами в целях повышения твердости поверхностного слоя основы, увеличения ударной прочности ламинированного напольного покрытия.

Этот слой также придает дополнительную жесткость кромкам панели.

Снизу панель защищена водонепроницаемым слоем из парафинированной или пропитанной меламиновой смолой бумаги. Он придает панелям жесткость, стабилизирует геометрические размеры и защищает от всевозможных деформаций.

В структуру ламината может быть также включен дополнительный звукоизоляционный слой, закрепленный на обратной стороне панели. Толщина ламината составляет 6...13 мм.

Длина панелей находится в пределах 100...140 см при ширине до 20 см (рис.4.47).



Рис.4.47. Ламинат

Сегодня выпускают множество разновидностей ламината, имитирующих натуральные материалы: камень, дерево, паркет, гранит и т. д.

При этом цветовая гамма такого покрытия может быть очень разнообразной.

Садовый паркет или *декинг* (от англ. decking – деревянное покрытие, палуба, настил) представляет собой плиточные модули размером, как правило, 50x50 или 30x30 см (рис.4.48).



Рис.4.48. Садовый паркет

По структуре состоит из подложки (дерево, пластик) и лицевого слоя из влагостойких деревянных ламелей (планок), размещенных в виде художественного узора.

Ламели готовят из тропической стойкой (эвкалипт, тик, красное и железное дерево, кемпас) или местной модифицированной хвойной древесины (сосна, кедр, лиственница).

Производится также декинг из композитных материалов на основе древесины, пластиковый и керамический.

Террасная доска (палубная, декинг) предназначена для укладки террас (4.49). Она может быть полимерной (композитной) и натуральной.



Рис.4.49. Террасная доска

Террасная доска из натуральной древесины выполняется как из хвойных (лиственница, кедр), лиственных (дуб, ясень, бук), так и тропических пород (кумару, мербау, тик, меранти и др).

Композитную доску получают из древесно-полимерной композиции (измельченная древесина $\approx 60\%$, полимеры $\approx 35\%$ и специальные добавки $\approx 5\%$).

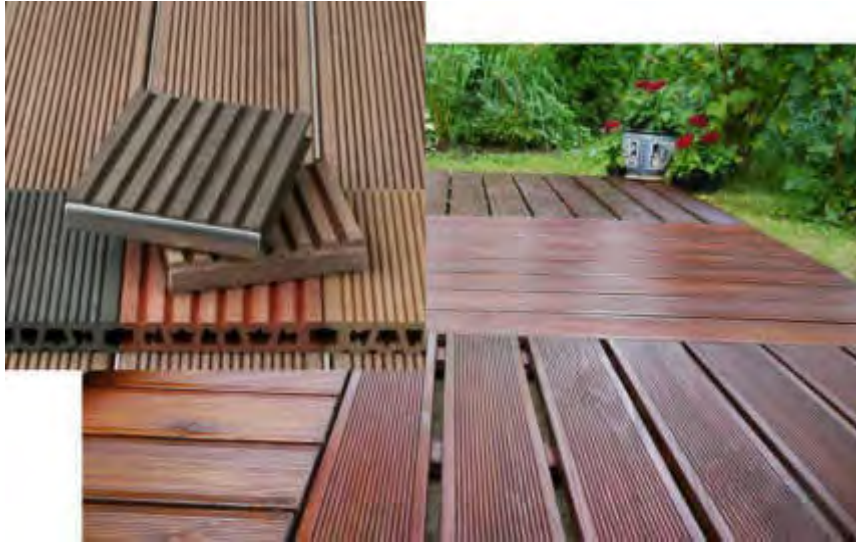


Рис.4.50. Композитная террасная доска

- стеновые;
- изделия для внешней и внутренней облицовки;
- санитарно-технические изделия;
- кровельные;
- специальная керамика;
- заполнители для бетонов и растворов.

5.2. Сырье для производства керамики

Основным сырьём для производства керамических изделий являются глины различного химико-минералогического состава и генетического происхождения, их смеси и соединения с минеральными и органическими добавками – отоощающими, пластифицирующими, флюсующими, порообразующими и другими.

Глины образовались в результате выветривания изверженных полевошпатовых горных пород.

Процесс выветривания горной породы заключается в механическом разрушении и химическом разложении.

Механическое разрушение происходило в результате воздействия попеременных температур и воды, химическое разложение – при воздействии на полевой шпат воды и углекислоты.

В результате образовались минералы – водные алюмосиликаты различного состава:

- каолинит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), чистый каолинит имеет белоснежный вид, а при наличии в нем примесей – другие цвета.
- монтмориллонит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ – по цвету белый с сероватым оттенком;
- галлуазит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и др.

Химический состав глин выражается содержанием и соотношением различных оксидов, зависит от минерального состава и колеблется в широких пределах. Основными компонентами глин являются глинозем Al_2O_3 , кремнезем SiO_2 , оксиды щелочных и щелочноземельных металлов K_2O , Na_2O , CaO , MgO и оксиды Fe и Ti.

Размер частиц глинистых минералов не превышает 0,005 мм и благодаря своей гидрофильности и огромной удельной поверхности глины активно поглощают и удерживают воду. Именно глинистые минералы придают глине такие свойства как пластичность при увлажнении, прочность при высыхании и способность к спеканию при обжиге.

В обычных глинах полиминерального состава содержится глинистых минералов 45...60%, кварца – 25...35%, карбонатов – 2...8% и органических примесей от

2...4% и более. Изменение химического состава глин заметно отражается на их свойствах, а соответственно и на технических характеристиках изделий.

Качественными характеристиками глин для производства керамических изделий строительного назначения являются пластичность, набухание, связующая способность, спекаемость, огнеупорность, усадка при сушке и обжиге и др.

Пластичность глин характеризуется их способностью образовывать при затворении водой тесто, которое под воздействием внешних нагрузок может принимать определенную форму и сохранять её после устранения этих нагрузок.

По степени пластичности различают глины:

- высокопластичные – содержат в своем составе до 3...5% песка и называются жирными, поскольку в замоченном состоянии дают осязательное ощущение жирного вещества и скользкие на ощупь. Они легко формуются, но имеют высокую водопотребность (более 28%) и, как следствие, дают большую усадку при сушке (10...15%) и растрескиваются;

- малопластичные (тощие) – содержание песка составляет до 30%. На ощупь такие глины шероховатые, с матовой поверхностью, и при трении пальцем легко крошатся, отделяя землистые пылинки. Они плохо поддаются формовке, требуют мало воды затворения (менее 20%) и, как следствие, дают небольшую усадку (5...7%).

- средней пластичности – водопотребность 20...28%, усадка при сушке 7...10%.

Пластичность зависит от минералогического состава и дисперсности глин.

Набухание – способность глин увеличиваться в объёме при перемешивании с водой. Это свойство от зернового и минералогического состава.

Связующая способность глин определяется их возможностью связывать частицы непластичных материалов (песка, шамота и др.) и образовывать при высыхании достаточно прочные изделия заданной формы (сырец).

Более высокой связностью обладают глины с повышенным содержанием глинистых частиц.

Сушка и обжиг керамических изделий сопровождается уменьшением объёма, называемым **усадкой**.

Усадку выражают в процентах от первоначального размера изделий. Различают воздушную, огневую и полную усадку керамических изделий.

Воздушная усадка происходит при сушке сырых керамических изделий в результате удаления влаги и сближения глинистых частиц. В зависимости от вида глин она может достигать 10...12 %.

Огневая усадка происходит в процессе обжига керамических изделий в результате плавления и действия сил поверхностного натяжения, что сближает глинистые частицы. В зависимости от вида глин она составляет 2...8%, но может достигать и 14%. Огневая усадка возрастает с увеличением содержания глинистой фракции.

Полная усадка, это сумма величин воздушной и огневой усадок и может достигать 8...18%. Учитывается полная усадка при формовании сырых изделий с целью получения готовой продукции нужных размеров.

Спекаемость глин – это способность при обжиге уплотняться с уменьшением открытой пористости и образованием твердого камнеподобного черепка.

Спекание глин происходит вследствие склеивания твердых частиц жидкой расплавленной фазой – силикатными расплавами. Результатом процесса спекания является уплотнение обжигаемого материала и, как следствие, уменьшение открытой пористости.

В зависимости от температуры спекания различают:

- низкотемпературные (температура спекания до 1100°C);
- среднетемпературные (1101...1300°C);
- высокотемпературные глины (выше 1300°C).

Огнеупорность глин характеризуется способностью противостоять, не расплавляясь, воздействию высоких температур. Различают огнеупорные глины (с показателем огнеупорности 1580°C) тугоплавкие (1350...1580°C) и легкоплавкие (до 1350°C). Огнеупорность глин тем выше, чем меньше у них примесей. У чистого каолинита она составляет 1870°C. Понизить огнеупорность глин можно добавкой плавней (флюса).

При производстве керамических изделий в глины, как правило, вводят различные добавки.

По назначению их подразделяют на отошающие, порообразующие, пластифицирующие, специальные и плавни.

Отошающие добавки вводят, как правило, в жирные глины. Они уменьшают количество воды затворения, что сокращает размеры усадки при сушке и обжиге, облегчают формовочный процесс и устраняют брак. В качестве таких добавок используют кварцевый песок, шамот (глина, обожженная до потери пластичности), дегидратированную глину (продукт частичного удаления химически связанной воды), бой фарфора и фаянса, золу, молотые шлаки и др.

Порообразующие добавки вводят с целью снижения плотности и теплопроводности керамических изделий. Они одновременно являются и отошающими добавками. По виду воздействия на керамический черепок различают **выгорающие**

добавки (древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль и т. п.) и **диссоциирующие** – с выделением газа, например, CO_2 (молотый мел, доломит и др.).

Пластифицирующие добавки вводят в тощие глины с целью повышения их пластичности. Например, поверхностно-активные вещества СДБ (0,1...0,3%), ЛСТ, высокопластичные бентонитовые глины и другие вещества.

В глины вводят также **специальные** добавки. Например, с целью повышения кислотостойкости вводят песчаные смеси, затворённые жидким стеклом. Для придания определенного цвета керамическому черепку вводят окислы металлов, для улучшения качества изделий – пирофосфаты и полифосфаты натрия и т.д.

Плавни вводят в керамические массы с целью понижения температуры спекания. К ним относят материалы, которые в процессе обжига взаимодействуют с глинистым веществом с образованием более легкоплавких соединений, чем глинистое вещество. Для этого используют стеклобой, полевые шпаты, перлит, мел, доломит, тальк и др.

5.3. Основы производства керамических изделий

Керамику изготавливают из различных видов сырья, формуют различными способами, обжигают в печах разных типов, готовые изделия имеют разнообразную форму, размеры и цвет.

Однако несмотря на все многообразие основные технологические операции по их изготовлению являются общими (рисунок 5.2) и состоят из добычи сырьевых материалов, подготовки формовочной массы, процессов формования, сушки, обжига (однократный или многократный) и при необходимости декорирования.

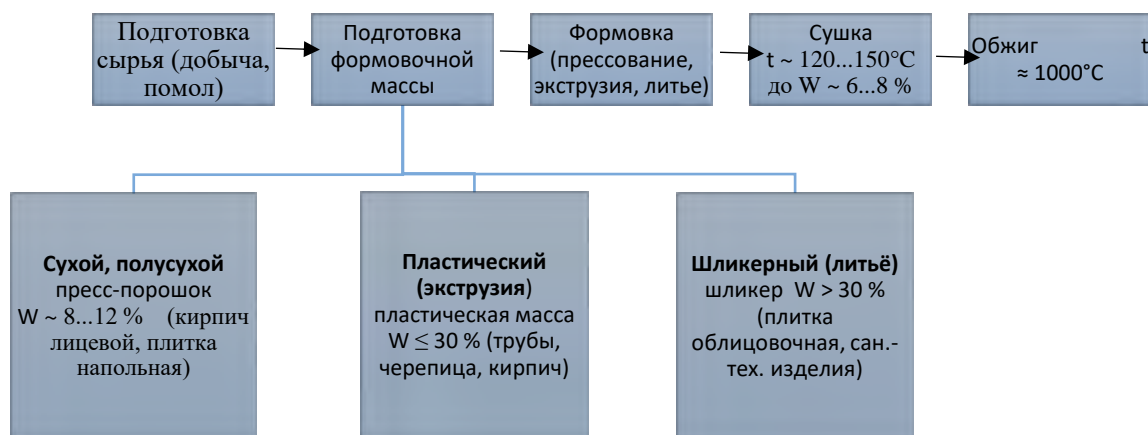


Рис. 5.2. Общая технология получения керамических изделий

Карьерная глина в естественном состоянии, как правило, не пригодна для изготовления керамических изделий. Поэтому проводится ее предварительная обработка (естественная, механическая и др.) с целью получения необходимых технологических характеристик перед подготовкой формовочной массы.

Подготовка формовочной массы заключается в дроблении, удалении вредных примесей, помоле глин и добавок, гомогенизации и при необходимости в сушке.

По способу формования керамических изделий различают прессованные, литые, экструдированные, штампованные и др. При формовании керамических изделий главным показателем формовочной массы является ее влажность. По этому показателю наиболее часто практикуемыми способами формования являются:

- сухое прессование ($W=2\dots6\%$);
- полусухое прессование ($W=7\dots12\%$);
- пластическое прессование ($W=17\dots22\%$);
- шликерное литье ($W>30\%$).

Выбор способа формования определяется, прежде всего, пластичностью формовочной массы, а пластичность во многом зависит от количества воды, содержащейся в смеси.

Смеси для сухого (пресс-порошки) получают путем предварительного смешивания и размола исходных компонентов с последующим обезвоживанием.

Затем на автоматических прессах (коллено-рычажных или гидравлических) под высоким давлением (16...55 МПа) из пресс-порошков формуют изделия, сушат до остаточной влажности 0,1...0,3% и обжигают.

При литьевом способе (шликерном) полученную смесь разливают по формам (например, под размер плиток), высушивают и обжигают.

Шликер применяют также для отливки сложных по конфигурации и тонкостенных изделий (санитарно-техническая, декоративная, химически стойкая керамика и др.).

Шликерный способ применяют также в технологии фарфоровых и фаянсовых изделий, облицовочных плиток.

Наиболее прогрессивной технологией в настоящее время считается экструдирование (протяжка). Этим способом изготавливают рядовой кирпич на ленточных вакуумных прессах. Влажность формуемой массы при этом колеблется от 18 до 28%.

Изделия формуются выдавливанием массы через специальное отверстие ленточного вакуумного пресса (экструдера) при помощи матрицы-мундштука, которое обеспечивает изделиям форму, толщину и ширину. Далее происходит нарезка изделий по длине специальными ножами (тонкой проволокой).

В упрощенном виде экструдирование представляет собой выдавливание под большим давлением глиняной массы на ленту. Из цельного пласта в последствии нарезаются изделия нужного размера.

После экструзии необходимо просушить полученные заготовки, иначе процесс обжига будет невозможен.

Существуют и другие способы формования керамических изделий – например, штампование (оттиск).

Сушка сырых керамических изделий является весьма ответственным этапом в технологическом процессе, так как трещины возникают в основном в процессе сушки изделий, а при обжиге лишь окончательно выявляются.

Сушат отформованные изделия в туннельных или камерных сушилках при температуре теплоносителя 120...150 °С в течение от нескольких минут до 72-х часов в зависимости от свойств сырья и влажности сырца.

Обжиг является важной и завершающей стадией технологического процесса производства керамических изделий и может длиться до 60 часов.

В ходе обжига формируются все эксплуатационные характеристики готовой продукции: прочность, износостойкость, постоянство размеров, химическая и термическая стойкость.

Температура обжига для различных изделий строительной керамики составляет от 900 °С до 1800 °С. Под воздействием высоких температур происходят структурные изменения в массе изделий, кристаллическая решётка молекул глины распадается, глина теряет пластичность, происходит, так называемый процесс спекания глины. При обжиге сырца образуется искусственный каменный материал (черепок), который в отличие от сырой керамической массы не размывается водой и обладает относительно высокой прочностью.

Интервал температур обжига составляет:

- для кирпича, камней и керамзита 900...1100 °С,
- клинкерного кирпича, плиток для пола, фаянса – 1100...1300 °С,
- фарфоровых изделий, керамогранита – 1300...1500 °С,
- огнеупорной керамики – 1300...1800 °С.

5.4. Способы улучшения внешнего вида керамических изделий

Цвет черепка керамических изделий чаще всего определяется составом исходного сырья (содержанием в глине оксидов железа) и варьируется от светло-желтого до темно-красного с множеством промежуточных тонов.

При этом цвет неглазурованных изделий, как правило, практически однороден по всей толщине и не имеет декоративного рисунка, а различия в окраске достигаются добавлением красящих пигментов.

Для улучшения внешнего вида керамических изделий и устойчивости к внешним воздействиям прибегают к различным технологическим приемам (декорированию):

- механической обработке лицевой поверхности,
- двухслойному формованию,
- поверхностному и объемному окрашиванию,
- глазурованию,
- ангобированию,
- сериографии, шелкографии,
- торкретированию,
- текстурированию (нанесение текстуры на поверхность),
- газопламенному и плазменному напылению,
- искусственному состариванию (галтовке),
- живописи,
- УФ-печати и др.

Механическая обработка заключается в использовании специальных приспособлений (щеток, разнообразных скребков, пневматических роликов, ножей, высокоскоростных режущих лезвий, мундштуков с рисунками на внутренней поверхности и др.), позволяющих получать рельефный рисунок в процессе или после формования изделий.

Декоративный эффект при этом достигается за счет частичного снятия верхнего слоя глиномассы или глазури, обнажения более глубоких слоев, в т. ч. глазури другого цвета.

Для придания блеска глазурованным и не глазурованным изделиям может производиться полировка поверхности.

Глазурование – это нанесение на лицевую поверхность изделий тонкого блестящего стекловидного (эмалевидного) водонепроницаемого слоя толщиной 0,1...0,3 мм, закрепленного обжигом. Глазурь закрывает поры, сглаживает шероховатости поверхности, придавая ей гладкий и блестящий вид. По составу и физическим свойствам глазури представляют собой разновидности стёкол. В их составе кварцевый песок, глина, полевои шпат, тальк, соли и оксиды различных металлов (калия, лития, бора, свинца, олова и др.). В процессе обжига глазурь расплавляется, растекается по поверхности и при охлаждении превращается в стекловидный слой. Различают прозрачные и непрозрачные (глухие), глянцевые, матовые, белые, цветные, тугоплавкие, легкоплавкие и другие глазури.

Ангобирование – это нанесение на лицевую поверхность изделий тонкого цветного слоя (толщиной 1,0...1,5 мм) из глинистой суспензии, состоящей из беложгущихся, цветных глин или смеси глин, флюсующих добавок, заполнителя и пигментов, с последующим обжигом. Ангоб, в отличие от глазури, маскирует цвет черепка и выравнивает его поверхность, а слой глазури придает плитке водонепроницаемость, прочность, блеск и высокие декоративные качества.

Керамические краски представляют собой смесь окрашивающих (пигменты), стеклообразующих (флюсы) и оттеночных компонентов. В качестве пигментов используют оксиды и соединения кобальта, хрома, железа, кремния, алюминия, золота, серебра и др.

При **сериографии** (от греч. serigrafia – шелк и изображение, а позднее от англ. – silk screen-printing – печатание шелковым ситом) рисунок наносится непосредственно на изделие с помощью сетчатых трафаретов (одного или нескольких), через которые продавливают краску.

Разными производителями керамических изделий применяются и другие способы декорирования, имитирующие мрамор, матовое стекло, грубую ткань, дерево.

5.5. Стеновые материалы и изделия

К стеновым материалам и изделиям из глин относят кирпич, камни и блоки керамические.

В настоящее время в мире производится несколько тысяч разновидностей кирпича различных по фактуре поверхности, размерам, форме и расцветкам.

Все они представляют собой искусственные изделия в форме прямоугольного параллелепипеда (СТБ 1160 и СТБ 1719, ГОСТ Р 57347-2016/EN 771-1).

За многие столетия такие изделия практически не изменили своей формы и фактуры, а лишь незначительно поменяли размеры.

В древности изделия подобные кирпичу называли «плинфа» (от греч. plinthos – кирпич). По форме она была более плоской, а по размерам – несколько большей – 300...400х400...650х30...80 мм. В XV веке плинфу сменил похожий на современный «Аристотелев кирпич» размером 289х189х67 мм. На Руси до 1^{ой} половины XIX века известен был так называемый «Государев кирпич» размером в вершках – $5\frac{3}{4} \times 2\frac{3}{4} \times 1\frac{1}{2}$, что составляло 255х121х66 мм (1 вершок=4,4 см). Затем 7х3х2 вершка (31х13х9 см), 6,3х3х1,6 вершка (28х14х7 см) и др. С округлением этих размеров с 1^{ой} половины XIX века стали выпускать кирпич 250х120х65 мм, а позднее и другие модификации. Узаконен кирпич в современных размерах (250х120х65 мм) был в 1927 г.

Кирпич – это искусственный камень, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда и получаемый путем обжига тщательно подобранной и определенным образом приготовленной глины, и предназначенный для устройства кладок на строительных растворах.

Камень, в отличие от кирпича, является крупноформатным пустотелым керамическим изделием с номинальной толщиной 140 мм и более, предназначенный для устройства кладок.

В соответствии с нормативными документами грани (поверхности) кирпича в порядке уменьшения площади принято называть (рисунок 5.3):

- постель (плашок) – рабочая грань, расположенная параллельно основанию кладки, т. е. поверхность, которой кирпич укладывается в конструкцию;
- ложок – наибольшая грань, расположенная перпендикулярно постели (средняя по площади грань – 250х65 мм);
- тычок (тычек) – наименьшая грань, расположенная перпендикулярно постели – 120х65 мм.

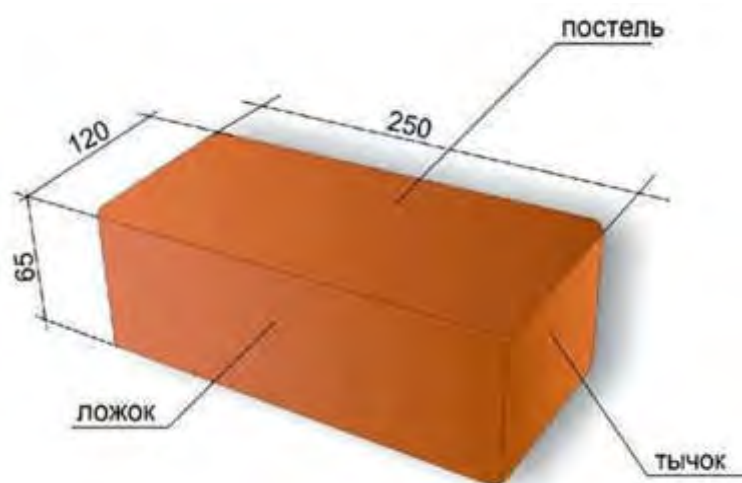


Рис. 5.3. Грани кирпича (на примере одинарного кирпича)

Общемирового стандарта кирпича и камней керамических в настоящее время не существует. Его размеры и масса регламентируются чаще всего размером и силой человеческой руки (масса одного кирпича не должна превышать 4,3 кг, камня – не более 16 кг). Однако стандартами других стран предельная масса таких изделий, как правило, не ограничивается и может достигать (крупноформатного стенового блока) 24 кг. Рядовые изделия изготавливают с гладкими или рельефными вертикальными гранями. Наша промышленность выпускает кирпич, камни и блоки керамические следующих размеров (рисунок 5.4, таблица 5.1).

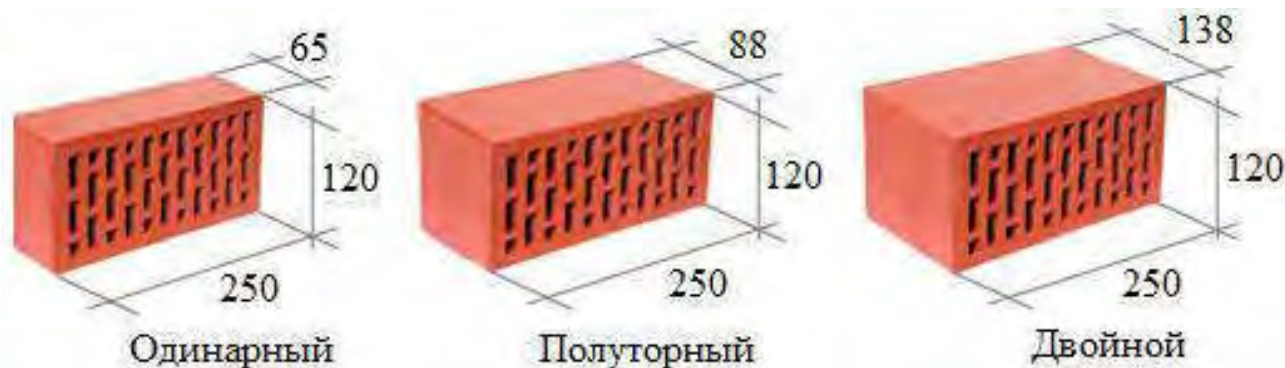


Рис. 5.4. Разновидности кирпича и камней керамических

По согласованию с потребителем кирпич, камни и блоки могут выпускаться и других размеров.

Таблица 5.1. Виды и размеры стеновых керамических изделий

Вид изделий		Номинальный размер, мм		
		длина	ширина	толщина
Кирпич	одинарный	250	120	65
	утолщенный (полуторный)	250	120	88
	одинарный модульных размеров	288	138	65
	утолщенный модульных размеров	250	138	88
	утолщенный с горизонтальным расположением пустот	250	120	88
	профильный (лицевой)	250	120	65
	утолщенный профильный	250	120	88
Камень	сдвоенный (двойной)	250	120	138
	модульных размеров	288	138	138
	модульных размеров укрупненный	288	288	88
	укрупненный	250	250	138
		250	250	188
		250	180	138
	укрупненный с горизонтальным расположением пустот	250	250	120
		250	200	80
250		250	88	
профильный пустотелый	175	180	65	
Блоки		250	120	138
		250	120	250
		250	250	138
		250	250	188
		380	250	219
		510	110	276
		510	120	138
		510	120	188
		510	120	219
		510	120	276
		510	250	138
		510	250	188
		510	250	210
		510	250	219

Линейные размеры таких изделий, как правило, регламентированы единой модульной системой или т. н. единым строительным модулем, равным 100 мм. Это значит, что основные размеры кирпича (и других изделий) принимаются кратными модулю. Например, толщина слоя кладки из кирпича толщиной 88 мм при толщине растворного шва составит 100 мм, а ширина слоя кладки из камня шириной 138 мм при той же толщине шва – 150 мм (рисунок 5.5).

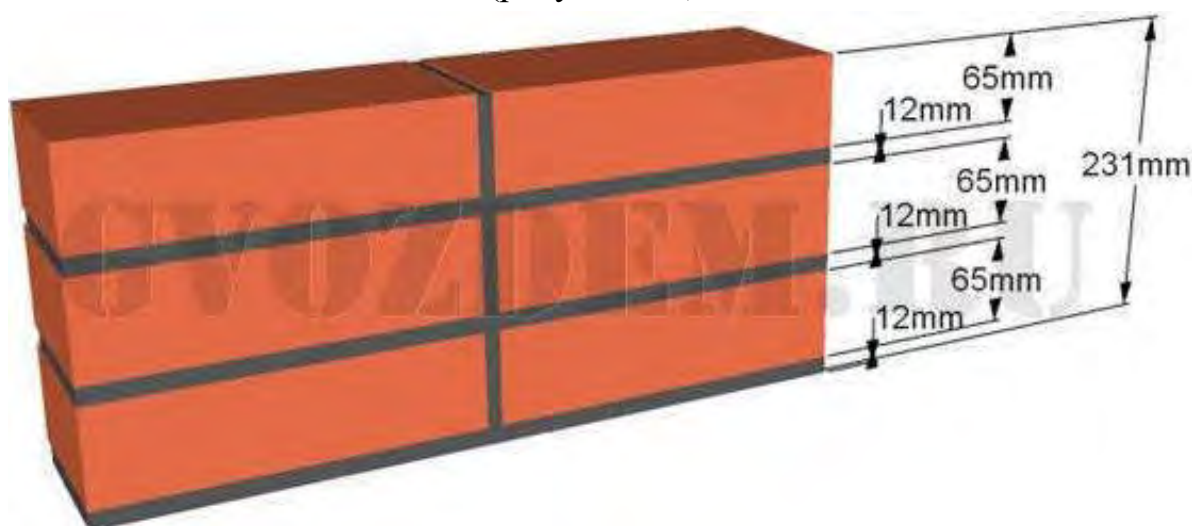


Рис. 5.5. Кирпичная кладка

По наличию пустот кирпич подразделяют на полнотелый и пустотелый (эффективный). Как правило, в полнотелом кирпиче объём пустот (пор) составляет до 13%, в пустотелом – от 13 до 50% различной формы (цилиндрические, квадратные, щелевидные) и размеров.

Камни и блоки керамические выпускаются только пустотелыми.

Пустоты располагаются как перпендикулярно постели (с вертикальным расположением пустот), так и параллельно постели (с горизонтальным расположением пустот), и могут быть сквозными и несквозными.

Форма, количество и размеры пустот, также, как и качество изделий нормируются стандартами.

Основными технологическими процессами в производстве кирпича являются добыча сырья и его переработка, формование, сушка и обжиг (рисунок 4.2)

Сырьем для стеновой керамики служат легкоплавкие глины с содержанием кремнезема от 50 до 70% в виде кварцевого песка, уменьшающего усадку сырца. Кроме того, в формовочную смесь может вводиться до 30% различного рода добавок.

Формование осуществляется способами пластического (метод экструзии) и полусухого прессования, что позволяет получать изделия с разными качественными показателями.

При **пластическом способе** формования глину сначала измельчают, затем увлажняют паром до 18...25% и перемешивают до однородной пластической массы. Это заменяет длительный процесс вылеживания глины в естественных условиях.

Подготовленная таким образом масса подается в ленточный пресс (рисунок 5.6).

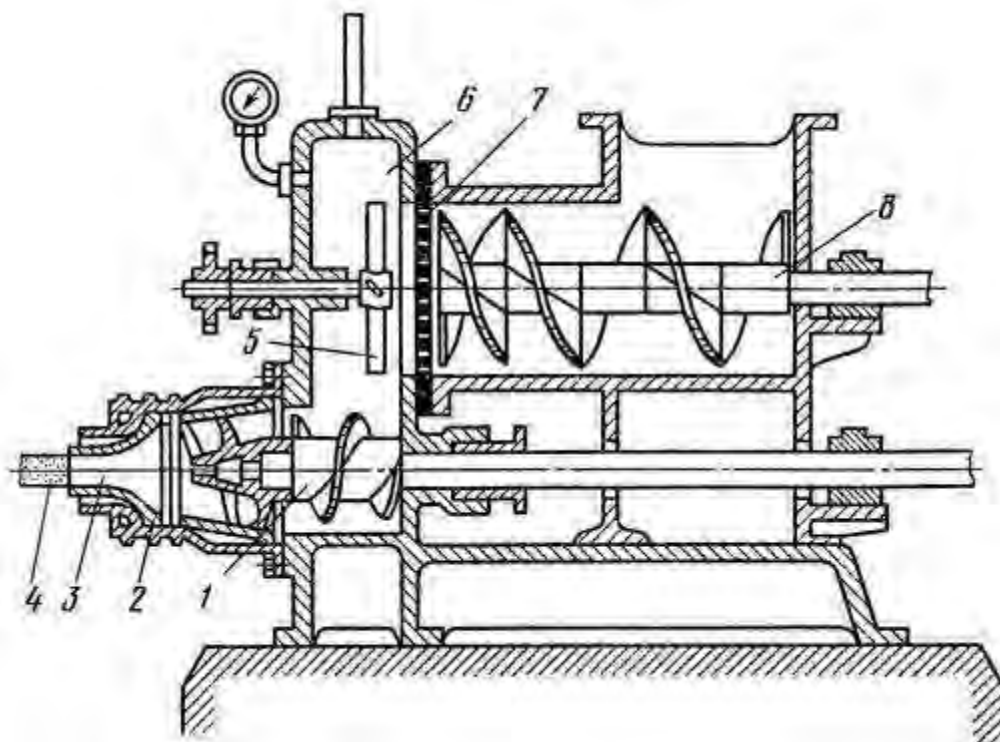


Рис. 5.6. Ленточный вакуумный пресс: 1 - винтовой вал, 2 - конусная головка, 3 - матрица-мундштук, 4 - глиняный брус, 5 - нож, 6 - вакуумная камера, 7 - решетка, 8 - винтовой конвейер

Продвигаясь через пресс, масса под давлением шнека уплотняется и выходит в виде четырехугольного бруса. Вакуумирование на последней стадии прессования позволяет дополнительно уплотнить формуемую массу. Размеры выходного отверстия экструдера (мундштука) соответствуют стандартной длине и ширине кирпича, увеличенных на размеры полной усадки формуемой массы. При выходе из мундштука пресса брус разрезается на отдельные кирпичи по плоскости постели тонкой стальной проволокой (многострунное резание).

При **полусухом способе** прессования используются более тощие глины.

Глину подсушивают, измельчают, тщательно перемешивают и увлажняют до 8...12%. Формуют кирпич-сырец поштучно специальным прессом под давлением до 15 МПа.

Изделия полусухого прессования отличаются более четкими размерами, правильной формой, гладкой и ровной поверхностью.

Существуют и другие способы формования кирпича и камней керамических, например, из пресс-порошка.

Готовый кирпич-сырец после формования укладывается на вагонетки и отправляется в сушилки.

Сушится кирпич-сырец в искусственных сушилках при температуре до 130 °С. Срок сушки составляет от 18 до 72 часов. Затем кирпич подвергается обжигу при $t \approx 900 \dots 1150$ °С. Время обжига – от 6 до 60 час.

После обжига изделия охлаждают, укладывают на поддон и отправляют потребителю.

Основные свойства стеновых изделий:

- показатели внешнего вида;
- прочность при изгибе и при сжатии;
- водопоглощение;
- морозостойкость и др.

Показатели внешнего вида. Стандартами регламентируются такие виды брака как: неоднородность цвета и дефекты внешнего вида лицевой поверхности, отклонения в размерах, трещины, отбитости (углов, ребер и граней), недожег, пережег, известковые включения (дутики), высолы, наличие половняка и др.

Цвет кирпича в основном зависит от состава глин, а они в большинстве случаев красножгущиеся, т. е. имеют красно-коричневый цвет. Поэтому кирпич после обжига приобретает классический кирпичный цвет (красный). Если используют беложгущиеся глины или вводят пигментные добавки, то получают белый, жёлтый, бежевый и другие цветовые решения.

По стандарту цвет кирпича должен соответствовать образцу-эталону, утверждённому предприятием-изготовителем, и устанавливается визуально.

Отклонения в *размерах кирпича* и камней керамических допускаются в пределах 2...5 мм в зависимости от вида поверхности и размеров изделия.

Трещины и отбитости в рядовых изделиях регламентируются стандартами, а в лицевых изделиях – не допускаются.

Плоскостность и параллельность опорных поверхностей изделий, как правило, стандартами не нормируется, но значения их должны декларироваться производителем.

Не допускается в процессе производства кирпича и камней недожог, пережог, трещины, наличие известковых включений (рисунок 5.7).



Рис. 5.7. Виды брака кирпича: 1 – пережог, 2 – известковые включения, 3 – высолы, 4 – недожог

Кирпич и камни керамические должны быть нормально обожжены. У таких изделий сердцевина получается более насыщенного цвета, чем остальная масса, а при ударе металлическим предметом они должны звенеть.

Недожог (недожжённый кирпич) имеет алый (горчичный) цвет и при ударе металлическим предметом издаёт глухой звук. Такой кирпич обладает недостаточной прочностью, низкой водостойкостью и морозостойкостью.

Пережог (пережжённый кирпич, железняк) образуется от очень высоких температур. Такой кирпич чернеет, оплавляется, теряет чёткие размеры, его «распирает» изнутри. Отличается повышенной плотностью, теплопроводностью и, как правило, имеет искажённую форму. Но если он не нарушил своей формы, а чёрной оказалась только сердцевина, то он наоборот становится более прочным.

Недожог и пережог устанавливают путем сравнения цвета и водопоглощения испытываемого кирпича с образцом-эталоном.

Известковые включения (дутики) при действии влаги разрушают кирпич.

Если сырьевая масса измельчается недостаточно тонко (мелко), то в свежееотформованном изделии могут оказаться кусочки известняка размером 1...5 мм. При

обжиге керамических изделий они превращаются в оксид кальция СаО (негашёную известь). А негашёная известь при контакте с водой «гасится» и превращается в гидроксид кальция Са(ОН)₂ с увеличением в объёме в несколько раз. Это приводит к выколам и разрушению кирпича.

Наличие известковых включений определяется визуально после пропаривания керамических изделий.

Высолы на поверхности кирпичных стен в виде белых пятен и разводов появляются уже после того как, кирпич уложен в кладку. Причиной являются водорастворимые соли, мигрирующие из кладочного раствора, кирпича, грунтовых вод и даже воздуха, и выходящие на поверхность кирпичной кладки (керамических изделий) при контакте с влагой. Чтобы избежать высолов, надо использовать более густой раствор, не размазывать его по фасадной части, не вести кладку во время дождя, как можно быстрее подводить здание под крышу, использовать цементы с низким содержанием высолообразующих примесей и т. д.

Плотность керамических изделий зависит от их химико-минералогического состава, способа формования и степени обжига. Истинная плотность спекшейся керамической массы составляет 2,5...2,7 г/см³. Средняя плотность стеновых изделий зависит от пористости и пустотности и составляет у различных видов изделий от 700 до 2400 кг/м³. Плотность кирпича полнотелого составляет 1700...1900 кг/м³, пустотелого 1400...1650 кг/м³.

Водопоглощение кирпича и камней керамических должно быть не более 6% для клинкерного кирпича и не менее 6% для остальных изделий. При меньшем водопоглощении кирпич получается более тяжелым, менее воздухопроницаем и более теплопроводен. Кроме того, с ним плохо сцепляется строительный раствор.

По **морозостойкости** кирпич подразделяется на марки: F15, F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300. По ГОСТ 7025 морозостойкость устанавливается по количеству циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдерживают образцы в водонасыщенном состоянии без определённой потери массы и прочности, оговорённых стандартом.

Прочность керамических изделий зависит от качества исходного сырья, условий его подготовки, формования, сушки, обжига и изменяется от 2,5 до 1000 МПа.

Кирпич и камни (блоки) керамические по прочности подразделяются на марки. Марка устанавливается, как правило, по совокупности показателей прочности на сжатие и изгиб и с учетом наименьших значений при испытании.

Обозначается индексом «М» с цифровым значением. Цифры показывают, какую нагрузку в килограмм-силах на 1 см² может выдержать кирпич (камни, блоки), т. е. предел прочности при сжатии. Например, марка 150 (М150) обозначает, что

кирпич гарантированно выдерживает нагрузку в 150 кгс или 1500 Н на 1 см² (15 МПа). Чем больше цифра в марке, тем выше прочность кирпича.

В кладке конструкций кирпич работает не только на сжатие, но и на изгиб из-за наличия прослоек раствора и кладки кирпича с перевязкой.

Поэтому марка кирпича устанавливается по совокупности показателей (пределу прочности при сжатии и изгибе и соответственно наименьшим значениям для отдельных образцов). А несущая способность кладки принимается ниже прочности самого кирпича.

Стандартами предусмотрены следующие марки кирпича и камня с вертикальным расположением пустот: 25; 35; 50; 75; 100; 125; 150; 175; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 800; 1000 и с горизонтальным расположением пустот – 25, 35, 50, 100.

В то же время прочность кирпича, выпускаемого за рубежом, составляет от 12,5 МПа до 60 МПа, основная масса из которых приходится на долю 40 МПа.

Транспортирование и хранение кирпича осуществляется в пакетированном виде на поддонах. Погрузка и транспортирование изделий навалом (набрасыванием) и выгрузка их сбрасыванием не допускаются.

Применяют кирпич и камни керамические для кладки и облицовки несущих, самонесущих и ненесущих стен и других конструкций зданий и сооружений.

Ограничивается применение пустотелых изделий и кирпича полусухого прессования для кладки стен подвалов, фундаментов и цоколей зданий, дымовых труб, вентиляционных каналов, для наружных стен зданий с влажным или мокрым режимом эксплуатации.

5.6. Изделия для внешней и внутренней облицовки

Основными видами керамических изделий для облицовки фасадов и цоколей зданий являются лицевой кирпич, керамические камни, плиты и плитки различных размеров (формата), в т. ч. ковровая керамика, архитектурные и фасонные детали для устройства сливов, карнизов и др.

Назначение таких изделий не только придавать красивый внешний вид зданиям и сооружениям, но и защищать конструкции от внешних воздействий, т. е. повышать их долговечность.

Лицевые керамические кирпич и камни (СТБ 1160) – изделия, обеспечивающие эксплуатационные характеристики кладки и выполняющие функции декоративного материала, т. е., если здание имеет кирпичные стены, то такой кирпич является одновременно частью стены и эффективным видом отделки.

К таким изделиям предъявляются повышенные требования по плотности, морозостойкости, водостойкости, водопоглощению и прочности.

Марка лицевого кирпича по прочности должна быть, как правило, на одну ступень выше марки изделий основной кладки.

Лицевые керамические кирпич и камни имеют однородный цвет, строго правильную форму и гладкие ровные лицевые поверхности (тычок и ложок).

У такого кирпича отсутствуют поверхностные дефекты, а цветовая гамма варьируется от белого до черного.

Сырьем служат практически те же глины (светло- и красножгущиеся), что и для рядового кирпича, но с определенным перечнем ограничений и равномерно окрашенным черепком.

К разновидностям кирпича и камней лицевых относят изделия с гладкой, рельефной и фактурной поверхностью (рисунок 5.8) и фасонные – с фигурными или профильными параметрами.

У фактурного кирпича ложковая и тычковая поверхности имеют рисунок. Это может быть просто повторяющийся вдавленный рельеф («черепашка», «кора дуба»), с правильным геометрическим рисунком (обработка под мрамор, дерево, «антик») или специально потертые неровные грани (по выбору заказчика).

По виду отделки лицевой поверхности они могут быть также торкретированные, ангобированные, глазурованные, двухслойные, с плазменным напылением и др.

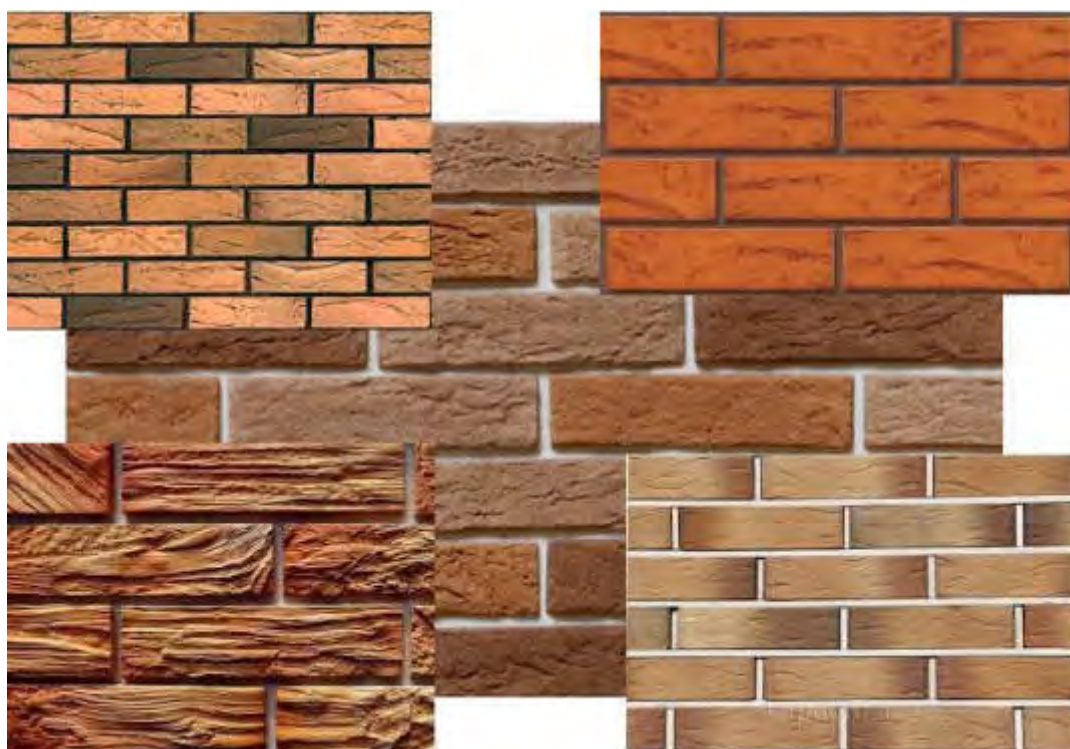


Рис. 5.8. Фактурный кирпич

Фасонный кирпич (рисунок 5.9) по форме отличается от формы прямоугольного параллелепипеда, имеет скругленные углы и ребра, скошенные или криволинейные грани. Он может быть угловой и полукруглый, с выемками, П-образный, для выравнивания или соединения в фальц с кровельной черепицей и других форм.



Рис. 5.9. Разновидности фасонного кирпича

Применяется для облицовки внешних и внутренних стен, кладки сложных форм (арок, колонн) различных зданий, в устройстве кровельных покрытий наклонных крыш и других сооружениях.

Клинкер (от голландского «klikaerd» и «klinken» – звонить и итальянской фирмы Klinker Sire – мирового лидера по производству клинкера). Выпускается в виде кирпича (фасадный и мостовой), плитки и элементов сложной геометрической формы.

Клинкерный кирпич от обычного отличается более высокой прочностью и низким водопоглощением, обеспечивающими эксплуатационные характеристики кладки в сильно агрессивной среде, и выполняет функции декоративного материала.

Получают, как правило, из высококачественных особо тугоплавких глин с добавлением оксидов-красителей, флюсов и стекловидного компонента путем экструзии или методом прессования. Обжиг ведут при температурах около 1300 °С до полного спекания. В результате структура клинкерного кирпича формируется плотная, мелкозернистая, без крупных включений, пустот и каверн.

Плотность такого кирпича 1950 кг/м³ (плотного) и 1600 кг/м³ (пустотелого), прочность – 150 МПа и выше, водопоглощение до 1,5 %, морозостойкость более F100.

Керамическую плитку и плиты получают из смеси различных составов (сортов) глин, кварцевого песка и других неорганических сырьевых материалов, спрессованной, высушенной и обожжённой при температуре от 1000 °С и более.

Виды глин и их количество в сырьевой смеси зависят от разновидности производимой плитки:

- для выпуска керамогранита используют огнеупорные глины и каолины;
- плитки для облицовки пола выпускают с использованием каолинов, огнеупорных и тугоплавких глин;
- плитки для внутренней облицовки стен – с использованием тугоплавких, легкоплавких глин и, иногда, каолинов.

Для декорирования керамической плитки используют ангобы, глазури, пигменты и др.

В целом технология их производства включает следующие этапы (рисунок 5.10):

- приемка и хранение сырьевых материалов;
- подготовка сырья;
- формование полуфабриката;
- сушка полуфабриката;
- нанесение глазури, декорирование;
- обжиг;
- послеобжиговая обработка;
- сортировка и упаковка готовых изделий.

Наиболее распространенным способом формования керамических плиток и плит является:

- полусухое прессование (в формах из порошкообразной массы с содержанием воды 4...7 %)
- экструзия – из пастообразной массы с содержанием воды 15...20 %, которую пропускают через экструдер (фильеру), имеющую форму будущего профиля).

После прессования плитку, как правило, подсушивают и подвергают обжигу. Обжигают плитки для внутренней облицовки при температуре около 950 °С, плитки для полов – до 1180 °С, керамического гранита – до 1300 °С.

После охлаждения плитка проходит дефектоскопный, визуальный и другие виды контроля физико-технических параметров и линейных размеров, подвергается предварительной сортировке (на наличие различных дефектов), калибровке, ректификации.

Далее плитка сортируется по партиям, упаковывается, маркируется и подается на склад готовой продукции.



Рис. 5.10. Схема технологического процесса производства керамической плитки

Выпускается большое количество различных видов керамических плиток и плит, и разработать универсальную классификацию таких изделий весьма затруднительно.

По форме керамические плитки и плиты чаще всего производят квадратными, прямоугольными и фасонными. Возможны также фигурные, криволинейные, плоские, угловые и др.

Размеры плиток могут быть от нескольких сантиметров (мозаичная – 20x20 мм) до 60...120 см и более, в т. ч. модульных размеров, т. е. в рамках одной коллекции может быть плитка разных, но кратных размеров, из которых может собираться оригинальный рисунок.

По характеру лицевой поверхности плитки подразделяют на:

- гладкие,
- рельефно-орнаментные,
- фактурные (рифлённые и шероховатые),

- пирамидальные,
- глазурованные и неглазурованные,
- ангобированные,
- с полированной (глянцевой) поверхностью,
- одноцветные и многоцветные,
- текстурированные (под паркет, туф, мрамор) и др.

По назначению облицовочные керамические изделия (ГОСТ 13996) условно разделяют на изделия для наружной и внутренней отделки зданий и сооружений.

Изделия для внутренней отделки подразделяют на две группы – для облицовки стен и покрытия полов.

Основными техническими характеристиками керамической плитки, определяющими её качество, являются:

- внешние показатели (размеры, калибр, прямолинейность и прямоугольность граней, плоскостность и качество поверхности);
- цвет (оттенок цвета), рисунок или рельеф лицевой поверхности плиток и плит должны соответствовать образцам-эталонам, утвержденным предприятием-изготовителем;
- водопоглощение, чем оно выше, тем устойчивость к глубокому истиранию ниже;
- износостойкость (устойчивость к истиранию) является одной из главных характеристик для напольной плитки и зависит от вида поверхности (глазурованная, неглазурованная);
- ударопрочность (стойкость к ударным нагрузкам);
- способность плитки противостоять скольжению характеризуется коэффициентом трения (противоскольжения);
- температурный коэффициент линейного расширения – характеризует относительную величину изменения линейных размеров плит с увеличением температуры на 1 К при постоянном давлении.

Допустимые отклонения для высококачественных изделий составляют: по длине $\pm 0,5\%$ от номинального размера, толщине $\pm 10\%$, прямолинейность граней, ортогональность и плоскостность $\pm 0,5\%$.

Наибольшей износостойкостью отличаются неглазурованный керамогранит и клинкерная плитка;

Чем больший показатель имеет коэффициент трения, тем меньший показатель скольжения и меньше риск поскользнуться;

В зависимости от вида сырья и технологии изготовления различают следующие виды керамических плиток и плит.

Керамогранит изготавливают в виде плиток и плит (далее – плиты) квадратной и прямоугольной формы с номинальными размерами по длине от 300 до 1200 мм, по ширине от 200 до 1800 мм и толщине – не менее 7,0 мм.

Несмотря на название, материал не имеет отношения к граниту. А состоит из прессованной смеси беложгущихся глин, кварцевого песка, полевого шпата и красящих пигментов. Сырье дозируют, тщательно измельчают до размеров 100...500 микрон, перемешивают, декорируют и полу-чают пресс-порошок. Порошок прессуется в отдельные плиты под давление 40...55 МПа, изделия подсушиваются, а затем обжигаются при сравнительно высокой температуре (1250...1300°C) до полного спекания. В результате образуется монолит высокой плотности и однородности.

По качественным характеристикам керамогранит не уступает изделиям из природного камня и превосходит другие разновидности керамических изделий. Водопоглощение керамогранита составляет менее 0,5%, прочность при изгибе – не менее 35 МПа, при сжатии – в среднем 240 МПа.

В зависимости от типа лицевой поверхности плиты могут быть глазурованными, неглазурованными и частично глазурованными, полированными, неполированными (матовыми), сатинированными (лощеными), с гладкой и рельефной (не скользящей) поверхностью и декорированными различными методами.

Клинкерную плитку получают преимущественно методом продавливания (экструзии), иногда прессования из специальных тугоплавких видов глин и одинарного обжига при высоких температурах ($\approx 1300^\circ\text{C}$) до полного спекания.

Выпускается глазурованной и неглазурованной, с гладкой, рельефной (шероховатой, зернистой) поверхностью, цветной, и, как правило, без рисунка.

Экструзия позволяет получать плитки и другие конструктивные элементы сложной геометрической формы – плинтусы, цоколи, ступени (фронтальные и угловые), подступни, плиты подоконников, соединительные детали, водостоки и т. п.

Такие изделия имеют низкую пористость и водопоглощение (до 3%), высокую прочность, стойкость к истиранию и химическим агентам.

Применяются для устройства внутренних и наружных полов, лестниц, а также для облицовки наружных стен и плавательных бассейнов.

Майоликовую плитку называют ещё глазурованным фаянсом – *faenza smaltata*, или глазурованной терракотой – *terracotta smaltata*. Название произошло от названия острова Майорка – *Majolika*, откуда в Италию ввозилась глазурованная керамика.

Изготавливают её из высокопластичных беложгущихся или мергелистых глин с добавлением мела. Черепок (утель) у таких плиток более пористый, чем у фаянса.

Водопоглощение составляет около 15%. Поэтому после обжига лицевую поверхность покрывают белой глазурью, наносят роспись и повторно обжигают. Слои глазури обеспечивают плиткам полную водонепроницаемость и высокие декоративные качества. На изделиях из майолики издавна преобладает сюжетная роспись. Толщина таких плиток 12 мм и более. Применяют, как правило, для архитектурно-художественного оформления интерьеров.

Фаянсовые плитки изготавливают из огнеупорных глин с добавками кварцевого песка и полевого шпата, понижающего температуру плавления. Обжигают при температуре ниже температуры спекания (до 1040°C). Такие плитки тоже имеют пористую структуру, водопоглощение до 12% и низкую прочность. Для повышения водонепроницаемости лицевая сторона покрывается глазурью и повторно обжигается. Толщина плиток, как правило, 4...6 мм. Не рекомендуется использовать для настилки полов (глазурь легко царапается) и для наружной облицовки (пористый черепок зимой быстро разрушается). Такую плитку коробчатой формы называют «кафельной» (от нем. «*Kachel*» – глиняная плоская) и используют для облицовки печей. Русское старинное название – *изразцы*.

Для создания красивого и законченного в композиционном плане интерьера используют фасонные (угловые, бордюрные, карнизные и плинтусные) и декоративные керамические изделия (фризовые плитки) – вставки, панно, бордюры и фризы. Вставки плоского типа используются как в напольной, так и в настенной отделке. Их рисунок достаточно разнообразен – от геометрических фигур до детальных изображений животных и людей.

Информацию о качестве и назначении керамической плитки можно считать с пиктограмм на упаковках и/или сопроводительной документации по условным символам (рисунок 5.11).

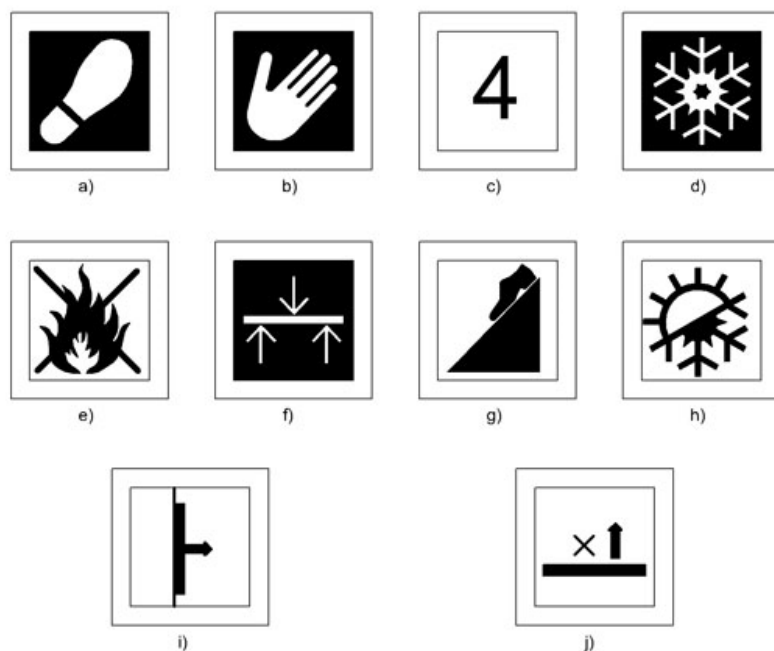


Рис. 5.11. Примеры пиктограмм (символов) на керамической плитке:
 а – плитка для пола; б – для облицовки стен; с – класс по износостойкости;
 d – морозостойкая; e – с низкой огнестойкостью; f – прочностные характеристики;
 g – с сопротивлением скольжению; h – термостойкие; i – прочность сцепления;
 j – с выделением опасных веществ

Сорт плитки тоже указан на упаковке, либо по европейским нормам для 1 сорта вся маркировка должна быть красного цвета, 2 – синего и 3 – зелёного.

Буквами обозначается реакция плитки на воздействия различных химических веществ: AA – не подвержена воздействию, A – низкая степень сопротивляемости, B – ещё более низкая и так далее по убывающей.

В настоящее время на рынки страны поступает керамическая плитка двух типов: сравнительно недорогая, так называемая «эконом-класс» и элитные коллекции (элит-класс, премиум) более высокого качества и стоимости.

5.7. Санитарно-технические изделия

Различают три группы санитарно-технической керамики – фарфор, полуфарфор и фаянс, отличающиеся составом, степенью спекания и качественными характеристиками (таблица 4.2).

Под **фарфором** понимают вид керамики, непроницаемый для жидкости и газа.

Сырьем для такой керамики служат беложгущиеся огнеупорные глины и каолины (около 50% состава формовочной массы), кварц (для устойчивости при обжиге) и полевой шпат (для лучшей спекаемости), взятые в различных соотношениях для каждого вида изделий.

Таблица 4.2. Составы и физико-механические показатели санитарной керамики

Показатели	Фарфор	Полуфарфор	Фаянс
Состав, %:			
глина	40...60	40...45	45...65
кварц	20...30	40...45	25...40
полевой шпат	20...30	10...15	10...15
Температура обжига, °С	1380...1420	до 1350	1200...1250
Плотность, кг/м ³	2250...2300	2000...2200	1920...1960
Водопоглощение, %	0,2...0,5	3...5	10...12
Предел прочности, МПа:			
при сжатии	400...500	150...200	100
при изгибе	70...80	38...43	15...30

Фаянс содержит 45...65% беложгущихся огнеупорных глин, 25...40% кварца и 10...15% полевого шпата, **полуфарфор** соответственно – 40...45%, 40...45% и 10...15% и санитарный **фарфор** – 40...60%, 20...30 и 10...15%.

Сырьевые материалы для получения изделий подвергают тщательной переработке (помолу, отмучиванию, просеиванию и другим операциям), обеспечивающей получение тонкоизмельченной однородной смеси, которая представляет собой жидкотекучую массу, называемую шликером.

Степень спекания черепка увеличивается от фаянса к фарфору, что позволяет соответственно увеличить плотность, прочность и уменьшить водопоглощение черепка и толщину стенок изделий.

Средняя плотность черепка фаянса составляет 1,92 ...1,96 г/см³, полуфарфора – 2,0...2,2 г/см³ и фарфора – 2,25...2,30 г/см³.

Прочность и водопоглощение соответственно фаянса - до 100 МПа и 10...12%, полуфарфора - 150...200 МПа и 3...5% и фарфора - до 500 МПа и 0,2...0,5%.

Следовательно, изделия из фаянса имеют пористый, из фарфора плотный сильно спекшийся черепок, а структура полуфарфора занимает промежуточное положение.

Изделия санитарно-технической керамики формуют преимущественно способами литья в гипсовые формы, литьем под давлением в полимерные формы, гидростатическим прессованием в металлических формах с резиновыми оболочками и др.

В гипсовых формах формирование и закрепление черепка происходит в результате осаждения твердой фазы шликера на поверхности формы после поглощения воды гипсом. Их влажность составляет 22...24%. После извлечения изделий из формы происходит их обработка и сушка. При получении полуфабриката в поли-

мерных формах шликерная суспензия подается в форму под давлением. Вода, содержащаяся в шликере, уходит через поры формы, а частички твердой фазы отфильтровываются и оседают на стенках формы, вызывая образование слоя керамического черепка. После сушки все полуфабрикаты глазуруются, подвергаются обжигу при температуре порядка 1240°C и сортируются на изделия 1-го и 2-го сорта.

При этом черепок получается равной толщины по всему объему и более высокого качества.

К изделиям санитарно-технической (санитарной) керамики относят умывальники, пьедесталы для умывальников, унитазы, смывные бачки, раковины, биде, писсуары, ванны и другие изделия.

5.8. Кровельные керамические изделия

К **кровельным керамическим изделиям** относят натуральную черепицу (СТБ 1184) и керамический сланец «ардогрес».

Сырьём для производства черепицы служат те же глины, что и для кирпича, только с более высоким качеством их подготовки. Технология изготовления черепицы в основном аналогична технологии изготовления кирпича. Выпускается различных типоразмеров и конфигурации – штампованная пазовая, ленточная пазовая, ленточная плоская, коньковая, разжелобочная, концевая, специальная и др. Стандартом предусмотрены определённые требования к внешнему виду, прочности, морозостойкости, массе в насыщенном водой состоянии и др.

К положительным качествам черепицы относят долговечность (срок службы 100 и более лет), экологичность, огнестойкость, водонепроницаемость, простота монтажа и реконструкции, хорошая вентилируемость кровли, стойкость к биологическому воздействию солнечной радиации, хорошая звукопоглощающая способность, экономичность эксплуатации, богатая цветовая гамма и др.

К недостаткам черепицы относятся необходимость большого уклона (не менее 30%) кровли и значительный вес (30 – 70 кг/м³), что требует особой прочности стропил и высокая трудоёмкость работ.

Ардогрес относится к новым видам керамического кровельного материала, имитирующего кровельные плитки из природного сланца. Получают по технологии керамического гранита.

Черепица должна выдерживать в зависимости от типа разрушающую нагрузку на изгиб не менее 800 – 1500 Н, быть морозостойкой (не менее 25 циклов), не иметь видимых повреждений.

5.9. Специальные керамические материалы и изделия

Канализационные трубы (СТБ 1418) изготавливают из пластичных тугоплавких и огнеупорных глин с отошающими добавками (кварцевый песок) или без них путем пластического формования, сушки и обжига.

Такие трубы имеют цилиндрическую форму и, как правило, на одном конце раструб для соединения отдельных звеньев трубопровода.

Внутренний диаметр их – от 150 до 1400 мм при толщине стенок трубы и раструба 20...40 мм. Длина труб 1000...1500 мм.

На внешней стороне конца трубы и внутренней раструба имеется нарезки глубиной не менее 2 мм и не менее 5 витков для лучшей герметичности стыка.

Внутренняя и наружная поверхность таких труб покрывается глазурью.

Водопоглощение их должно быть не более 8%, кислотостойкость – не ниже 93%, щелочестойкость – не ниже 65% и допустимая внешняя нагрузка 20...30 кН на 1 м длины.

Применяются для строительства безнапорных сетей канализации, транспортирующих промышленные, бытовые и дождевые неагрессивные и агрессивные воды.

Дренажные трубы (СТБ 1720) изготавливают из пластичных глин с добавками или без них путем формования, сушки и обжига.

Диаметр их 50...300 мм при толщине стенок соответственно 11...27 мм, длина, как правило, 335 и 500 мм. В поперечном сечении по внутренней поверхности трубы имеют форму правильной окружности, по наружной поверхности – окружности, шести- или восьмиугольника.

Они должны быть прочными и при испытании выдерживать внешнюю нагрузку без разрушения в зависимости от диаметра от 3,5 до 5,5 кН, по морозостойкости – не ниже F15.

Применяются для строительства мелиоративных систем закрытого дренажа с защитой стыков фильтрующими материалами. Вода в такие трубы попадает через стенки и стыки.

Огнеупоры – материалы, предназначенные для эксплуатации в условиях высоких температур.

Важнейшим свойством их является огнеупорность, т. е. способность выдерживать без нагрузки воздействие высоких температур (более 1580°C) не расплавляясь.

Поэтому характеристикой огнеупорности является температура размягчения.

В зависимости от температуры размягчения различают огнеупорные материалы (температура плавления 1580...1770°C), высокоогнеупорные (1770...2000°C) и особо высокоогнеупорные (более 2000°C).

Получают их из различных видов сырья.

В зависимости от основного входящего в состав компонента различают огнеупоры:

- высокоглиноземистые:
группа 1 ($Al_2O_3 > 56\%$) и группа 2 ($45\% < Al_2O_3 < 56\%$);
- шамотные – $30\% < Al_2O_3 < 45\%$;
- низкоглиноземистые шамотные – $10\% < Al_2O_3 < 30\%$, $SiO_2 < 85\%$;
- кремнеземистые (полукислые) – $85\% < SiO_2 < 93\%$;
- кварцевые (динасовые) – $SiO_2 > 93\%$;
- высокоосновные – на основе оксида магния;
- специальные – на основе углерода, графита, циркония и др.

Шамот – дегидратированная (обожженная при $t > 450^\circ C$) и перемолотая глина.

Керамические огнеупорные материалы выпускаются разнообразной формы и размеров и применяются в различных отраслях промышленности при выпуске цемента, извести, стекла, керамики, стали, чугуна и др.

5.10. Заполнители для бетонов и растворов

К заполнителям для бетонов и растворов, изготавливаемым из глинистого сырья, относятся керамзит и аглопорит (ГОСТ 32496, СТБ 1217) и их разновидности (рисунок 5.12).



Рис.5.12. Керамзит и аглопорит

Керамзит представляет собой легкий пористый преимущественно гравиеподобный материал. Сырьем служат легкоплавкие и легко вспучивающиеся глины (ГОСТ 32026).

Причиной вспучивания являются водяные пары и газы, образующиеся при разложении органических веществ и отдельных составляющих глины в процессе обжига. Для этого глина дробится, увлажняется до пластического состояния, формуется в виде гранул и обжигается. При обжиге глина размягчается, газы и пары воды выделяются и вспучивают расплавленную массу, образуя поры. Спекание материала заканчивается в момент интенсивного газовыделения при $t = 1150 \dots 1250^\circ\text{C}$. Обжиг осуществляется во вращающихся печах, представляющих собой цилиндрические металлические барабаны диаметром 2,5...5 м и длиной 40...75 м, футерованные изнутри огнеупорным кирпичом.

Печь работает по принципу противотока: сырцовые гранулы перемещаются навстречу потоку горячих газов, подогреваются и, наконец, попав в зону непосредственного воздействия огненного факела форсунки, вспучиваются.

Иногда для повышения пористости гранул в глину вводят добавки – соляровое масло, каменный уголь, опилки и т. п.

В изломе гранула керамзита имеет структуру застывшей пены, а спекшаяся оболочка, покрывающая гранулу, придает ей достаточно высокую прочность.

Цвет керамзита обычно темно-бурый, в изломе – почти черный.

Размер гранул керамзита находится преимущественно в пределах 2...40 мм. Насыпная плотность вспученного керамзита составляет $150 \dots 800 \text{ кг/м}^3$, в то время как природного гравия $\geq 1500 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность в свободной засыпке – $0,07 \dots 0,18 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. В зависимости от насыпной плотности керамзит подразделяется на марки (классы – LD): 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 700 и 800. При этом среднее значение плотности испытываемой пробы не должно превышать численного значения марки. Например, для марки LD300 среднее значение плотности должно находиться в пределах $250 \dots 300 \text{ кг/м}^3$.

Выпускается, хотя в значительно меньших объемах, керамзитовый песок. Получают его по методу кипящего слоя, обжигом глиняных гранул во взвешенном состоянии, либо дроблением зерен керамзита.

Используется керамзит как заполнитель для легких бетонов. Плотность таких бетонов составляет $1000 \dots 1500 \text{ кг/м}^3$, прочность может достигать 30 Мпа и более.

Аглопорит (аглопоритовый щебень) получают спеканием (агломерацией) не вспучивающихся глинистых пород или топливосодержащих отходов промышленности.

Из сырья с добавкой топлива (угля) готовят рыхлую смесь (шихту) и укладывают на колосниковую решетку. Массовая доля угля составляет, как правило, 7...12%.

Под решеткой в вакуум-камере создают разрежение воздуха, благодаря которому происходит просос воздуха через шихту. Сверху шихта поджигается. За счет горения угля в шихте создается $t = 1400 \dots 1500^\circ\text{C}$. В результате шихта спекается в виде пористой остеклованной массы. Зона горения перемещается вниз, подогревая отходящими газами нижележащие слои и охлаждая вышележащие.

Полученный таким образом аглопоритовый корж дробят на щебень и песок насыпной плотностью $400 \dots 900 \text{ кг/м}^3$.

Аглопоритовые песок и щебень применяются в качестве заполнителей при изготовлении конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных легких бетонов. Бетоны на аглопорите (аглопоритобетоны) получают плотностью до 1800 кг/м^3 и прочностью до 50 МПа.

ТЕМА 6. СТЕКЛО, СТЕКЛЯННЫЕ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

6.1. Общие сведения

Минеральные расплавы в зависимости от исходного сырья разделяются на следующие группы:

- Стеклянные;
- Каменные;
- Ситаллы и шлакосиаллы.

Минеральные расплавы в зависимости от скорости охлаждения и ряда других условий могут затвердевать как в аморфном (стеклообразном), так и кристаллическом состоянии.

Стекло известно человечеству с доисторических времен:

- как природный материал:
- вулканического происхождения (извержения магмы) – обсидиан, получившего название по имени воина Обсидиана, который привез такой камень из Эфиопии в Рим,
- и метеоритного происхождения – тектиты (от греч. расплавленный);
- либо как искусственное стекло – силикатное, боратное, боросиликатное и др.

6.2. Стекло

Стекло – это аморфное вещество, получаемое путём переохлаждения расплава независимо от его химического состава и температурной области затвердевания и обладающее в результате постепенного увеличения вязкости механическими свойствами твёрдого тела.

Процесс перехода из жидкого состояния в стеклообразное должен быть обязательно обратимым.

Характерным признаком стеклообразного состояния вещества является также отсутствие чётко выраженной точки плавления.

Стекло не является веществом с определенным химическим составом, который может быть выражен химической формулой, поэтому состав стекла условно выражают суммой оксидов.

Веществами (оксидами), расплавы которых при охлаждении способны переходить в стеклообразное состояние, являются кремнезём (SiO_2), фосфорный ангидрид (P_2O_5), борный ангидрид (B_2O_3) и др.

Называют их стеклообразующими, а стекла, образованные ими, – соответственно силикатное, фосфатное, боросиликатное (СТБ ЕН 1748-1), алюмосиликатное и др.

Однако наиболее ярко эта способность выражена у кремнезёма (SiO_2) и соединений на его основе – силикатов.

Поэтому в промышленных масштабах наибольшее применение находит силикатное стекло (натрий-кальций-силикатное), основными компонентами которого являются диоксид кремния и оксиды натрия и кальция.

Физические свойства стекла:

- Хрупкое;
- Температура плавления (оконное стекло) = 425–600 °С;
- Имеет структуру переохлажденных жидкостей;
- При охлаждении расплава стекла вязкость увеличивается и составляющие его молекулы не успевают перестроиться и образовать кристаллическую решетку

Следовательно, для каждого аморфного стеклообразного вещества есть два состояния:

- при более высоких температурах они ведут себя как жидкости (пластичны);
- при температурах ниже, так называемой, температуры стеклования (t_g) (для силикатных стёкол t_g составляет 400...600°С) – как твёрдые и хрупкие тела.

В отличие от кристаллических веществ, стёкла изотропны, прозрачны и чрезвычайно хрупкие.

Прочность стекла при ударном изгибе составляет всего 0,2 МПа, а на сжатие, например, у оконного стекла – около 1000 МПа.

Тем не менее, свойства стёкол можно изменять термической, химической и механической обработкой.

По структуре материалы и изделия из стекла могут быть плотного, пористого, ячеистого, волокнистого, зернистого и других строений.

6.2.1. Производство стекла

Сырьем для производства сырья служат :

- Чистый кварцевый песок;
- Сода;

- Известняк.



С целью улучшения технических характеристик стекла в его состав вводят другие компоненты.

Для повышения скорости стекловарения и термостойкости стекла вводят оксид бора, прочности и химической стойкости – оксиды алюминия, для получения окрашенных или цветных стёкол – перекись марганца, оксид хрома и др.

При введении оксидов свинца образуются стекла с высоким показателем преломления света – хрусталь.

Современное стекольное производство состоит из следующих основных операций:

- подготовка сырья;
- приготовление шихты;
- стекловарение; формование изделий (выработка)
- отжиг.

Шихтой называют однородную смесь предварительно подготовленных и отвешенных по заданному рецепту сырьевых материалов.

Затем шихту расплавляют при температуре 1400...1500°C в ваннных печах непрерывного или периодического действия.

Расплавление шихты называется варкой стекла.

Процесс варки стекла делится на три стадии: провар шихты, осветление и студка (осторожное охлаждение или тепловая обработка).

Варку стекла ведут по особому для каждого вида стекла режиму.

После расплавления масса выдерживается при той же температуре до полного отделения всех примесей.

Переработка стекломассы в изделия осуществляется при температуре 1000...1100°C и называется выработкой.

Выработка листового стекла осуществляется вертикальным вытягиванием ленты (тянутое стекло), флоат-способом (флоат-стекло) и горизонтальным прокатом.

Флоат-стекло – это самый распространенный тип. Почти 90% листового стекла в мире производится по этой технологии. Оно гладкое, прозрачное, без оптических дефектов (рис.6.1).



Рис.6.1. Получение стекла флоат-способом

После охлаждения и выхода из флоат-ванны лента стекла подается в печь отжига.

При горизонтальном способе проката стекломасса сливается на гладкую поверхность и прокатывается валками с гладкой или узорчатой поверхностью.

Отжиг — это процесс медленного охлаждения стекла, нужный для снятия внутренних напряжений в стекле после его создания. Процесс может осуществляться в печи с контролируемой температурой

Отжиг позволяет предотвратить образование временных напряжений, и ослабить остаточные напряжения до величины, безопасной с точки зрения прочности изделий (\approx с 70 до 3,5 МПа, т.е. до 5 %).

После отжига лента стекла разрезается на необходимые размеры (СТБ EN 572-8), маркируется, упаковывается и складировается.

6.2.2. Качественные характеристики стекла

Плотность составляет от 2,2 до 6,0 г/см

Плотность теплоизоляционных стеклоизделий меняется в пределах 15-600 кг/м³.

Прочность и деформативность стекла.

- предел прочности при растяжении стекла составляет - 30 МПа, на изгиб - 15-20 МПа.

- предел прочности при сжатии стекла может составлять 600-1000 МПа и более.

- предел прочности стеклянных волокон диаметром 4-10 мкм достигает 1000-4000 МПа.

У стекла отсутствуют пластические деформации.

Хрупкость является главным недостатком стекла, которое плохо сопротивляется удару.

Оптические свойства стекол характеризуются показателями:

светопропусканием (прозрачность);

светопреломлением;

отражением;

рассеиванием.

Обычные силикатные стекла пропускают всю видимую часть спектра и практически не пропускают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Коэффициент направленного пропускания света стеклами достигает 0,89.

Теплопроводность стекол меняется от состава в пределах 0,5-1,0 Вт/(м °С). Теплопроводность теплоизоляционных стеклоизделий составляет 0,032-0,14 Вт/(м·°С). Из-за малого значения коэффициента температурного расширения (910'6 - 15-10 '6) обычное стекло имеет относительно малую термостойкость.

Теплоемкость стекол при комнатной температуре составляет 0,63-1,0 кДж/(кг°С).

Звукоизолирующая способность стекла относительно высока. По этому показателю стекло толщиной 1 см соответствует кирпичной стене в полкирпича - 12 см.

Огнестойкость обычного оконного стекла составляет 3...5 мин (армированного – 30 мин.).

Химическая стойкость стекла зависит от его состава. Силикатное стекло обладает высокой химической стойкостью к большинству агрессивных сред за исключением плавиковой и фосфорной кислот.

6.3. Разновидности листового стекла

Листовое стекло - основной вид стекла, используемый для остекления оконных и дверных проемов, витрин и внутренней отделки зданий.

Оконное стекло производится трех марок: полированное, неполированное улучшенное, неполированное.

Оконное стекло производится толщиной от 2,0 до 6,0 мм максимальных размеров в зависимости от толщины от 1000х1600 мм, а минимальных 400х500 мм. Светопропускание оконных стекол 84-89%.

Витринное стекло производится двух марок: М7 - полированное и М8 - неполированное, толщиной 6,5-12 мм и максимальных размеров 3000х6000 мм.

Светопропускание витринных стекол 75- 83%.

Армированное стекло – это листовое стекло, внутри которого параллельно плоскости поверхности расположена металлическая проволока в виде сетки, т. н. «скелет-сетка» (СТБ 2420, ГОСТ 7481) (рис. 6.2).

Сетка имеет квадратные, шестиугольные и других видов ячейки размером 12,5; 25 мм и др. и должна быть расположена по всей площади листа на расстоянии не менее 1,5 мм от поверхности стекла.

Армирование стекла не увеличивает его механическую прочность, а в какой-то степени (\approx в 1,5 раза) даже снижает.

Металлическая сетка при разрушении от механических и тепловых воздействий удерживает осколки стекла на себе, не позволяя им разлетаться и выпадать из переплетов.

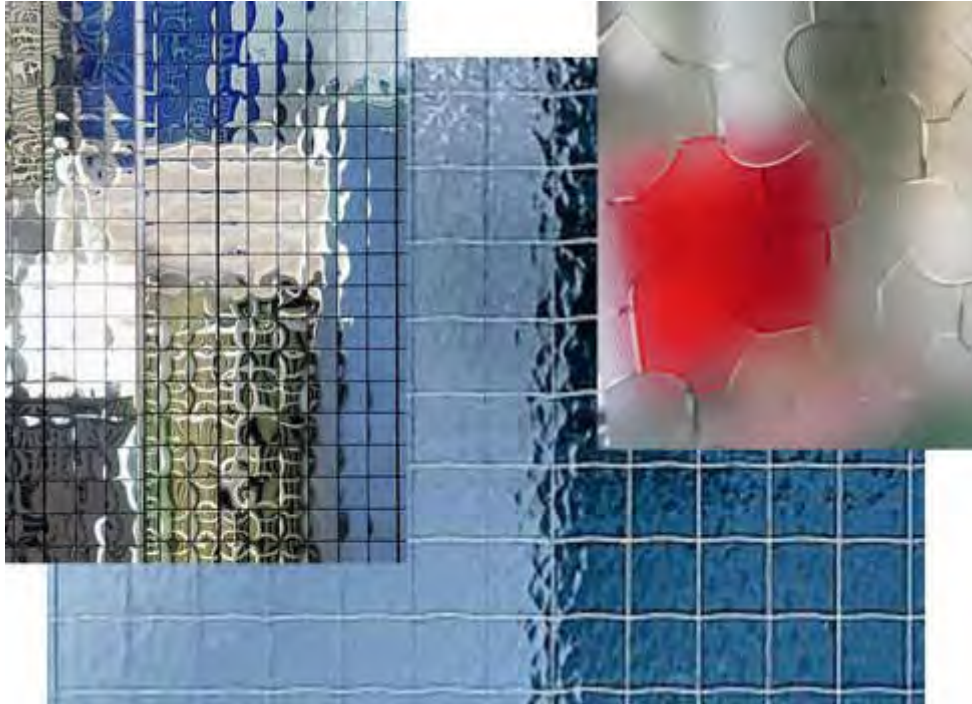


Рис. 6.2. Армированное стекло

Такое стекло относится к безопасным и огнестойким видам изделий.

Толщина армированного стекла составляет, как правило, 6...10 мм, коэффициент направленного пропускания света (бесцветного) – 0,77...0,81.

В зависимости от состояния поверхности и других показателей оно может быть полированное, узорчатое, бесцветное, окрашенное в массе, декоративное, волнистое и других видов.

Закаленное стекло.

Для получения закалённого стекла исходные листы стекла предварительно нагревают выше температуры размягчения, т. е. до перехода в пластическое состояние (650...680°C), а затем резко, но равномерно (контролируемо) охлаждают в потоке воздуха или жидкости (минеральные масла, кремнийорганические жидкости).

Прочность закалённого стекла при изгибе достигает 250 МПа (что в 5...7 раз выше, чем у обычного стекла), а температурный диапазон эксплуатации – от -150 до +300°C.



Примечание – По ГОСТ 30698 прочность на сжатие закаленного стекла составляет 700...900 МПа, прочность на изгиб: узорчатого – не менее 90 МПа, окрашенного в массу или с покрытием – 120 МПа.

При разрушении такого стекла – оно распадается на многочисленные мелкие осколки (размером 1...10 мм) с притупленными краями, не имеющими острых режущих граней (рис.6.3).

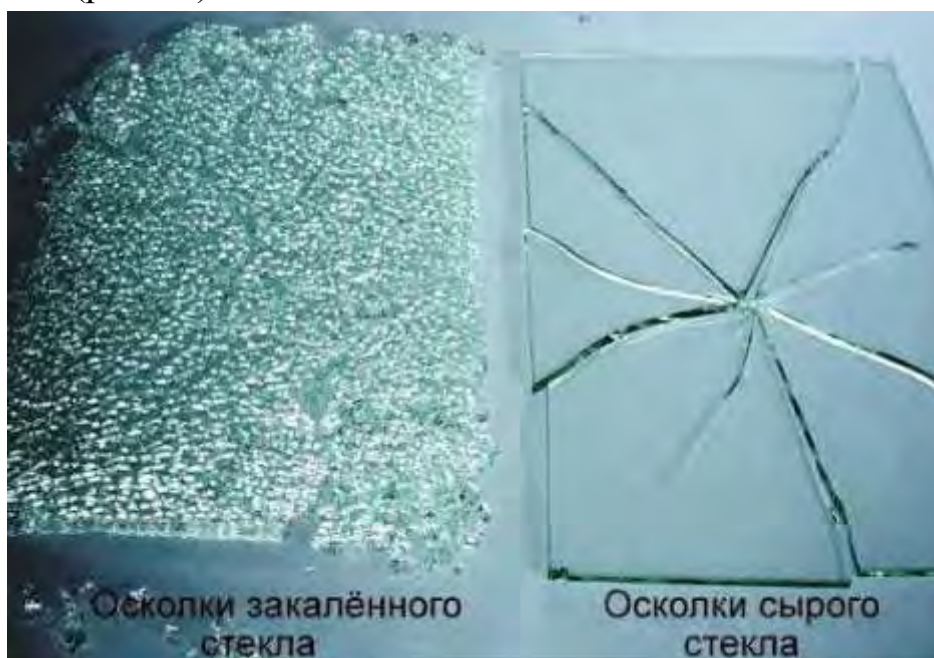


Рис.6.3. Разрушение обычного и закаленного стекла.

По сравнению с обычным стеклом, закаленное стекло обладает повышенной термостойкостью (рис.6.4).

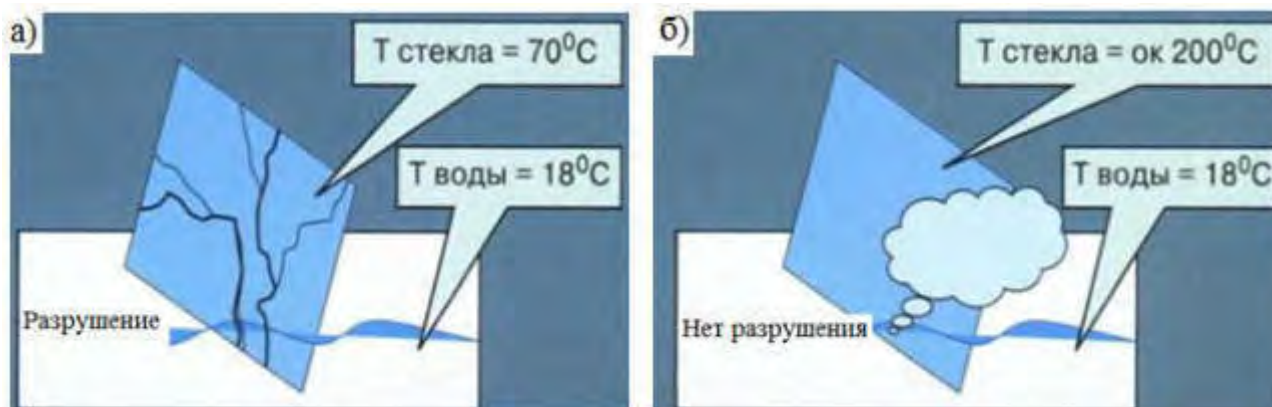


Рис.6.4. Термостойкость обычного (а) и закаленного (б) стекла

К недостаткам закалённого стекла следует отнести недопустимость длительного абразивного воздействия на поверхностные слои и процессов выщелачивания и коррозии.

Все виды механической обработки (нарезка, сверление) должны производиться до его закалки.

Выпускается закалённое стекло размерами от 500 до 3500 мм и толщиной от 3 до 25 мм.

Светопропускание прозрачного закалённого стекла составляет не менее 84%.

В зависимости от степени защиты выпускается 4-х классов: СМ1...СМ4.

Чем выше класс защиты, тем прочнее стекло.

Закалённое стекло предназначается для безопасного остекления светопрозрачных строительных конструкций – оконных и дверных блоков; витрин; элементов ограждения лоджий, балконов, предметов интерьера; структурного остекления фасадов и как составляющий элемент в многослойных системах.

Многослойное стекло.

Многослойное стекло (ламинированное от лат. lamina – пластинка) состоит из одного или нескольких листов неорганического стекла и плёночных или жидких (ламинирующая жидкость) полимерных и силикатных материалов, склеивающих и (или) покрывающих стекла (СТБ ISO 12543, СТБ ЕН 14449, ГОСТ Р 54171, ГОСТ Р 51136, ГОСТ 30826).

В качестве базовых стёкол используются листовое бесцветное, узорчатое, армированное, полированное, окрашенное в массу, упрочнённое, закалённое, солнцезащитное, энергосберегающее и др.

Толщина органических плёнок, как правило, составляет от 0,38 до 0,76 мм и более.

При этом плёнка может выполнять несколько функций: выполнять роль клея, защищать от появления осколков, шума, огня, ультрафиолета, придавать цвет и др.

Варьируя стекла и плёнки, можно получать композиции, сочетающие в себе свойства безопасности и теплоизоляции, звукоизоляции, пожаробезопасности и др.

Многослойные стекла могут включать в себя один или несколько промежуточных слоев, склеивающих или отделяющих друг от друга листы базового стекла и состоящих из неклеящей пленки или пластины, проволоки, сетки и т.п.

Процесс получения такого стекла довольно сложный, выполняется в несколько стадий и заканчивается, как правило, обработкой в автоклаве под воздействием тепла и давления, где происходит полимеризация плёнки или жидкости.

Наиболее распространённой разновидностью ламинированного стекла является *триплекс*.

Триплекс представляет собой конструкцию из двух стёкол и промежуточного ламинирующего слоя (поливинилбутиральной плёнки).

Ламинирование не меняет свойства листового стекла (не увеличивает прочность), но делает такое изделие более прочным при ударе и безопасным, а также хорошо защищает от ультрафиолетового излучения.

Основным достоинством многослойного стекла является безопасность при разрушении.

Разрушение каждого из листовых стёкол происходит также как и одинарных, но осколки при разрушении не разлетаются во все стороны, а удерживаются на полимерной плёнке (рис.6.5).

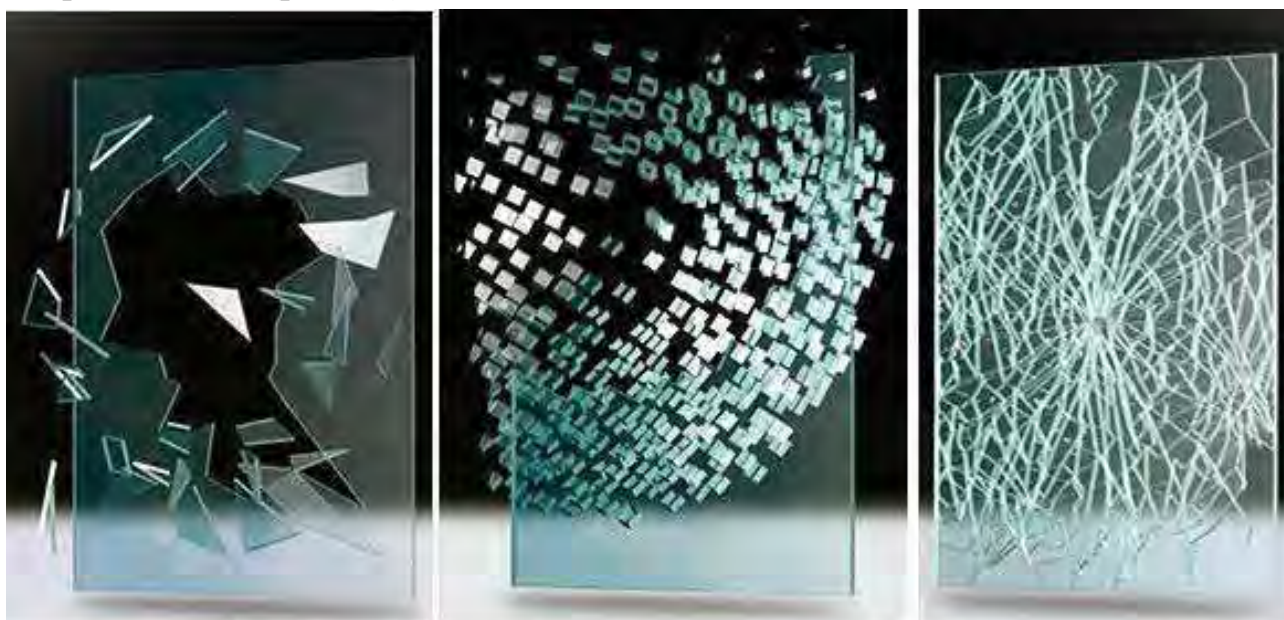


Рис. 6.5. Схема разрушения стекол (обычное, закаленное, ламинированное)

В зависимости от назначения и других параметров ламинированные стёкла подразделяют на многослойные (не обладающее стойкостью к удару) и многослойные защитные:

- ▶ безопасное;
- ▶ стойкое к механическим воздействиям (ударостойкое, к пробиванию или прорубанию),
- ▶ стойкое к воздействиям стрелкового оружия (пулестойкое, пуленепробиваемое),
- ▶ взрывобезопасное;
- ▶ морозостойкое;
- ▶ жаропрочное;
- ▶ огнестойкое;
- ▶ шумозащитное;
- ▶ плоское и изогнутое;
- ▶ со специальными свойствами (с защитой от радиопомех, с биологической или информационной защитой, повышенной несущей способностью) и др.

Огнестойкое стекло.

Огнестойким считается стекло, способное в течение определенного периода времени выдерживать воздействие тепловых и механических нагрузок, возникающих во время пожара, и препятствующее распространению огня, продуктов сгорания и передачи теплового излучения.

Характеризуется уровнями предела огнестойкости.

Минимальный предел огнестойкости должен составлять 30 минут, далее следуют уровни предела огнестойкости 45, 65 минут и выше с шагом 30 минут.

Огнестойкость обычного листового стекла (в т. ч. оконного) по признаку потери целостности «Е» составляет 3...5 мин.

Для повышения (обеспечения) огнестойкости светопрозрачных конструкций применяют армированные силикатные или боросиликатные стекла, устойчивые к длительному (до 30 мин) воздействию огня, но не препятствующие тепловому излучению.

Применяются также композиционные многослойные стекла на основе пластичных клеевых композиций.

Шумозащитное стекло.

Шумозащитное стекло (СТБ EN 12758 и СТБ ISO 12543), которое снижает воздушный шум потока городского транспорта (рис. 6.6).

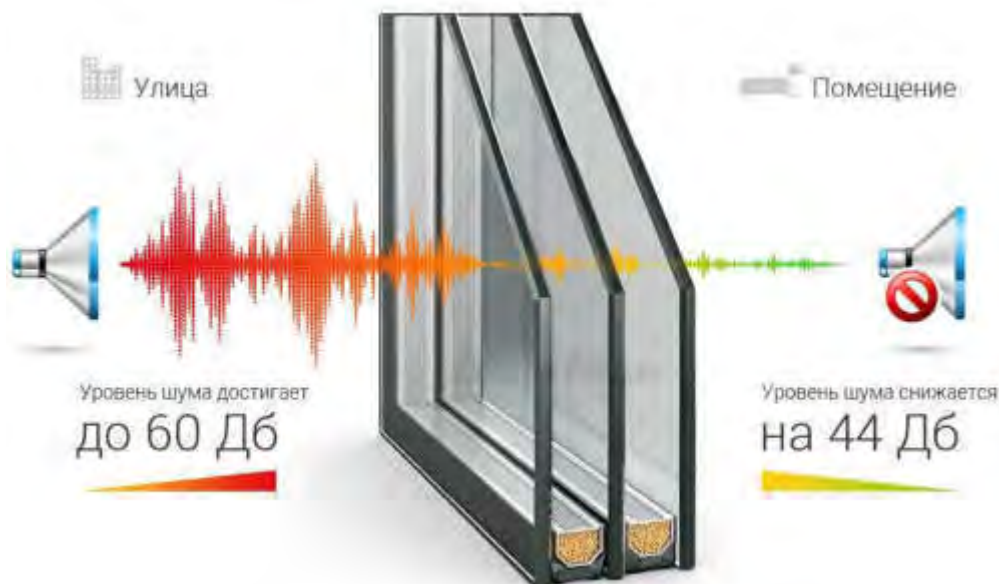


Рис.6.6. Стеклопакет (шумозащитное стекло)

По структуре является многослойным – в состав входят специальный звукопоглощающий полимерный слой или др.

Стекло с покрытием.

Стекло с покрытием – (ГОСТ 32562, ГОСТ ISO 11479) базовое стекло, на которое нанесено покрытие с целью изменения одного или нескольких свойств (коэффициентов пропускания/отражения света или солнечного излучения, пропускания ультрафиолетового излучения, коэффициента эмиссии или других показателей.).

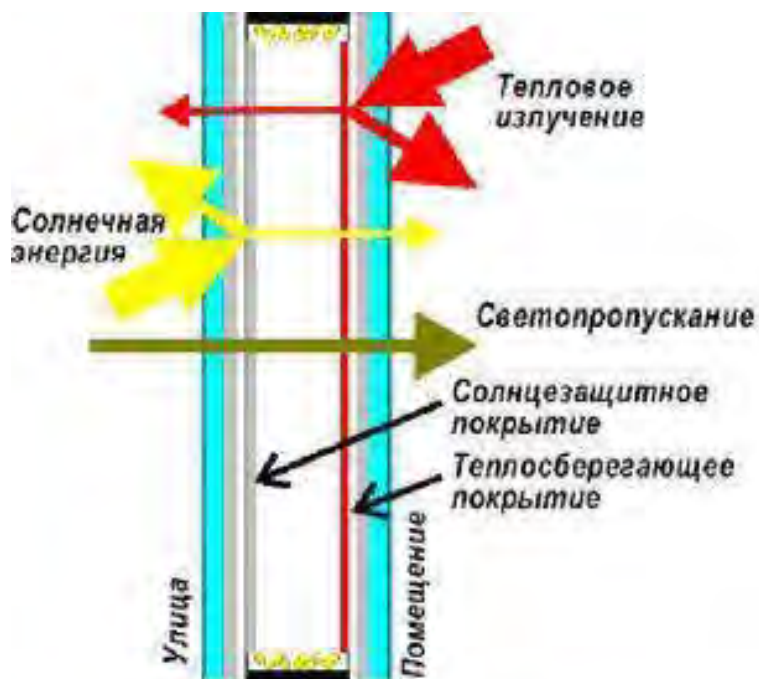


Рис.6.7. Стекло с покрытием

Покрывтие может наносится с одной или с обеих сторон стекла.

В качестве металлических покрытий используется золото, серебро, никель, хром, а также смеси этих и других металлов.

Толщина покрытий не превышает 0,1...0,2 мкм, в более толстых слоях металлы не прозрачны.

При длительной эксплуатации пленки, как правило, стираются. Поэтому для их сохранения наносятся защитные слои из SiO₂ или монтируют в стеклопакеты металлическими покрытиями внутрь.

В зависимости от положения поверхности стекла с покрытием при остеклении, определяющей области применения, типа и степени воздействия окружающей среды в течение всего срока эксплуатации, стекла с покрытием относят к одному из следующих классов – А, В, С, D и S.

У класса А, например, поверхность стекла с покрытием может быть расположена на наружной и внутренней стороне стеклопакета.

Класс S – поверхность стекла с покрытием может быть расположена на наружной или внутренней стороне остекления здания, но только для специальных областей применения, например, в витринах магазинов.

Теплозащитное стекло.

Солнцезащитные (теплозащитные) стекла (СТБ ЕН 1096, ГОСТ Р 54178 и 54169) предназначены для изготовления стеклопакетов и остекления светопрозрачных конструкций в жилых, общественных и производственных зданиях с целью защиты внутренних помещений от избыточного солнечного излучения.

По механизму действия их подразделяют на три группы:

преимущественно поглощающие или отражающие излучение и комбинированные.

Стекла, поглощающие инфракрасную часть спектра, называют *теплопоглощающими*.

Их выпускают окрашенными в массе оксидами металлов (железа, кобальта, никеля, хрома и др.) и с плёночными оксидно-металлическими покрытиями.

Покрытие может быть нанесено с одной или обеих сторон.

Цветовая гамма их достаточно разнообразна – голубые, зеленые, серые, янтарные, бронзовые и др.

Они поглощают 25...35% видимого света и 65...75% инфракрасных лучей, т. е. в 2...3 раза больше, чем обычное стекло.

Наиболее сильно поглощает инфракрасное излучение оксид железа FeO, обеспечивая при этом наименьшее поглощение видимых лучей по сравнению с другими оксидами (CuO, CoO, NiO).

В результате поглощения энергии «тёмные» теплопоглощающие стекла могут сильно нагреваться и подвергаться большим температурным деформациям. Их температура может превышать температуру окружающей среды на 40...50°C.

Поэтому устанавливать такие стекла нужно в наружном остеклении, предусматривать достаточный зазор и устраивать дополнительные компенсирующие прокладки между рамой и стеклом.

Теплоотражающие стекла получают путём нанесения на поверхность обычного бесцветного флоат-стекла покрытий в виде прозрачных плёнок (слоёв) толщиной менее 0,1 мкм. (Рис. 6.8).

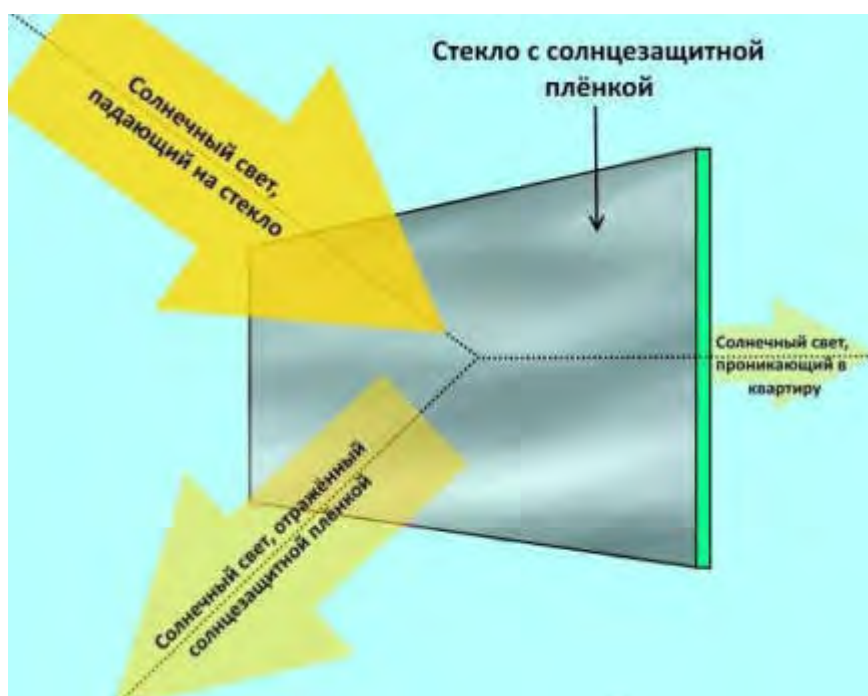


Рис.6.8. Теплоотражающее стекло

Такие плёнки должны обеспечивать достаточно высокое пропускание видимого света (до 70%), воздействуя, в основном, на инфракрасное излучение.

Теплоотражающий эффект у них может создаваться также и за счёт окрашивания поверхностного слоя базового стекла.

Селективное стекло.

Энергосберегающие стекла получили свое название из-за специального оптического низкоэмиссионного (или энергосберегающего) покрытия, которое наносится на поверхность обычного прозрачного стекла (рис. 6.9).

Энергосберегающие стекла называют еще селективными стеклами.

Оптическое энергосберегающее стекло может быть двух типов: «твердое» и «мягкое».

«Твердое» покрытие (обозначаемое буквой «K») состоит из оксидов индия и олова.

Оно делает стекла «теплее» в 6-8 раз (по сравнению с обычными).

«Мягкое» покрытие, которым могут быть покрыты энергосберегающие окна (обозначается буквой «I», состоит из нескольких металлов (в том числе, и серебра).



Рис. 6.9. Схема работы стеклопакета с энергосберегающим стеклом

Установленное в пакете такое стекло представляет собой как бы «зеркало», отражающее тепловые лучи и позволяющее сохранить в помещении тепло, вырабатываемое обогревающими устройствами и осветительными приборами.

6.4. Светопрозрачные изделия и конструкции

Стекланные изделия и конструкции получают либо путем формирования из расплава стекломассы, либо путем промышленной переработки листового стекла.

Стеклоблоки (СТБ ЕН 1051, ГОСТ 9272) представляют собой изделия с герметически закрытой полостью, образованной в результате соединения двух отпрессованных стеклянных половинок (пластин, полублоков, коробок), с гладкими наружными и рифлеными или гладкими внутренними поверхностями.



Рис. 6.10. Стеклоблоки

Каждая половинка выполнена из стекла толщиной не менее 8 мм.

Поверхность стеклоблоков может быть прозрачной, матовой, цветной, светорассеивающей и светонаправляющей.

Прозрачные стеклоблоки пропускают до 85% света, а с цветной и матовой поверхностью – около 50%.

Внутри стеклоблоков находится частично разреженный воздух.

Поэтому тепло- и звукоизоляционные свойства их на 15...20% выше, чем у обычного толстого стекла.

По форме стеклоблоки могут быть квадратные, прямоугольные и их половинки, треугольные, угловые и даже круглые размером от 90х90х80 до 300х300х100 мм.

Чаще всего толщина стеклоблоков от 80 до 100 мм.

В зависимости от размера масса стеклоблоков составляет 1,2...7,0 кг, плотность – до 800 кг/м³, теплопроводность – 0,46 Вт/(м·К), прочность при сжатии – 6...7 МПа.

По конструктивному исполнению стеклоблоки разделяются на однокамерные и двухкамерные.

Стеклоблоки используют для возведения светопрозрачных несущих внутренних и наружных стен зданий, где ощущается дефицит света и пространства, для украшения поверхностей независимо от назначения помещения и т. п.

Стекло строительное профильное

(стеклопрофилит) – погонажные длинномерные (до 7 м) изделия открытого и закрытого сечения, получаемые методом непрерывного проката ленты листового стекла и изгибанием ее при прохождении через формующее устройство (ГОСТ EN 572-7, 15683-1).

В результате изделие в поперечном сечении принимает заданный профиль:
коробчатый,
швеллерный,
ребристый и др.

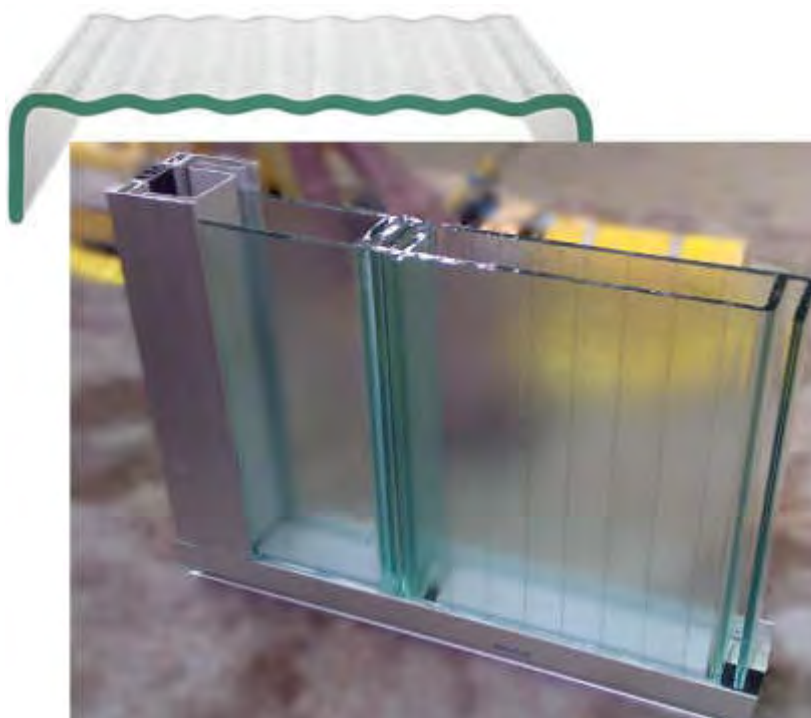


Рис.6.11. Образцы стеклопрофилита

Ширина изделий от 232 до 498 мм при толщине стекла 6...7 мм.

Может быть цветным, бесцветным, армированным, неармированным, с гладкой (кованой), узорчатой или рифлёной поверхностью (СТБ EN 572-7, ГОСТ 21992).

Коэффициент светопропускания стеклопрофилита – 0,39...0,88, теплопроводность – 0,76 Вт/м·К, термостойкость – 70°C.

Применяют стеклопрофилит так же, как и стеклянные блоки для устройства светопрозрачных ограждений (наружных стен, перегородок, кровель) и внешней отделки фасадов зданий.

Стеклопакеты.

Стеклопакеты (ГОСТ EN 1279-1, ГОСТ 24866, ГОСТ Р 54175) представляют собой объёмные изделия из двух или трёх листов стекла (однокамерные, двухкамерные), герметично соединённых по контуру с помощью дистанционной рамки

так, что между ними образуется замкнутая прослойка, заполненная сухим разреженным воздухом или инертным газом (аргоном, криптоном, ксеноном и др.).

Инертный газ вместо воздуха позволяет увеличить теплоизоляцию стеклопакета до 20%.

Номинальная толщина стеклопакетов составляет 14...60 мм, расстояние между стёклами – от 8 до 36 мм.

Оптимальным расстоянием между стеклами, исключая конвекцию воздуха, является прослойка в 16 мм.

Размеры стеклопакетов по высоте и ширине, как правило, не превышают 3,2х3,0 м.

В качестве стёкол используются листовое, узорчатое, армированное, многослойное, окрашенное в массу, упрочнённое, солнцезащитное, энергосберегающее и др.

Стеклопакеты

не замерзают при температуре до -25°C (однокамерные) и до -40°C (двухкамерные),

не запотевают,

выдерживают большую ветровую нагрузку

и обладают достаточной звукоизолирующей способностью.

Моллированное (гнутое) стекло представляет собой листы стекла, которым под воздействием температуры (порядка $600...650^{\circ}\text{C}$) по матрице-шаблону придают фигурную форму.



Рис.6.12. Получение моллированного стекла (гнутого)

Процесс термической обработки листового стекла в специальной печи для изменения его формы называется моллированием.

Минимальный радиус сгиба 200 мм и максимальная толщина листа 80 мм позволяют собирать конструкции достаточно разнообразных и сложных форм.

Выпускается волнообразной и сферической формы, ламинированным, декоративным (цветным, матовым, рельефным), закалённым, ударостойким, устойчивым к пробиванию, пулестойким и др.

В строительстве моллированное стекло используется для оформления фасадов зданий и интерьеров внутренних помещений.

Дверные полотна – это изделия из листов утолщённого закалённого стекла с обработанными кромками и необходимыми для крепления металлической фурнитуры вырезами и отверстиями.

Они имеют повышенную прочность и безопасны при разрушении (образуют мелкие осколки).

В качестве стекла используется закалённое полированное, неполированное, прозрачное, светорассеивающее, бесцветное, окрашенное и др.



Рис.6.13. Дверное стекло

Размеры полотен 240x104 см и более при толщине до 20 мм. Масса 1 м² стекла составляет 25...38 кг, предел прочности при сжатии до 900 МПа, при изгибе до 250 МПа.

Такие полотна выдерживают удар свободно падающего стального шара массой 800 г с высоты 1,5 м.

6.5. Стекло в архитектурно-художественном оформлении

Декоративное стекло – изделие, обладающее декоративными свойствами и художественной выразительностью, приданными ему путем обработки.

Может быть объёмно- и поверхностно окрашенным, накладным, а также полученное с помощью различных технологических приёмов – пескоструйной обработкой, химическим травлением, нанесением красок, тонированием и нанесением изображений с помощью фотопечати и др.

Традиционное объёмное окрашивание (в массе) осуществляется при производстве стекла путём добавления в стекломассу красителей, которые равномерно распределяются по толщине изделия (ГОСТ Р 54169).

В качестве красителей используются оксиды таких металлов, как железо, кобальт, хром, ванадий, никель, медь, марганец, титан и др.

Однако окрашивание в массе стекла требует большого расхода дорогостоящих красителей.

По характеру поверхности и окраски стекло может быть глушеное (рассеивающее свет за счет оптической неоднородности массы) и прозрачное, гладкое и узорчатое, мраморовидное и др.

Тонированные стекла можно получать за счет напыления на внутреннюю сторону стекла тонкого слоя металла (стекло с покрытием), полимера либо оклеивание стекла изнутри цветными пленками (стекло с полимерной пленкой).

Стекланные изделия с полимерной декоративной пленкой

В случае нанесения металла обычное стекло нагревают до температуры 600...700^oC, затем пульверизатором наносят раствор специальной плёнкообразующей соли.

В результате химических реакций на поверхности стекла образуется тонкая, толщиной до 1 мкм прозрачная плёнка.

Матированное стекло – одна или обе поверхности, которого подвергнуты механической (стекло с пескоструйной обработкой) или химической обработке (травленое стекло).

В результате обработанная часть поверхности становится матовой или шероховатой (ГОСТ 32360).

Оно может иметь сплошную матовую поверхность, либо сочетать матовые и блестящие участки в виде различных узоров и рисунков.

Стекло узорчатое (СТБ 2419 и 2420, ГОСТ 5533) имеет по всей поверхности на одной или обеих сторонах чёткий рельефный повторяющийся рисунок.

Получают способом непрерывного проката между двумя валками, из которых один или оба имеют рифления (рис. 6.14).



Рис.6.14. Разновидности узорчатого стекла

Может быть как бесцветным, так и цветным.

Его можно закалять и ламинировать.

Светопроницаемость такого стекла от 30 до 80%.

Марблит имеет вид плиток и плит из цветного стекла различных размеров при толщине 5...10 мм. Получают преимущественно способом проката. Цвет марблита от чёрного до зелёного с блестящими переливающимися вкраплениями. С лицевой стороны поверхность гладко-полированная или узорчато-кованая, с тыльной – рифлёная для лучшего сцепления с раствором. Применяют для облицовки наружных и внутренних стен различных зданий и мемориальных комплексов.



Рис. 6.15. Марблит

Стемалит (эмалированное стекло) – облицовочный материал для наружной и внутренней отделки стен, устройства интерьерных перегородок и лёгких навесных панелей.

Изделия из стемалита имеют вид плоских стеклянных плиток и плит из закалённого стекла, покрытых с одной стороны цветной эмалью.

Выпускается размерами 400х900х6 мм и более.

Лицевая сторона может иметь узорчато-кованую или гладко-полированную поверхность.



Рис.6.16. Смальта

Смальта (мозаика) – цветное прозрачное и непрозрачное стекло небольших размеров, выплавленное по специальной технологии в виде кубиков или пластинок размером от 10x10 до 50x50 мм и толщиной от 3 до 12 мм, либо полученное методом колки произвольной формы.

Производится с добавлением в состав стекла оксидов металлов и обжигается при повышенных температурах (около 1400°C).

Смальта обладает высокими декоративными свойствами, водо-, морозо- и износостойкостью, огнеупорностью и др.

Выпускается в различных цветах и с различным художественным оформлением.

Современные технологии позволяют получать до 10 тысяч оттенков смальты.

Витражи (от лат. vitrum – стекло) – изделия, состоящие из разнообразных по форме, цвету, прозрачности, способу изготовления пластин стекла, закрепленных в каркасе из тонких металлических или полимерных профилей, и представляющие собой художественно оформленные сюжетные или орнаментные композиции (рис.6.17).



Рис.6.17. Витражи

По технологии изготовления различают венецианский, накладной, пленочный, аппликативный, паяный, натуральный, расписной и другие виды витражей.

При изготовлении классического (наборного) витража отдельные куски цветных стёкол, вырезанные по определённому рисунку, соединяются между собой профилем из свинца, меди или латуни с росписью отдельных деталей спекающимися красками.

Чем богаче фактура стекла, тем красивее и эффективнее получается витраж.

Используют витражи для декорирования световых и лестничных проёмов, оформления фасадов и интерьеров зданий, для украшения межкомнатных дверей и перегородок, при изготовлении зеркал и мебели.

6.6. Стеклокристаллические материалы и изделия

При производстве стеклокристаллических материалов и изделий кристаллизация является обязательной составляющей технологического процесса.

Для производства используют материалы из природного и других видов сырья, применяемого на стекольных заводах, а также из шлаков соответствующего химического состава с добавкой катализаторов, в результате чего происходит полная или частичная кристаллизация.

В зависимости от состава, типа катализатора и режима термической обработки стеклокристаллические материалы получают с заранее заданными свойствами и различным содержанием кристаллической фазы.

По своим свойствам они сопоставимы, а зачастую и превосходят природные каменные материалы.

Цветовая гамма и текстура их тоже варьируются в довольно широком диапазоне, значительно перекрывающем спектр природных декоративных минералов.

В зависимости от преобладания стекловидной или кристаллической фазы их условно подразделяют на две группы:

I.– преобладает стекловидная фаза (как правило, более 70%), а кристаллические образования являются мелкими (не более 2...8 мкм) и равномерно в ней распределёнными (авантюриновые стекла, стекломрамор, стеклокремнезит, стеклокристаллит и др.);

II.– количество кристаллической фазы составляет более 50...60% (ситаллы, шлакоситаллы, сигран, неопариэс и др.).

Ситаллы представляют собой стеклокристаллические материалы, полученные объемной кристаллизацией стекол и состоящие из одной или нескольких кристаллических фаз, равномерно распределенных в стекловидной фазе.

От стекла ситаллы отличаются поликристаллическим строением, а от керамики – более тонкой и однородной микрокристаллической структурой.

Они сохраняют в себе многие положительные свойства стекла, но лишены многих его недостатков – хрупкости, низкой термостойкости и др.

Производство их отличается от производства стекла лишь дополнительной операцией (термической обработкой), при которой обычные стеклянные изделия превращаются в стеклокристаллические.

С этой целью в обычную шихту для производства стекла вводят добавки – катализаторы кристаллизации (соединения фторидов и фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов, способных легко кристаллизоваться из расплавов).

Завершается процесс отжигом, чтобы обеспечить необходимую степень закристаллизованности.

Кристаллизация приводит к получению весьма мелкозернистой и равномерной структуры, обеспечивающей высокие термомеханические свойства изделий.

Структура ситаллов напоминает микробетон, где наполнителем являются кристаллы, а вяжущим – прослойки стекла.

В таблице 6.1. Представлены сравнительные характеристики стекла и ситалла.

Таблица 6.1. Сравнительная характеристика стекла и ситалла

Показатели	Исходное стекло	Ситалл
Плотность, г/см ³	2,5	2,5...2,7
Температура размягчения, °С	550...700	1050...1450
Коэффициент линейного расширения	$(5...9)10^{-6}$	$(6...8)10^{-6}$
Термостойкость, °С	230	410
Прочность на изгиб, МПа	15...20	120...300
Прочность на сжатие, МПа	700...900	1000...1600
Микротвёрдость, ГПа	10,3	12,3
Ударная вязкость, кДж/м ²	1,59	4,5...10,5

Ситаллы чаще всего непрозрачные, однородные и плотные материалы серого, кремового, черного и других цветов.

Ситаллы имеют большую прочность и высокую стойкость к химическим и тепловым воздействиям. Твёрдость ситаллов приближается к твердости закаленной стали.

Но могут быть полупрозрачные и прозрачные разновидности светлой окраски (рис.6.18). Их можно окрашивать в различные цвета.

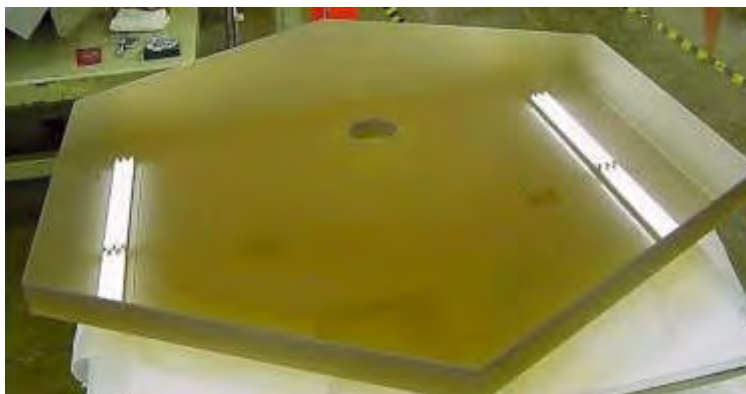


Рис.6.18. Ситалл

Формуются изделия в виде плит и листового материала с гладкой и рифленой поверхностью.



Рис. 6.19. Разновидности ситаллов

В зависимости от вида исходного сырья и технологии производства различают шлакоситаллы, золоситаллы, петроситаллы, фотоситаллы, термоситаллы и др.

Шлакоситаллы впервые были синтезированы в СССР в 1959 г путем кристаллизации шлакового стекла

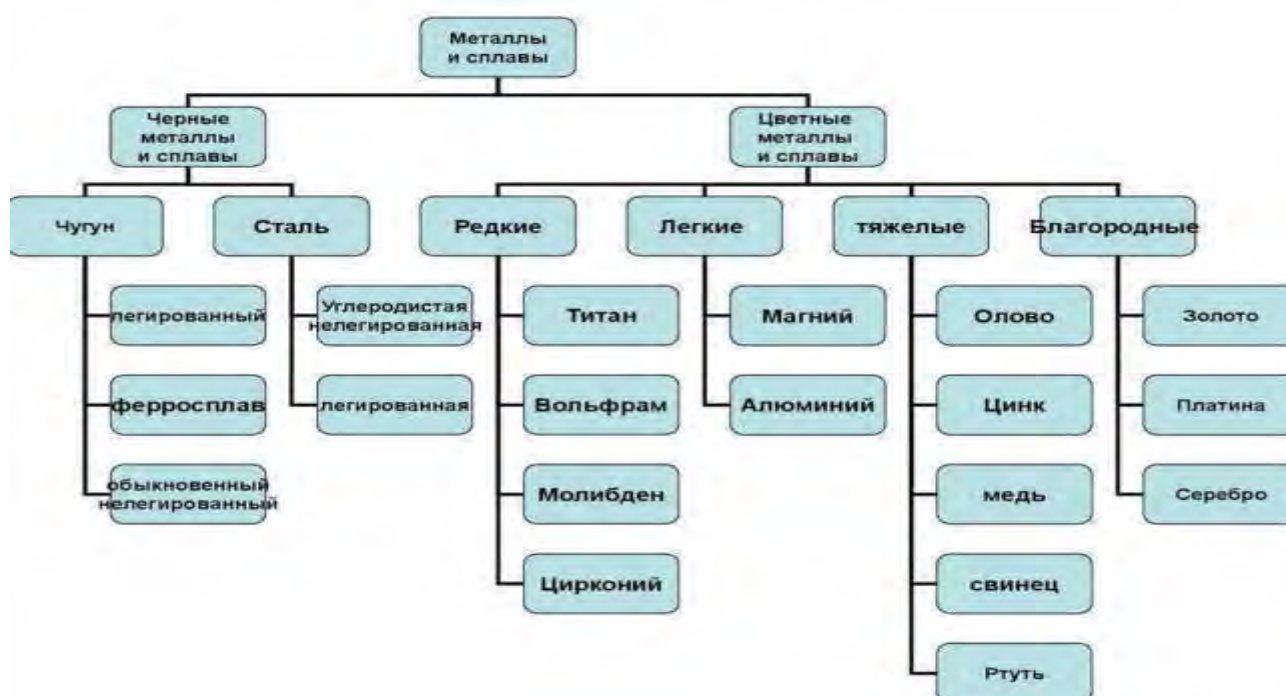
Применяют такие материалы для наружной и внутренней облицовки стен, колонн, устройства полов, лестничных площадок, мощения проезжей части улиц и тротуаров, а также для облицовки конструкций, находящихся под воздействием коррозионных сред.

За рубежом ситалл называют «пирокерам» от греческих слов «пирос» – огонь и «керамикос» – глиняный, поскольку они занимают промежуточное положение между стеклом и керамикой.

Тема 7. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

7.1. Общие сведения

Металлы – наз. кристаллические вещества с закономерным расположением атомов в узлах пространственной решетки, обладающие в обычных условиях характерными свойствами: высокой электро-теплопроводностью, пластичностью, ковкостью и др.



Металлы и сплавы делятся:

Однако наибольшее применение в строительстве имеют черные металлы. Стоимость их значительно ниже цветных.

Различают технически чистые металлы и сплавы.

Чистые металлы состоят из одного основного элемента и незначительного количества примесей других элементов.

Чистые металлы имеют высокую стоимость, обладают недостаточно высокими физическими и механическими свойствами чем сплавы.

Однако чистые металлы находят ограниченное применение.

Их используют, как правило, только в тех случаях, когда к материалу предъявляются высокие требования в отношении тепло- и электропроводности, высокой температуры плавления и т. п.

Для изменения свойств металлов в требуемом направлении их сплавляют с другими элементами.

А элементы, входящие в составов сплавов, называют компонентами.

Сплавы – это вещества, полученные сплавлением двух или нескольких простых веществ при их нагреве выше температуры плавления. Сплав считается металлическим, если его основу (50 % и более) составляют металлические компоненты.

Сплавы тоже обладают всеми характерными свойствами металлов, однако качественные характеристики их обычно резко отличаются от чистых исходных металлов и их можно регулировать.

Сплавы, как правило, превосходят чистые металлы

- по прочности,
- твердости,
- износостойкости,
- жаропрочности,
- Обрабатываемости резанием,
- литейным свойствам и т. д.

Поэтому сплавы применяются значительно шире чистых металлов.

Однако в технике, как чистые металлы, так и сплавы объединены под общим термином «металлы».

Наиболее востребованными в строительстве являются сплавы на основе железа, алюминия и меди.

7.2. Чугун. Производство чугуна

Чугуном называют сплав железа с углеродом и другими элементами с содержанием углерода от 2,14 % до 6,67 % .

Сплавы, содержащие углерод в количестве 0...0,02%, называются техническим железом, 0,02...2,14% (обычно – на уровне 0,8...1%) – сталями, а 2,14...6,67% (обычно – на уровне 3,5...4%) – чугунами.

Исходными материалами для производства чугуна являются:

- железная руда,
- флюс,
- топливо.

Флюсы предназначены для понижения температуры плавления, обеспечения плавки руды и связывания пустой породы, неизбежно остающейся в руде после процесса рудоподготовки.

Они сплавляются с пустой породой и золой топлива и образуют легкоплавкий сплав-шлак, не смешивающийся с жидким чугуном.

Основным видом топлива в доменном процессе служит кокс, природный газ или пылевидный каменный уголь.

Топливо при выплавке чугуна является не только источником тепла, но и принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в процессе плавки.

Процесс получения чугуна ведут преимущественно в доменных печах шахтного типа.

Исходные материалы в виде шихты непрерывно подают через загрузочные устройства в верхнюю часть печи, а снизу через фурмы вдувают горячий воздух (рис.7.1).

В доменной печи при температуре 1900°C происходит интенсивное насыщение железа углеродом (науглероживание).

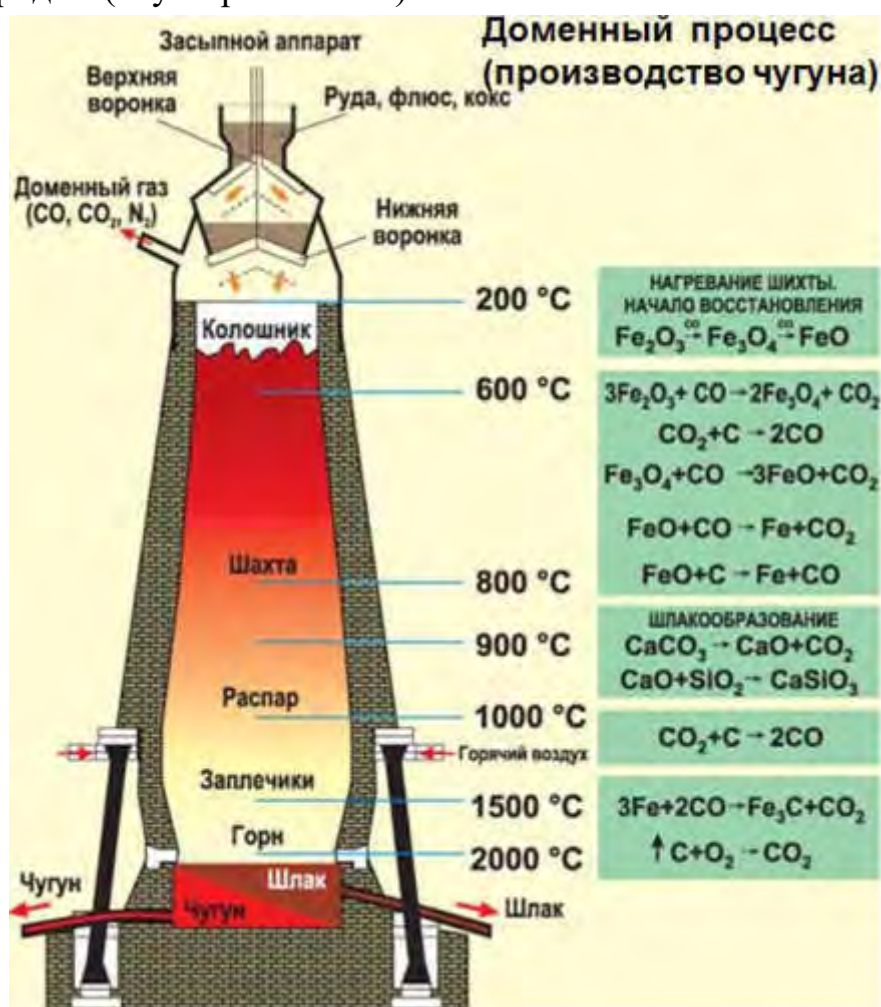


Рис. 7.1. Доменная печь (производство чугуна)

Флюсы взаимодействуют с компонентами руды, образуя шлак, в который уходят вредные примеси (сера, фосфор), пустая порода, излишки марганца и некоторые цветные металлы.

Доменные газы выпускаются через колошники в верхней части печи.

Расплавленный чугун стекает в нижнюю часть печи, а расплавленный шлак как более легкий находится сверху чугуна, предохраняя его от окисления.

Жидкий чугун выпускается через нижнюю летку от 4 до 6 раз в сутки.

В доменных печах получают **передельный и литейный чугуны**, доменные ферросплавы (специальные чугуны), шлак и доменные газы.

Углерод в чугуне может находиться в виде цементита и графита, либо одновременно в обоих видах.

В зависимости от формы графита и условий его образования различают чугун: **серый, высокопрочный, ковкий**.

Чугун в котором углерод находится в виде цементита наз. **белым чугуном**.

Передельный чугун содержит 4...4,5% углерода и незначительное количество кремния, марганца, серы и фосфора.

Выпускается трех видов: для сталеплавильного и литейного производства, фосфористый и высококачественный.

На долю передельного чугуна приходится до 90% всей продукции доменных печей.

Литейный чугун отличается от передельного повышенным содержанием кремния (до 3,6%) и в некоторых марках – фосфора (до 1,2%).

Производят также модифицированный, высокопрочный и другие виды чугунов.

Чугун используется для производства стали (передельный), изготовления труб, радиаторов отопления, деталей ограждений, декоративных элементов различного назначения, фонарей, лестниц внутри и снаружи дома и других изделий строительного назначения.

7.3. Сталь

Сталь – это деформируемый (ковкий) сплав железа с углеродом и другими постоянными или неизбежными и скрытыми примесями либо вводимыми специально для улучшения (легирования) свойств.

По ГОСТ Р 54384 сталь – сплав железа с углеродом, в котором массовая доля железа больше, чем массовая доля какого-либо другого элемента, а массовая доля углерода составляет менее 2%, и в состав которого входят также и другие химические элементы

Доля железа в сплаве составляет 90...98,5%, а доля углерода не превышает 2,14%.

В сравнении с чугуном сталь обладает лучшими механическими свойствами, что обусловлено меньшей концентрацией в ней углерода и вредных примесей.

Исходным сырьем для производства стали являются металлошхфта (передельный чугун, выплавляемый в доменных печах, и стальной лом) или ферросплавы, металлодобавки, флюсы и окислители.

Сталь получают из переделанного чугуна путем удаления из него части углерода и примесей.

Чугун переделывается в сталь в различных по принципу действия металлургических агрегатах:

- кислородных конверторах (рис. 7.1),
- электрических печах (рис. 7.2),
- мартеновских печах (рис. 7.3) и др.

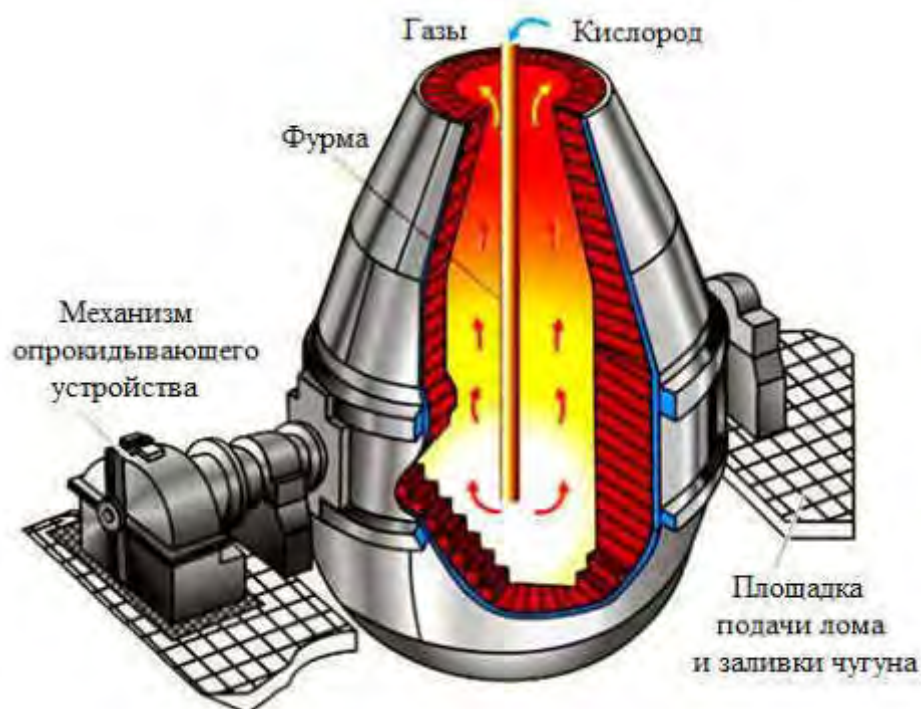


Рис. 7.1. Кислородный конвертер в разрезе

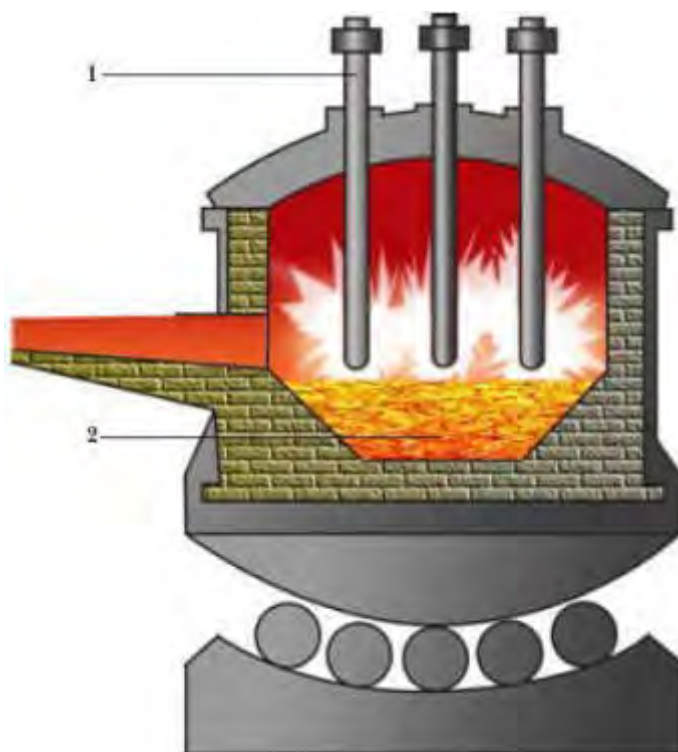


Рис. 7.2. Дуговая электросталеплавильная печь:
1 – электроды; 2 – металл

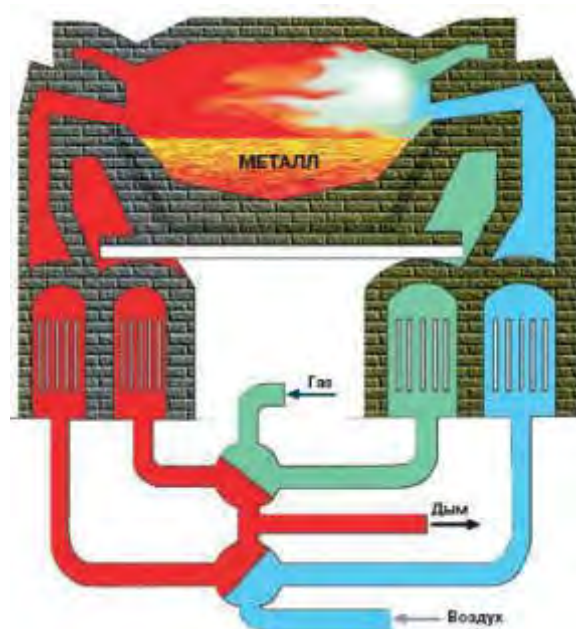


Рис. 7.3. Мартеновская печь

В результате получают сталь заданного химического состава.

Полученную в сталеплавильных агрегатах сталь выпускают в разливочный ковш, а затем либо разливают в металлические формы (изложницы), либо направляют на установки непрерывной разливки стали (машины непрерывного литья).

Незначительная часть стали идет на фасонное литье.

В результате затвердевания металла получаются стальные слитки или заготовки, которые в дальнейшем подвергают обработке давлением (прокатке, ковке).

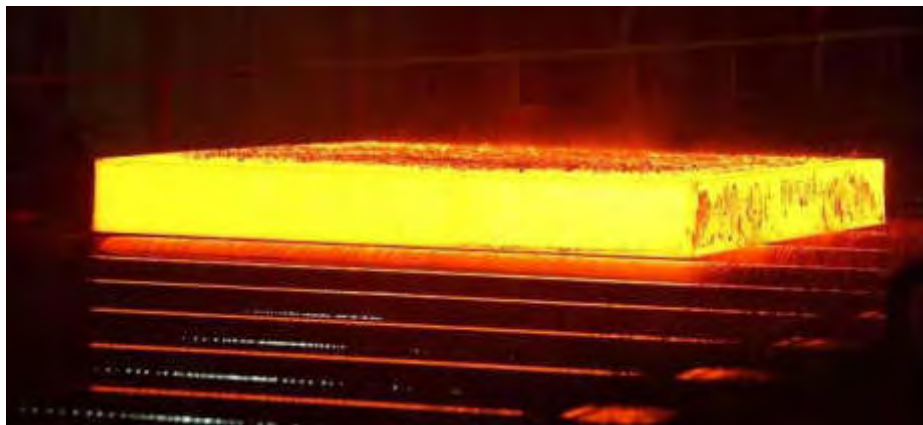


Рис. 7.4. Стальные слитки

7.3.1. Классификация сталей

Единой международной классификации сталей нет.

Стали классифицируют:

- по химическому составу,
- способу производства,
- качеству,
- назначению,
- структуре,
- степени раскисления,
- методам придания формы стальным изделиям и другим показателям.

Основным признаком, по которому классифицируют стали, является их химический состав.

Он определяет марку и название стали.

По химическому составу различают стали нелегированные (углеродистые), нержавеющие и другие легированные (ГОСТ Р 54384, EN 10020).



Основным признаком, по которому классифицируют стали, является их химический состав, который определяет марку и название стали.

По основным свойствам или области применения стали подразделяют на *классы качества*:

- нелегированные;
- легированные – на качественные и специальные,
- нержавеющие – по массовой доле никеля (менее 2,5% и 2,5% и более)
- коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные.

По качеству (содержанию вредных примесей) стали различают:

- обыкновенного качества,
- качественные,
- высококачественные;
- особо высококачественные.

По механическим характеристикам, различают стали

- обычной прочности ($\sigma_{\text{в}} \leq 420$ МПа),;
- повышенной прочности ($420 < \sigma_{\text{в}} \leq 550$ МПа);
- высокой прочности ($\sigma_{\text{в}} > 550$ МПа).

По назначению стали подразделяют на:

- конструкционные,
- инструментальные,
- с особыми свойствами.

Конструкционные стали, в свою очередь, разделяют на строительные и машиностроительные.

7.3.2. Разновидности стали

На долю углеродистых сталей приходится около 80% от общего объема выплавки.

Углеродистой (нелегированной) сталью называют сплавы, в которых отсутствуют специальные добавки легирующих элементов, но имеется небольшое количество примесей, обусловленное технологией выплавки, в т. ч. марганца и кремния в пределах 0,8...1,0%.

По содержанию углерода различают:

- низкоуглеродистые (с содержанием углерода до 0,25%),
- среднеуглеродистые (0,25...0,6%) ;
- и высокоуглеродистые (более 0,6%).

Содержание углерода и примесей определяют структуру и свойства углеродистых сталей.

Углеродистые конструкционные стали бывают только обыкновенного качества и качественными.

Для строительных металлических конструкций применяют в основном низкоуглеродистые стали обыкновенного качества, для ответственных строительных конструкций – качественные.

В зависимости от содержания углерода, марганца и кремния углеродистая *сталь обыкновенного качества* подразделяется на марки от *Ст0*, *Ст1* до *Ст6*.

Буквы «Ст» обозначают «сталь», цифры – условный номер марки в зависимости от химического состава.

При этом с увеличением номера содержание углерода в стали возрастает, но прямого количественного соответствия номера и содержания углерода нет.

Буквы, стоящие после номера стали, указывают: «Г» – на содержание марганца при его массовой доле в стали 0,8% и более и «кп – кипящая», «пс – полуспокойная» и «сп – спокойная» – степень раскисления стали.

Чем выше марка стали, тем больше в ней содержание углерода, выше прочность и ниже пластичность.

Спокойная сталь (сп) по отношению к другим имеет наилучшие механические свойства.

Углеродистая сталь обыкновенного качества применяется для изготовления горячекатаного проката: сортового, фасонного, толсто- и тонколистового, широкополосного и холоднокатаного тонколистового, а также слитков, блюмов, слябов, сунтки, труб, лент, проволоки, метизов и других изделий.

Качественные углеродистые стали маркируют двузначными цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента (05; 08; 10; 25; 40 и др.) и буквами, указывающими на степень раскисления стали.

Легированными (нержавеющими) называют стали, в которые для получения требуемых свойств вводят специальные (легирующие) добавки других элементов, массовую долю которых контролируют.

Чаще всего это металлы – никель, хром, молибден, вольфрам, медь и др.

Легирующие добавки оказывают различное влияние, как на кристаллическое строение, так и на физико-механические характеристики стали. Легированные стали обладают более высоким уровнем механических и технологических свойств и прежде всего прочности.

С помощью легирования можно придать стали различные специальные свойства (коррозионную стойкость, износостойкость, жаростойкость и др.).

По степени легирования (т. е. по суммарному содержанию легирующих элементов) различают:

- низколегированные (менее 2%),
- среднелегированные (2...10%)
- и высоколегированные (более 10%) стали.

Низколегированные конструкционные стали являются переходными между углеродистыми и легированными.

Они обладают по сравнению с углеродистой сталью повышенной прочностью, пониженной склонностью к старению, хорошей свариваемостью, повышенной износостойкостью и коррозионной стойкостью в различных средах.

По назначению легированные стали подразделяются на :

- конструкционные,
- инструментальные
- с особыми свойствами.

Легированная конструкционная сталь в зависимости от химического состава и свойств делится на:

- качественную,
- высококачественную (А),
- особовысококачественную (Ш).

По видам обработки при поставке различают сталь:

- горячекатаную,
- кованую,
- калиброванную,
- серебрянку.

В обозначении марок конструкционной легированной стали первые две цифры указывают на содержание углерода в сотых долях процента.

Затем следуют буквы, обозначающие легирующие элементы.

Цифры после букв указывают на среднее содержание данного элемента в целых единицах.

Отсутствие цифры означает, что содержание данного легирующего элемента менее 1,5%.

7.3.3. Строительные стали

Стали, используемые для изготовления металлических конструкций в сооружениях промышленных и общественных зданий, пролетных строений мостов и эстакад, магистральных нефте- и газопроводов, армирования бетона называют строительными.

Основные требования, предъявляемые к таким сталям:

- нормативные параметры прочности (предел текучести и временное сопротивление разрыву при растяжении),
- хорошая свариваемость,
- значительная пластичность,
- надежность
- и долговечность
- химический состав (предельное содержание углерода, азота, алюминия, кальция, фосфора, серы и других элементов).

Используют для строительных целей в основном *низколегированные* (Si, Mn, Cr и др.) и *углеродистые стали обыкновенного качества*.

Низколегированные стали содержат до 0,2% углерода, 2...3% легирующих элементов (Si, Mn) и микродобавки (V, Nb, Ni, Al, N).

С увеличением содержания углерода повышается твердость, прочность, улучшается обработка резанием, но снижается пластичность и ухудшается свариваемость.

Строительные стали повышенной прочности дополнительно содержат небольшое количество ванадия или ниобия, а также медь в количестве 0,15...0,3%. Медь повышает стойкость к атмосферной коррозии.

Низколегированные строительные стали обладают высокой пластичностью и ударной вязкостью, имеют улучшенные механические свойства и пониженную температуру перехода в хрупкое состояние (от -40°C до -60°C).

Поставляют строительные стали, как правило, по механическим свойствам в виде листов разной толщины и сортового проката.

7.3.5. Основные свойства строительных сталей

Предел текучести (физический) – наименьшее напряжение в МПа, при котором испытываемый образец деформируется без заметного увеличения нагрузки.

Предел прочности (временное сопротивление) это условное напряжение в МПа, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

Относительное удлинение (после разрыва) – это отношение приращения расчетной длины испытываемого образца после разрыва к его первоначальной расчетной длине, выраженное в процентах.

Чем больше значение относительного удлинения, тем более пластичен металл.

У хрупких металлов эти значения близки к нулю.

Хрупкость конструкционных металлов является отрицательным свойством.

Ударная вязкость – это способность материала сопротивляться ударным нагрузкам и хрупкому разрушению.

Определяется как работа, затраченная на деформацию и разрушение ударным изгибом надрезанного образца, отнесенная к его начальной площади поперечного сечения в месте надреза.

Размерность ударной вязкости Дж/см² (Дж/м²).

Свариваемость – это свойство металлов давать доброкачественные соединения при сварке, характеризующиеся отсутствием трещин и других пороков в швах и прилегающих зонах или образовывать сварное соединение, свойства которого близки к свойствам основного металла.

По прочности строительные стали подразделяются на классы.

Класс прочности стали – это установленное стандартом нормируемое значение физического или условного предела текучести стали.

Маркируют строительные стали буквой «С – сталь строительная» и числом, указывающим предел текучести в МПа (Н/мм²): С235; С245; С255, С345, С345К; С355; С355-1; С355К; С355П; С390; С390-1; С440; С550 и С590.

Цифра «1» указывает на вариант химического состава, буквы «К» – сталь повышенной коррозионной стойкости и «П» – повышенной огнестойкости.

Вероятность выполнения норм стандарта по пределу текучести, временному сопротивлению и относительному удлинению в каждой партии проката должна быть не ниже 0,95.

7.4. Термическая обработка металлов

Термическая обработка – это совокупность технологических операций нагрева, выдержки и охлаждения твердых металлических сплавов с целью получения заданных свойств за счет изменения внутреннего строения и структуры без изменения их химического состава.

Под термической обработкой понимают технологические процессы, при которых путем теплового воздействия целенаправленно изменяют структуру и свойства металлов и сплавов (рис. 7.5).

Основные параметры термической обработки:

- Температура нагрева;
- Длительность выдержки;
- Скорость нагрева;
- Скорость охлаждения.



Рис.7.5. График термической обработки

Виды термической обработки металлов. В зависимости от технологических параметров и фазовых превращений различают три основных группы термической обработки металлов:

- собственно термическая,
- химико-термическая
- термомеханическая.

Собственно термическая обработка предусматривает только температурное воздействие на металл. В зависимости от структурного состояния, получаемого в результате ее применения, различают *отжиг*, *закалку*, *отпуск* и *старение*.

Отжиг заключается в нагреве стали до определенной температуры (выше температур фазовых превращений), выдержке при данной температуре и медленном охлаждении (обычно вместе с печью) или в песке со скоростью 2...3°C в минуту. Виды отжига бывают: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный, низкий, нормализация и др.

Особенностью отжига является медленное охлаждение.

После отжига сталь имеет низкую твердость и прочность.

Закалка стали предусматривает нагрев ее до определенной температуры, выдержку при этой температуре и последующее быстрое охлаждение в воде или масле с целью получения высокой твердости и повышенной прочности.

Но при этом снижаются вязкость и пластичность

Отпуск проводят с целью получения более высокой пластичности, снижения твердости, уменьшения хрупкости и снятия внутренних напряжений закаленных сталей при сохранении приемлемого уровня прочности.

Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Применяется нормализация при термообработке стали, чугуна, сплавов меди и др.

Химико-термическая обработка подразумевает совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (углеродом, азотом, алюминием, кремнием, хромом и др.) при высоких температурах и имеет диффузионный характер.

В результате изменяется химический состав, микроструктура и свойства поверхностного слоя.

Основными видами химико-термической обработки являются :

- цементация,
- азотирование,
- цианирование,
- хромирование,
- алитирование и др.

В результате повышается твердость, износостойкость, коррозионная стойкость поверхности изделий, увеличивается надежность и долговечность.

Термомеханическая обработка представляет процесс обработки изделий (заготовок) из металлических сплавов, сочетающих пластическую деформацию (прокатку, ковку, штамповку) с последующей закалкой и низкотемпературным отпуском.

Пластическое деформирование изменяет характер распределения и плотность дефектов и влияет на формирование структуры и свойств при фазовых превращениях, происходящих в процессе термического воздействия.

7.5. Цветные металлы и сплавы

Цветные металлы обладают большой пластичностью, малой твердостью, имеют широкий диапазон температур плавления (Температура плавления алюминия 660°C, а тантала – 3015°C).

Условно различают *легкие цветные металлы* (плотность до 5000 кг/м³) и *тяжелые* – плотностью более 5000 кг/м³.

К легким металлам относят магний, алюминий, титан, бериллий, к тяжелым – медь, свинец, олово, никель.

Применяют цветные металлы, как правило, в виде сплавов, так как в чистом виде они обладают недостаточной прочностью.

Наибольшее распространение получили сплавы на основе меди, алюминия, титана, олова, магния и других металлов.

Изделия из цветных металлов

Из них изготавливают

металлические конструкции,

различные декоративные элементы,

облицовочные панели,

двери,

оконные рамы,

трубы,

кровельные

и других изделия.

7.5.1. Алюминий и сплавы.

Основным сырьем для промышленного производства алюминия служат бокситы и нефелины (рис.7.6), которые содержат до 60% оксида алюминия (глинозема).



Рис.7.6. Сырье для получения алюминия

Процесс получения алюминия является довольно сложным, энергоемким и включает: получение из бокситов вначале глинозема (Al_2O_3), а затем восстановление из раствора глинозема металлического алюминия.

Алюминий представляет собой серебристо-белый легкий металл с высокой тепло- и электропроводностью, хорошей коррозионной стойкостью в атмосфере и во многих агрессивных средах.

На воздухе алюминий покрывается тонкой прочной беспористой пленкой оксида алюминия (Al_2O_3) толщиной примерно 10 нм, защищающей металл от дальнейшего окисления и обуславливающей его высокую коррозионную стойкость.

Однако в щелочных средах и некоторых неорганических кислотах алюминий быстро разрушается.

В чистом виде алюминий применяют для изготовления фольги, порошка, проволоки.

Алюминиевые сплавы сочетают в себе, как правило, лучшие свойства чистого алюминия и повышенные прочностные и эксплуатационно-технологические характеристики легирующих добавок.

Недостатком алюминиевых сплавов являются сравнительно низкий модуль упругости (почти в три раза меньше, чем у стали), высокий коэффициент линейного расширения и относительная сложность соединения элементов конструкций.

Алюминиевые сплавы классифицируют по составу, технологии получения заготовок, способности к термической обработке и основным потребительским свойствам.

В зависимости от состава различают силумины ($Al - Si$), магналии ($Al - Mg$), дюралюмины ($Al - Cu - Mg$), авиали ($Al - Mg - Si$) и более сложные (многокомпонентные) с улучшенными свойствами – высокопрочные, жаропрочные, коррозионностойкие и др.

По технологическому признаку (способу изготовления) все алюминиевые сплавы делят на:

- деформируемые (имеющие высокую пластичность в нагретом состоянии) и обрабатываемые давлением – методом горячей или холодной деформации (дюралюмины)
- литейные (имеющие хорошую жидкотекучесть), применяемые для отливки изделий (силумины).

Для изготовления строительных конструкций используются в основном деформируемые сплавы системы алюминий-магний-кремний и другие.

Такие сплавы наряду с хорошей пластичностью обладают высокой коррозионной стойкостью, технологичностью, способностью подвергаться цветному анодированию и эмалированию и др.

Дюралюмины (дюраль) – это сплавы системы «алюминий – медь – магний».

Содержание меди составляет 2,2...4%, магния – 0,5...2,4% и в небольших количествах содержатся марганец (0,3...0,9%), кремний и железо.

Недостатком дюралюминов является их пониженная коррозионная стойкость.

Для защиты от коррозии дюралюмины плакируют чистым алюминием, подвергают электрохимическому оксидированию либо естественному старению.

7.5.2. Медь и сплавы

Медь производят в основном из руд, либо из отходов меди и ее сплавов.

Наиболее востребованными рудами для производства меди являются сульфидные – медный колчедан ($\text{CuS} \cdot \text{FeS}$), халькозин (Cu_2S), ковеллин (CuS) и другие, содержащие до 5% меди.

Медь относится к малоактивным металлам.



Рис. 7.7. Медный самородок

При обычных условиях она не взаимодействует с водой, растворами щелочей, рядом кислот (соляной и разбавленной серной).

Однако при наличии углекислого газа и влаги медь окисляется и покрывается тонкой пленкой карбоната меди $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CO}_3$ под названием «патины» зеленого цвета.

В дальнейшем эта пленка в определенной мере способна защищать медь от коррозии.

В строительстве медь применяется в основном для изготовления водопроводных труб, кровельной черепицы и других изделий.



Рис.7.8. Медная черепица

Более 30% меди используется для производства медных сплавов.

В зависимости от легирующего элемента все сплавы меди подразделяются на **латуни, бронзы и медноникелевые.**

Латуни – это сплавы меди с цинком и другими элементами, в которых цинк является основным легирующим элементом.

Цинк повышает прочность и пластичность сплава, но до определенных пределов.

Наибольшей пластичностью обладают латуни, содержащие 30% цинка, а наибольшей прочностью – 45%.

Латуни имеют золотисто-желтый цвет и по сравнению с медью обладают большими прочностью, твердостью, упругостью, коррозионной стойкостью и лучшими технологическими свойствами (жидкотекучестью, обрабатываемостью литьем, давлением, резанием).

Бронзой называют медные сплавы, обычно с оловом как основным легирующим компонентом, и другими металлами кроме цинка и никеля.

Цинк и никель могут вводиться в бронзы только как дополнительные легирующие элементы.

При этом медноникелевые сплавы выделяют в особую группу.

Следовательно, по химическому составу бронзы подразделяют на оловянные и безоловянные, а название получают по основному легирующему элементу, образующему сплав (алюминиевые, кремнистые и др.).

В целом же бронзы по сравнению с латунями обладают лучшими механическими свойствами и антикоррозионной стойкостью.

7.6. Металлические изделия

7.6.1. Определение и классификация

Металлический прокат – изделия, получаемые на прокатных станах путем горячей или холодной прокатки.

Металлический прокат является наиболее массовым видом продукции металлургических предприятий.

Выпускаются также гнутые, кованные, калиброванные и со специальной отделкой поверхности металлические изделия.

Весь перечень металлического проката (совокупность профилей) называется **сортаментом.**

Сортамент условно подразделяется на:

- сортовой,
- толстолистовой,
- широкополосный,
- универсальный,
- фасонный,
- гнутые профили.



Рис.7.9. Сортамент

К сортовому относят прокат, у которого касательная в любой точке контура поперечного сечения данное сечение не пересекает.

Выпускается в листах, прутках, мотках, рулонах различного профиля:

- круглого сечения диаметром от 5 до 330 мм. Прокат диаметром до 9 мм включительно выпускается в мотках, свыше 9 мм – в прутках длиной от 2 до 13 м;
- квадратного сечения с размерами сторон от 6 до 200 мм в мотках и прутках длиной от 2 до 13 м;
- шестигранного сечения диаметром вписанного круга от 8 до 103 мм длиной от 2 до 13 м;
- прямоугольного сечения (полоса) толщиной от 4 до 80 мм, шириной от 10 до 200 мм, и других размеров.

Кроме того, выпускают прокат:

- толстолистовой, тонколистовой и широкополосный универсальный, в т. ч. рулонный (штрипс) горячекатаный, холоднокатаный и оцинкованный шириной 500 мм и более, толщиной от 0,35 до 160 мм повышенной и обычной точности;
- арматуру (прокат арматурный) – изделия для армирования железобетонных конструкций;
- листы горячекатаные – просечно-вытяжные и рифленые с односторонним ромбическим, чечевичным и другими видами рифления (в листах и рулонах);
- ленту стальную (холоднокатаную и горячекатаную) шириной от 20 до 220 мм и толщиной от 1,2 до 5 мм и другие изделия.

Основными качественными характеристиками таких изделий являются точность прокатки (повышенная, обычная и др.), отклонения в размерах и форме поперечного сечения и другие на соответствие стандарта.

К фасонному относят прокат, у которых касательная хотя бы в одной точке контура поперечного сечения данное сечение пересекает. Поперечное сечение таких изделий напоминает латинские буквы L (уголок), U (швеллер) и H (двутавр):



Рис..7.10. Двутавр и швеллер

- уголки равнополочные размером от 20x20 до 250x250 мм и неравнополочные размером от 30x20 до 200x125 мм;
- швеллеры высотой от 50 до 400 мм и шириной полки от 32 до 115 мм;
- двутавры с уклоном внутренних граней и полки высотой от 100 до 600 мм и шириной полки от 55 до 190 мм и с параллельными гранями полки высотой от 100 до 1000 мм и шириной полки от 55 до 400 мм;

- профили специального назначения – профилированные листы (профнастил, гофролист) представляют собой стальные холодногнутые листовые профили в форме волны, прямоугольника или трапеции. Изготавливаются в стеновом и кровельном исполнении.

Выпускаются также:

- кованные прутки квадратные и круглые, калиброванная холоднотянутая и холоднокатаная сталь круглого сечения, кованные полосы;
- *профили гнутые* различных поперечных сечений, изготавливаемые на профилегибочных станах из холоднокатаного или горячекатаного проката, имеющие поперечное сечение, одинаковое по всей длине.

Для стальных строительных конструкций используют листовую и сортовую сталь.

Кроме того, применяют вторичные профили: сварные, получаемые сваркой полос или листов, и гнутые, образованные холодной гибкой полос и листов.

7.7. Коррозия металлов и способы защиты

7.7.1. Коррозия металлов

Коррозия – это физико-химический процесс самопроизвольного разрушения металлов и сплавов под влиянием внешней среды.

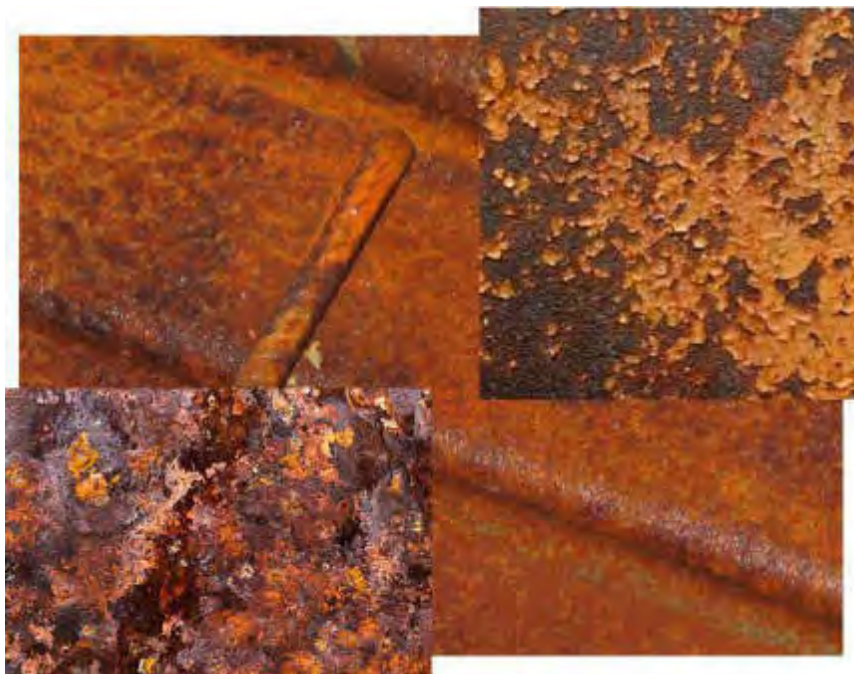


Рис.7.11. Ржавчина на металлах

Сущность коррозии заключается в том, что металлы чаще всего встречаются в природе в виде устойчивых соединений с кислородом, серой.

При получении чистого металла эти соединения искусственным путем разрушают.

Коррозия в большинстве случаев представляет собой восстановление этих связей в условиях эксплуатации металлических изделий.

Металл, подвергающийся коррозии, называют *корродирующим*, а среду, в которой металл подвергается коррозии (корродирует) – *коррозионной* или *агрессивной*.

Основные факторы, влияющие на коррозию металлов:

- комплексное воздействие температуры,
- влажность,
- присутствие в воздухе кислотных оксидов (соляной туман, кислотные дожди) и др.

Чаще всего это могут быть жидкости или газы.

Наибольшая скорость коррозии происходит при периодическом выпадении конденсата, однако еще больше она возрастает при достижении так называемой критической влажности, обычно принимаемой для стальных конструкций 70...75%.

Коррозия металлов чаще всего сводится к их окислению и превращению в оксиды железа в виде рыхлого порошка светло-коричневого цвета, который называют «ржавчиной».

Поэтому со стальных конструкций ржавчину необходимо удалять.

Разрушение металла начинается, как правило, с поверхности и при дальнейшем развитии этого процесса распространяется вглубь него.

Признаке коррозии металла это потеря блеска, а поверхность становится неровной (изъеденной).

В результате уменьшается поперечное сечение металлических конструкций, снижаются механические свойства и происходит их разрушение.

Виды коррозии бывают:

сплошная равномерная,
сплошная неравномерная,
структурно-избирательная,
пятнами,
язвами,
точками (питтинговая),
подповерхностная,
межкристаллитная

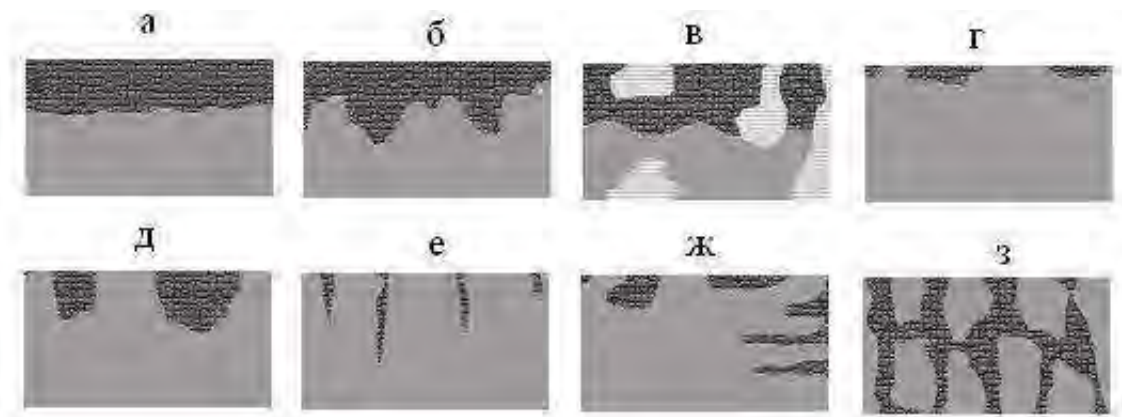


Рис.7.12. Виды коррозии: а – сплошная равномерная, б – сплошная неравномерная, в – структурно-избирательная, г – пятнами, д – язвами, е – точками (питтинговая), ж – подповерхностная, з – межкристаллитная

Однако ряд металлов (например, алюминий) при коррозии способны покрываться плотной, хорошо скрепленной с металлом оксидной пленкой.

В результате такая пленка не позволяет окислителям (кислороду воздуха и воде) проникать в более глубокие слои и предохраняет металл от дальнейшего окисления (коррозии).

При удалении этой пленки металл продолжает взаимодействовать с влагой и кислородом воздуха.

Коррозии подвержены практически все виды металлов кроме золота, платины и серебра, а коррозионностойкими называют металлы и сплавы, в которых процесс коррозии развивается с малой скоростью.

Способность металлов сопротивляться коррозионному воздействию среды называют коррозионной стойкостью.

И, тем не менее, практически все стальные конструкции (в т. ч. арматура) нуждаются в защите от коррозии.

7.7.2. Защита металлов от коррозии

При выборе метода защиты металла от коррозии учитываются:

- условия эксплуатации конструкций и сооружений,
- механизм коррозии, его эффективностью в данном конкретном случае;
- экономическая целесообразностью.

На стадии проектирования должны быть рационально подобраны материалы и максимально ограничено влияние агрессивной среды на конструкцию в ходе ее эксплуатации.

Поскольку скопление влаги в различных элементах конструкции способствует развитию коррозии, то необходимо предусматривать возможность проветривания полостей в конструкциях, наличие дренажных отверстий и др.

Очень опасными в коррозионном отношении зонами являются зазоры и щели.

В них может получить развитие местная и щелевая коррозия.

Современными способами защиты металлов от коррозии являются:

- применение химически стойких сплавов, т. е. повышение химического сопротивления металлов коррозии (легирование, термо- и поверхностная обработка и др.);
- изоляция поверхности металла от агрессивной среды (нанесение защитных покрытий, рациональное проектирование и др.);
- понижение агрессивности производственной среды, в которой эксплуатируются металлические изделия и конструкции (ингибирование и деаэрация водной среды, очистка, осушение и модификация состава агрессивной атмосферы, удаление агрессивных реагентов среды – солей, кислот и т. п.);
- электрохимическая защита и др.

Защитные покрытия могут быть металлическими (металлизация поверхности), неметаллическими и образованными в результате химической и электрохимической обработки металлов.

Материалами для металлических защитных покрытий могут быть как чистые металлы (цинк, олово, никель, хром, медь), так и их сплавы (бронза, латунь).

Неметаллические покрытия получают путем нанесения на поверхность металла лакокрасочных, каучуковых, полимерных, керамических и других составов.

Наибольшее распространение получили лакокрасочные покрытия, которые могут выполнять функции барьера, пассиватора или протектора.

ТЕМА 8. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ВОЗДУШНОГО ТВЕРДЕНИЯ

8.1. Общие сведения

Вещества обладающих способностью связывать разнородные компоненты, отвердевать и создавать монолитные материалы с композиционной структурой называются *вяжущими*.

В зависимости от состава химических соединений, входящих в состав вяжущих их делят на – неорганические (или минеральные) и органические.

Процесс перехода вяжущих веществ из пластичного состояния в твердое (камневидное) называется процессом твердения.

В зависимости от свойств, состава, вида применяемого сырья, способа производства и технологических параметров они подразделяются на гидравлические, воздушные, кислотостойкие и вяжущие автоклавного твердения.

Основным сырьем для производства минеральных вяжущих являются горные породы и вторичное сырье, представляющее собой промышленные отходы.

В качестве горных пород используются:

- гипсовые (гипсовый камень, ангидрид, гипсосодержащие породы),
- карбонатные (известняк, мел, мрамор и др.),
- глинистые (глины, мергели и др.),
- кремнеземистые (кварцевый песок, диатомит, трепел, трасс и др.)

В качестве вторичного сырья используют доменные и топливные шлаки и золы, фосфогипс и т.д..

От условий твердения вяжущие материалы подразделяются:

- воздушные,
- гидравлические,
- автоклавного твердения.

Воздушные вяжущие способны твердеть, набирать и сохранять прочность на воздухе, но в контакте с водой способны терять свою прочность. К воздушным вяжущим относятся 4 группы: гипсовые, магнезиальные вяжущие, воздушная строительная известь, жидкое стекло.

Гидравлические вяжущие способны твердеть, набирать прочность и длительно сохранять ее как на воздухе, так и в водной среде. На сегодняшний день из-за своей универсальности гидравлические вяжущие более востребованы в строительной индустрии.

К гидравлическим вяжущим относятся: портландцемент и различные его виды, глиноземистый цемент, гидравлическая известь и романцемент, смешанные

вяжущие на основе извести, гипса, портландцемента, шлаков, зол и других минеральных добавок.

Вяжущие автоклавного твердения твердеют при давлении 0,8...1,5 МПа насыщенного пара температурой 175-200 °С, что достигается при 0,6-10 ч. обработке в автоклавах. К ним относятся смеси извести или портландцемента с малоактивными минеральными материалами (кварцевый песок, шлаки, золы и т.д.).

8.2. Гипсовые вяжущие материалы

Гипсовыми вяжущими веществами называют материалы, состоящие из полуводного гипса или ангидрита, полученные в результате тепловой обработки сырья с предшествующим или последующим измельчением.

В зависимости от температуры обжига гипсовые вяжущие подразделяются:

– низкообжиговые (140-180 °С),

Это строительный, высокопрочный, формовочный гипс.

– высокообжиговые (650-1000 °С),

Это ангидритовые цементы, эстрих-гипс.

8.2.1. Сырьевые материалы

Сырьем являются горные породы (гипсовый камень, ангидрит) в составе которых присутствуют минералы гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — дигидрат) и ангидрита (CaSO_4 безводный) (рис. 8.1).



а) гипсовый камень



б) ангидрит

Рис. 8.1.

Гипсовый камень (рис. 8.1.а)) - осадочная горная порода. Образовалась вследствие взаимодействия известняков с сульфатными растворами.

Цвет камня - белый или серый, окраска зависит от вида и содержания примесей.

В зависимости от содержания дигидрата гипсовый камень подразделяют на 4 сорта .

Ангидрит (рис. 8.1 б)) встречается в природе сравнительно редко. Образует подстилающие пласты на гипсовых месторождениях, в верхних пластах ангидрит оводняется и переходит в двухводный гипс. Ангидрит более твердая порода, чем гипсовый камень. Он образует более плотные кристаллы чем гипс, не содержащие кристаллизационную воду.

В качестве вторичного сырья используются гипсосодержащие отходы:

– фосфогипс. Содержит не менее 80% гипса. Получается при сернокислой обработке апатита или фосфорита: $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 = 5\text{CaSO}_4 + \text{HF} + 3\text{H}_3\text{PO}_4$.

– борогипс – отход производства борной кислоты,

– сульфогипс , образуется в результате очистки дымовых газов тепловых электростанций от оксидов серы;

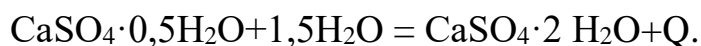
– гидролизный гипс – отход технологической обработки целлюлозы и др.

Известно около 50 видов гипсосодержащих отходов.

8.2.2. Твердение гипсовых вяжущих

Твердение гипсовых вяжущих является результатом сложных физико-химических процессов гидратации и структурообразования, приводящих к формированию искусственного камня.

Твердение гипсового вяжущего (низкообжигово) сопровождается такими процессами, как реакция гидратации и образования дигидрат:



Твердение гипсового вяжущего протекает с выделением теплоты.

В соответствии с современной теорией твердения гипса протекает в два этапа. В начале формируется каркас кристаллизационной структуры с возникновением контактов срастания между кристалликами новообразований. В течение второго этапа происходит обрастание каркаса и рост составляющих его кристаллов, что приводит к повышению прочности, но при определенных условиях может являться и причиной появления внутренних напряжений. Наибольшая конечная прочность обуславливается возникновением кристаллов новообразований достаточной величины при минимальных напряжениях, сопровождающих формирование и развитие кристаллизационной структуры.

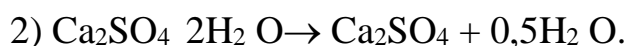
8.2.3. Производство низкообжиговых вяжущих (дегидратация двуводного гипса)

Основной технологической операцией производства гипсовых вяжущих является тепловая обработка материалов (рис. 8.2), содержащих двуводный гипс (дигидрат) и размола продукта.



Рис. 8.2. Гипсоварочные котлы

При нагревании процесс дегидратации двуводного гипса проходит в 2 стадии:



При тепловой обработке двуводного гипса образуется ряд химических соединений, отличающихся составом и особенностями кристаллической структуры. Вид соединений зависит от температуры и среды, в которой осуществляется процесс термообработки.

Процесс термообработки может проходить:

- в атмосфере ненасыщенного водяного пара;
- насыщенного водяного пара;
- жидкой среде.

В атмосфере ненасыщенного пара в результате выделения из гипса кристаллизационной воды в парообразном состоянии образуется β -полугидрат ($\beta\text{-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Кристаллы β -полугидрата более дисперсны, имеют высокую удельную поверхность, большое количество дефектов в кристаллической решетке. Для

образования гипсового теста нормальной густоты требуется 60-70 % воды. Кристаллы β -полуhydrата образуют строительный гипс.

В атмосфере насыщенного пара или в жидкой среде в результате первой стадии дегидратации гипса образуется α -полуhydrат (α -CaSO₄·0,5H₂O). Кристаллы α -полуhydrата имеют четкую форму, относительно крупные, имеют мало дефектов. Для образования гипсового теста нормальной густоты на основе α -полуhydrата требуется - 40...50% воды. Кристаллы α -полуhydrата образуют высокопрочный или технический гипс.

Гипсовый камень из α -полуhydrата значительно прочнее чем из β -полуhydrата в результате более низкой пористости.

Процесс получения полуhydrата - эндотермический (с поглощением тепла). Для образования α -полуhydrата требуется приблизительно 89 кДж/моль тепла, а для β -полуhydrата - 85 кДж/моль.

8.2.4. Свойства строительного и высокопрочного гипса

Истинная плотность низкообжиговых вяжущих находится в пределах 2,6...2,75 г/см. Плотность в рахлонасыпном состоянии — 800...1100 кг/м³, в уплотненном — 1250...1450 кг/м³.

Тонкость помола гипсовых вяжущих характеризует степень измельчения вяжущего и выражается либо остатком в % на стандартном сите № 02 (рис. 8.3), либо удельной поверхностью вяжущего в м²/кг, определяемой методом воздухопроницаемости.

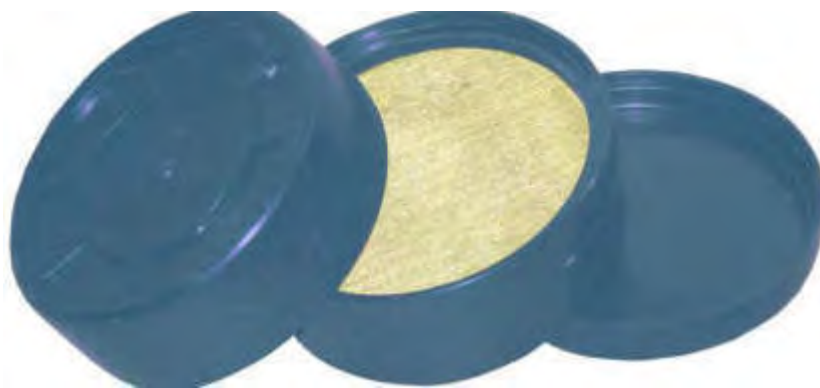


Рис. 8.3. Сито для определения тонкости помола

В соответствии с ГОСТ 125-2018 различают гипсовые вяжущие:
грубого помола с индексом I,
среднего помола с индексом II,
и тонкого помола с индексом III.

Удельная поверхность строительного гипса находится в пределах 300...500 м²/кг, в то время как удельная поверхность высокопрочных гипсовых вяжущих составляет 90...120 м²/кг.

Степень измельчения оказывает влияние на водопотребность и прочность вяжущего.

Водопотребность (нормальная густота)

Под *водопотребностью* вяжущего вещества понимают то количество воды, которое необходимо к нему добавить для получения теста стандартной консистенции (нормальной густоты). Стандартная консистенция гипсовых вяжущих оценивается по диаметру расплыва вискозиметра Сутгарда (рис. 8.4), равного 180 ± 5 мм.

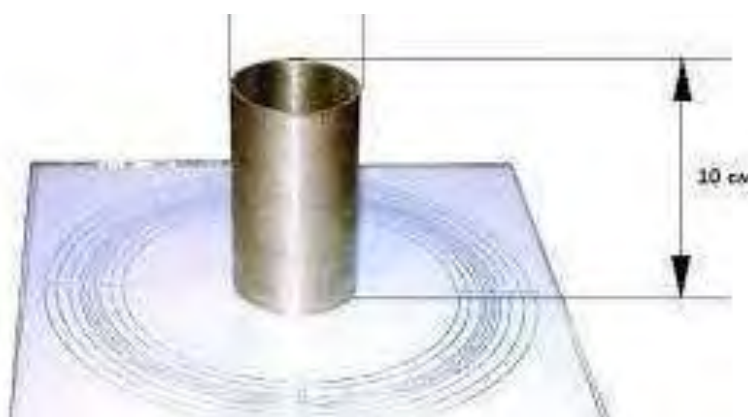


Рис. 8.4. Вискозиметр Сутгарда

Для гидратации полуводного гипса теоретически необходимо 18,6 % воды по массе вяжущего. Для получения теста стандартной консистенции по ГОСТ 23789 для β -CaSO₄·0,5H₂O практически требуется 50...70 % воды, а для α -полугидрата необходимо 35...45 %.

На водопотребность гипсовых вяжущих влияют факторы:

- способ получения вяжущего,
- тонкость помола,
- состав сырья.

Сроки схватывания для низкообжиговых гипсовых вяжущих определяются на приборе Вика (рис. 8.5.) и различают быстротвердеющие (индекс А), нормальнотвердеющие (индекс Б) и медленнотвердеющие (индекс В).

Начало схватывания - время в мин от момента затворения вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в гипсовое тесто не доходит до дна на 1...1,5 мм, конец схватывания – когда погружается в тесто на глубину не более 1 мм.

Группа вяжущих	Индекс	Сроки схватывания, мин.	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющие	А	2	15
Нормальнотвердеющие	Б	6	30
Медленнотвердеющие	В	20	Не нормируется

По сравнению с низкообжиговыми ангидритовые вяжущие схватываются значительно медленнее: начало схватывания в пределах 0,5...2 ч (для эстрих-гипса 2...3 ч), конец схватывания – 2...4 ч (для эстрих-гипса 4...6 ч).

Сроки схватывания низкообжиговых гипсовых вяжущих зависят:

- от свойств сырья,
- технологии изготовления,



Рис. 8.5. Прибор Вика

- длительности хранения, к
- количества вводимой воды,
- температуры вяжущего вещества и воды,
- условий перемешивания,
- присутствия добавок и др.

Для ускорения и замедления сроков схватывания гипсовых вяжущих применяют различные химические добавки.

В качестве ускорителей схватывания используются: двуводный гипс, сульфаты натрия, калия, алюминия, железа (0,1...0,8%), хлориды натрия и кальция (0,1...1%), замедлителей – животный клей (0,4...0,6%), бура техническая (0,2...0,6%), цитраты натрия и кальция (0,001...0,008%), винная, виннокаменная, лимонная кислоты, их соли (0,002...0,02%).

Прочность α -, β -полуводного гипса определяют испытанием образцов-балочек размером 40×40×160 мм из гипсового теста стандартной консистенции через 2 ч после изготовления. Гипсовые вяжущие вещества подразделяются на марки от Г-2 до Г-25, что соответствует пределу прочности на сжатие в МПа в возрасте двух часов

Гипсовое вяжущее марок Г-2...Г-7 относится к строительному гипсу. Гипсовое вяжущее марок Г-7...Г-25 относится к формовочному, медицинскому и техническому гипсу, а Г-22...Г-25 – к супергипсу.

Водостойкость гипсовых вяжущих оценивается по коэффициенту размягчения K_p , в зависимости от значения которого они являются неводостойкими (НВ) при $K_p < 0,45$; средней водостойкости (СВ) при $0,45 \leq K_p \leq 0,6$; повышенной водостойкости (ПВ) при $0,6 \leq K_p \leq 0,8$; водостойкими (В) при $K_p > 0,8$.

Повышение водостойкости гипсовых изделий может быть достигнуто в результате:

- введения добавок, уменьшающих растворимость в воде сульфата кальция,
- введения небольшого количества синтетических смол,
- пропитки изделий различными веществами, препятствующими проникновению в них влаги, применению интенсивных способов уплотнения.

Гипсовые вяжущие нашли применение при приготовлении строительных растворов, деталей для внутренних стен и перегородок, сухой штукатурки, при создании смешанных гипсовых вяжущих, в керамической промышленности, для изготовления лангет, муляжных слепков, хирургических повязок и других целей.

8.2.5. Разновидности гипсовых вяжущих.

Ангидритовый цемент (высокообжиговый) – воздушное вяжущие вещество, получаемого обжигом природного двуводного гипса при температуре 600...700 °С с последующим измельчением в тонкий порошок совместно с добавками активизаторами твердения.

В качестве добавок используют: 0,5...1 % бисульфата натрия или 0,5...1 % сульфата натрия в смеси с железным или медным купоросом, 1...5 % извести, 3...8 % обожженного при температуре 900 °С доломита, 10...15 % основного доменного шлака, 10...20 % золы горючих сланцев в смеси с известью. Нерастворимые добавки вводятся при помолу, растворимые могут вводиться с водой затворения.

Высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) получают путем обжига природного гипсового камня при 800...1000 °С с последующим измельчением продукта.

Эстрих-гипс не требует введение добавок активизаторов, так как при обжиге образуется СаО в свободном состоянии или в виде основных соединений сульфата кальция типа $mCaSO_4 \cdot nCaO$, которые являются добавками, способствующим процессам твердения гипсового вяжущего.

Свойства ангидридов вяжущих представлены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Свойства ангидритовых вяжущих

Показатели	Ед. изм.	Ангидритовый цемент	Эстрих-гипс
Тонкость помола, %	%	15	15
Плотность	Г/см	2,8.....2,9	2,9.....3,0
Водопотребность	%	35-40	30-35
Сроки схватывая: начало конец	Час	0,5...2 2...4	2...3 4...6
<i>R_{сж}</i> в воз 28 сут (твердение во влажных условиях)	МПа	15...30	15...20
Коэффициент размягчения <i>K_p</i>	–	0,58...0,62	0,6...0,65

Ангидритовый цемент разделяется на марки 50, 100, 150 и 200. Марка устанавливается в возрасте 7 сут по пределу прочности при сжатии образцов, изготовленных из раствора состава 1:3 жесткой консистенции.

Ангидритовый цемент применяется при устройстве бесшовных полов и подготовки под линолеум, изготовлении штукатурных и кладочных растворов, легких бетонов с неорганическими и органическими заполнителями, тяжелых

бетонов при эксплуатации в условиях с относительной влажностью воздуха не более 60...70 %, а также служит исходным материалом для получения искусственного мрамора.

Эстрих-гипс гипс характеризуется высоким сопротивлением истиранию, поэтому его применяют как материал для устройства бесшовных полов, в растворах для кладки, для штукатурных работ, для производства изделий из искусственного мрамора.

8.2.6. Водостойкие гипсовые вяжущие

К смешанным (водостойким) гипсовым вяжущим относятся:

- 1) гипсоцементнопуццолановые (ГЦПВ);
- 2) гипсоцементношлаковые (ГЦШВ) вяжущие;
- 3) композиционные гипсовые вяжущие (КГВ) низкой водопотребности.

В состав ГЦПВ входят:

50...70% строительного гипса,

15...25% портландцемента,

10...25% пуццолановых добавок (трепел, опока, диатомит и др.).

В состав ГЦШВ входит:

40...65% строительного гипса или ангидрита,

30...50% кислого доменного шлака,

5...7% портландцемента.

Прочность водостойких образцов определяют на образцах, твердеющих во влажных условиях 7 или 28 сут. (табл. 8.2).

Таблица 8.2. Прочность водостойких вяжущих

Марки вяжущих	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм, МПа, не менее			
	ГЦПВ (твердение во влажных условиях при t=20±2°C, относительной влажности φ=95% 7 сут с последующим высушиванием до постоянной массы)		КГВ (твердение во влажных условиях при t=20±2°C, относительной влажности φ=95%, 28 сут)	
	при сжатии	при изгибе	при сжатии	при изгибе
100	10	4	-	-
150	15	5	15	4
200	20	6	20	5
250	25	7	25	6
300	30	8	30	9

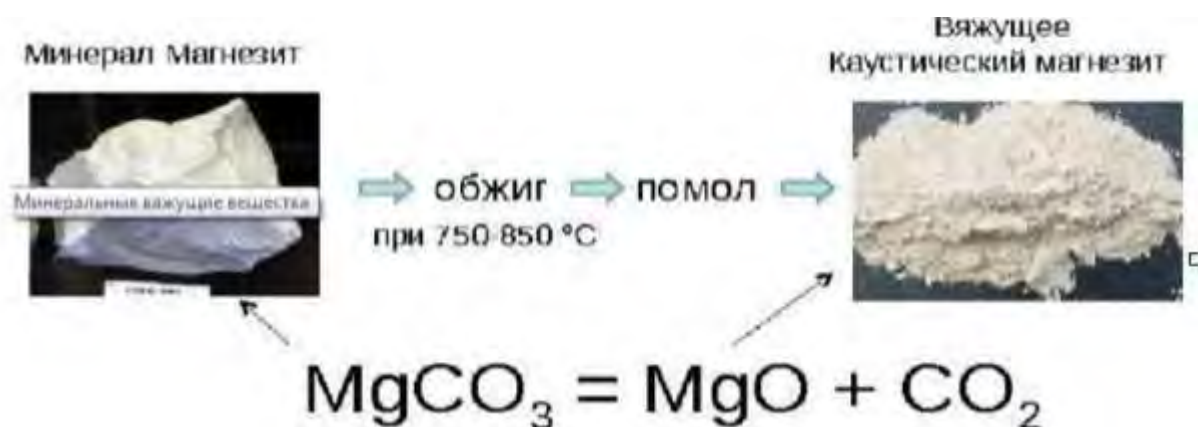


Рис. 8.6. Получение каустического магнезита

8.3. Магнезиальные вяжущие вещества

Магнезиальные вяжущие материалы представляют собой воздушные вяжущие вещества, состоящие из каустического магнезита или каустического доломита. Особенность данных вяжущих, что затворяются водными растворами солей, MgCl_2 , MgSO_4 , ZnCl_2 , FeSO_4 и др. Источниками промышленной добычи солей магния являются озера, содержащие водный раствор хлористого магния.

Каустический магнезит изготавливают из природного магнезита (MgCO_3) обжигом при температурах 750...850 °С последующим помолем обожженного продукта (рис.8.6). В природе магнезит встречается кристаллический и аморфный.

Каустический доломит получают обжигом природного доломита ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$), представляющего собой двойную углекислую соль кальция и магния следующего химического состава: 54,2 % $CaCO_3$ и 45,8 % $MgCO_3$. (рис.8.7)

Обжиг природного доломита на каустический производится при температуре примерно 650...750 °С (полуобжиг), происходит декарбонизация $MgCO_3$ и превращение его в MgO , при этом $CaCO_3$ остается неразложенным.

Прочность цементного камня на растворе $MgSO_4$ меньше, чем на $MgCl_2$, но камень на растворе сернокислого магния обладает меньшей гигроскопичностью по сравнению с цементным камнем, полученным на растворе хлористого магния.

Особенностью магниевых вяжущих является также повышенная прочность сцепления с минеральными и особенно органическими заполнителями (опилки, стружки, древесная шерсть), а органические заполнители в такой среде не подвергаются разложению. Способность твердеть при пониженных температурах (минус 10 °С).

Каустический доломит характеризуется меньшими показателями прочности, чем каустический магнезит (табл. 8.3).

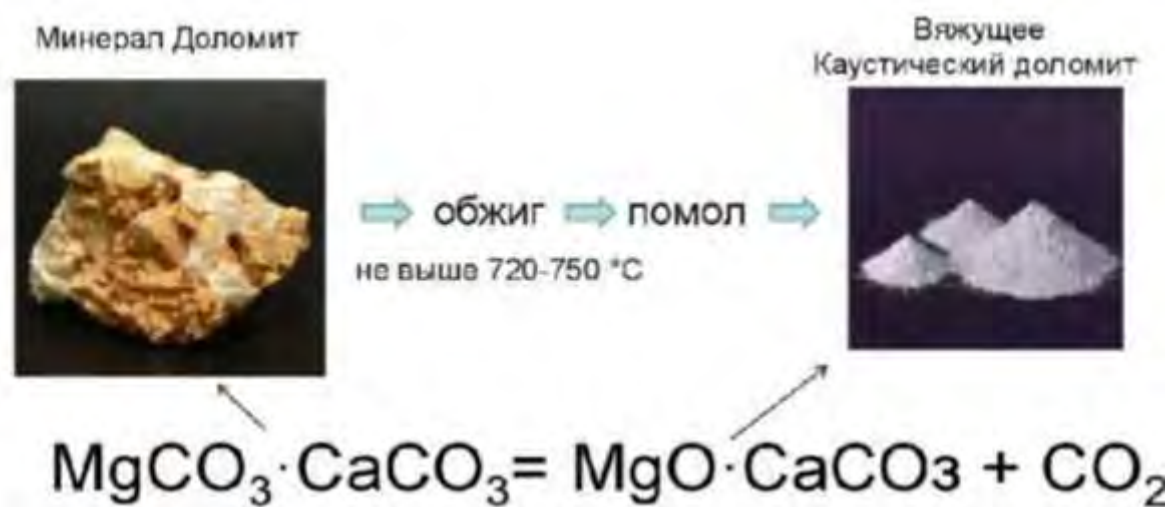


Рис. 8.7. Получение каустического доломита

Таблица 8.3 Механические свойства каустического доломита и магнезита

Показатели	Каустический магнезит	Каустический доломит
Прочность на растяжение, МПа 7 сут 28 сут	1,5	1-1,5
	3,5-4,5	2,5-3
Предел прочности при сжатии, МПа 28 сут	30-50	10-30

Затвердевший каустический доломит, как и магнезит, разрушается в воде вследствие вымывания из него растворимых солей ($MgCl_2$ и др.).

Магнезиальные вяжущие используют при производстве бесшовных ксилолитовых полов, для производства штукатурных работ внутри помещений, при изготовлении различных строительных деталей (подоконников, лестничных ступеней, сплошных кровель, кровельных плит и др.), фибролитовых плит и различных теплоизоляционных материалов.

8.4. Известь строительная воздушная

8.4.1. Общие сведения

Воздушная известь, получается умеренным обжигом кальциевых и кальциево-магниевого карбонатных пород с содержанием глинисто-песчаных примесей не более 8%.

Воздушная известь твердеет и обеспечивает прочность строительных растворов в воздушно-сухих условиях

Различают следующие виды воздушной извести:

1) негашеную известь молотую, получаемую механическим измельчением комовой извести (кипелки). Ее состав представлен в основном CaO ;

2) известь гидратную (пушонку), которую получают гашением комовой извести-кипелки ограниченным количеством воды для перехода ее в порошкообразное состояние; по химическому составу она представляет собой гидрат окиси кальция $Ca(OH)_2$;

3) известковое тесто — продукт гашения комовой извести-кипелки избыточным количеством воды. Известковое тесто состоит в основном из 50 % $Ca(OH)_2$ и 50 % воды;

4) известковое молоко, состоящее приблизительно из 25 % $Ca(OH)_2$ и 75 % воды.

В зависимости от содержания MgO известь воздушная подразделяется на кальциевую (≤ 5 %), магнезиальную (5...20 %), доломитовую (20...40 %).

8.4.2. Сырьевые материалы для пучения воздушной извести

Основными сырьевыми материалами для производства являются известково-магнезиальные карбонатные породы – *известняки, доломиты и мергели* (рис. 8.8).



Рис. 8.8. Известняк ракушечник

Породообразующими минералами карбонатных пород являются кальцит, арагонит, доломит и магнезит.

В зависимости от содержания CaCO_3 , MgCO_3 и глинистых примесей выделяют семь типов карбонатных пород для производства извести. При выборе печного агрегата для обжига извести, его продолжительности именно руководствуются физико-механическими свойствами карбонатных пород.

Для производства воздушной извести могут быть использованы все виды доломитизированных известняков, обжиг которых позволяет получить соответственно маломagneзиальную, магнезиальную и доломитовую известь.

При обжиге чистых кальциевых известняков получают белую воздушную кальциевую известь. Из доломитизированных известняков получают серую воздушную известь, применяемую в строительных растворах и изделиях автоклавного твердения.

Известковые горные породы применяются не только для производства извести, но и для производства портландцемента, глиноземистого цемента и ряда других вяжущих веществ.

8.4.3. Производство воздушной извести

Технологический процесс производства комовой негашеной извести состоит из добычи сырья, его подготовки и обжига (рис.8.9).

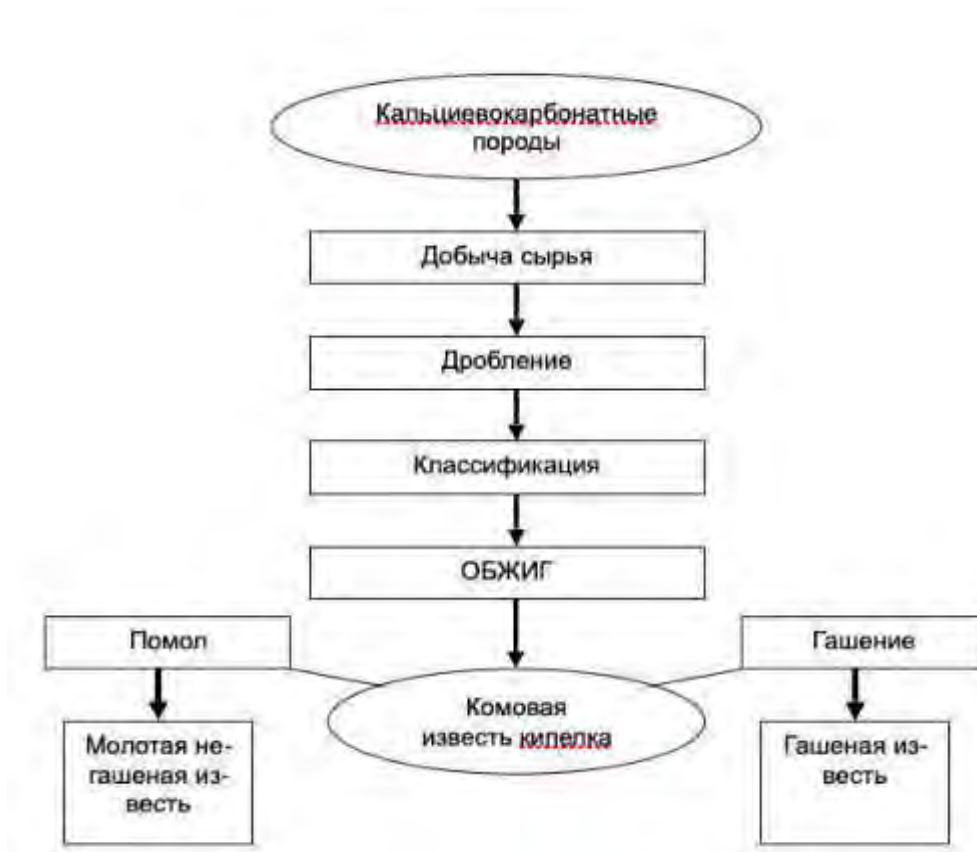


Рис.8.9. Получения строительной извести

Обжиг строительной извести производят в шахтных (рис. 8.10) и вращающихся печах, печах во взвешенном состоянии, в кипящем слое, вихревого типа, с вращающейся колосниковой решеткой и др.

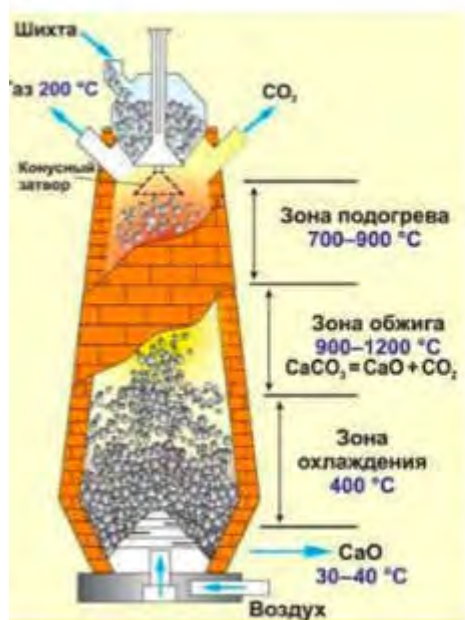


Рис. 8.10 Шахтные печи

При обжиге в шахтной печи отдельно обжигают фракции 20...40, 40...80 и 80...120 мм. При обжиге во вращающихся печах применяют фракции 5...20 или 20...40 мм.

При обжиге возможно более полное разложение (диссоциация) CaCO_3 и $\text{CaCO} \cdot \text{MgCO}_3$ на CaO , MgO и CO_2 ; получение продукта высокого качества с оптимальной микроструктурой частиц и их пор.

При воздействии на известняк высокой температуры происходит разложение углекислого кальция по формуле:



Продукт обжига носит название комовой извести, которая сама по себе не является вяжущим (рис 8.11).



Рис. 8.11. Комовая (негашаеная) известь

Теоретически диссоциация углекислого кальция начинается при 600 °С. В интервале температур от 600 до 850 °С диссоциация протекает чрезвычайно медленно.

При дальнейшем повышении температуры (от 850 до 900 °С) происходит резкое ускорение процесса диссоциации и практически полное разложение CaCO_3 . При достижении 900 °С парциальное давление CO_2 достигает 1 ат (760 мм рт. ст.), что соответствует температуре диссоциации карбоната кальция.

Температура обжига зависит:

- от наличия примесей в сырье,
- плотности кусков сырья,
- размера обжигаемых кусков,
- конструкции обжигаемых печей.

В заводских условиях температуру обжига поднимают до 1000 -1200 °С.

В зависимости от вариантов дальнейшей обработки комовой извести различают несколько видов воздушной извести (рис. 8.12):



Рис. 8.12. Виды воздушной извести

Молотая негашеная известь (представлена формулой CaO)

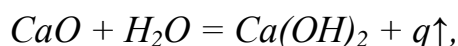
При гидратации CaO химически связывает сравнительно много воды, что уменьшает количество свободной (испаряющейся) воды и пористость, образующуюся при испарении.

Снижение пористости приводит к увеличению прочности изделий.

Гашеная известь (пушонка- CaOH)

Гашением называют обработку продукта обжига известняка (комовой, дробленой или молотой извести) определенным количеством воды.

При этом процесс гашения сопровождается выделением большого количества тепла и значительным увеличением продукта гашения в объеме (в 2,5...3 раза) и протекает по реакции:



где q – количество теплоты, равное 1160 кДж на 1 кг оксида кальция.

Поэтому негашеную известь называют еще «кипелка» из-за бурной химической реакции с водой, которая может закипеть (рис. 8.13).



Рис. 8.13 Гашение извести

Различают два способа гашения извести:

- *мокрый* (называют гашением в известковое тесто – сметанообразную массу)
- *и сухой* (в известь-пушонку или гидратный порошок). На ощупь пушонка – сухой порошок размером зерен до 0,01 мм.

И в том и в другом случае получается гашеная известь – гидроксид кальция $Ca(OH)_2$.

Теоретически для гашения извести необходимо немногим более 32% воды от массы извести-кипелки.

Практически для гашения извести воды берут 70...75% (до 100%, так как значительная ее часть испаряется) и получают тонкий рыхлый порошок со значительным увеличением в объеме (в 2,5...3 раза), называемый «известь-пушонка».

При этом часть воды испаряется, а некоторое ее количество (3...5 расходуется на смачивание образующегося порошка CaO .

Если гашеная известь долго не используется, то происходит обратный процесс, т. е. раствор поглощает углекислый газ и твердеет.

Гашение извести может производиться как в условиях строительного объекта, так и централизованно – с помощью известегасильных установок периодического и непрерывного действия (рис. 8.14). В производственных условиях это занимает от 30...40 минут.



Рис.8.14 Известегасильные установки

Гашеная известь $Ca(OH)_2$ или известковое тесто имеет, как правило, очень мелкие частички размером в несколько микрон, а, следовательно, обладает большой удельной поверхностью, гидрофильностью, пластичностью и большой водоудерживающей способностью.

Известное тесто получается при избытке воды в 3 -4 раза больше, чем извести (состоящее из гашеной извести и воды ($\approx 50\%$)).

Известное молоко - берут в 5-7 раз больше, чем извести. В такой извести гидроксид кальция находится частично в растворенном, частично во взвешенном состоянии.

8.4.4. Основные показатели извести

Основной показатель воздушной извести является:

- *активность извести* — содержание в ней свободных оксидов кальция и магния.

Активность высококачественных сортов маломagneзиальных известей достигает 93...97 %. В извести, предназначенной для производства автоклавных изделий, не должно быть MgO более 5 %.

известь без добавок делится на три сорта:

I сорт – $CaO + MgO$ должно быть не менее 90 %;

II сорт – не менее 80 %;

III сорт – не менее 70 %.

По СТБ ЕН 459-1 в зависимости от суммарного содержания $CaO+MgO$ известь классифицируется на виды:

кальциевая CL 70; CL 80; CL 90,

и доломитовая DL 80; DL 85

(цифры указывают минимально допустимое содержание активных оксидов).

- *скорость гашения*

Под скоростью гашения при стандартном лабораторном испытании понимают продолжительность периода с момента затворения комовой извести водой до приобретения тестом максимальной температуры.

По продолжительности процесса гашения различают известь воздушную:

- быстрогасящуюся — со сроком гашения до 20 мин;
- медленногасящуюся — со сроком гашения более 20 мин.

Присутствие в извести окиси магния и глинистых примесей существенно влияет на ее свойства, в частности на скорость гашения.

Введение добавок, в частности солей: хлористые соли могут ускорить скорость гашения, сернокислые – замедлить.

В зависимости от максимальной температуры гашения воздушную известь можно условно разделить на:

- низкоэкзотермичную, с максимальной температурой при гашении 70 °С;
- высокоэкзотермичную, максимальная температура при гашении которой 70 °С и выше.

- *выход известкового теста*, который определяется количеством известкового теста в литрах, получаемого при гашении 1 кг извести.

Чем выше выход теста, тем оно пластичнее и тем больше его пескостойкость, т.е. тем больше песка оно может принять при изготовлении удобообрабатываемых пластичных растворов. Высококачественные сорта извести при правильном гашении характеризуются выходом теста в 2,5...3,5 л и больше. Такая известь называется «жирной». Известь с меньшим выходом теста считают «тощей».

- *пережог и недожог*:

При повышении температуры обжига происходит рост кристаллов CaO . При 900 °С размер их составляет 0,5...0,6 мкм, при 1000 °С размер кристаллов находится в пределах 1...2 мкм, при 1100 °С — 2,5 мкм. Обжиг при более высоких температурах способствует дальнейшему росту кристаллов оксида кальция (пережог), усадке материала, уменьшению их удельной поверхности и снижению скорости взаимодействия с водой.

При обжиге какая-то часть сырьевого материала может оказаться нехоженой, т.е. образуется недожог, который не обладает вяжущими свойствами. Существенного влияния на качественные характеристики характеристики недожог не оказывает.

- *тонкость помола извести* (дисперсность) характеризуется остатком на ситах №02 и №08.

Для всех сортов извести остаток на ситах с сетками №02 и №08 не должен превышать соответственно 1,0 и 15%.

8.4.5. Твердение и свойства извести

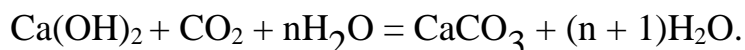
Различают три типа твердения извести: гидратное, карбонатное и гидросиликатное (в том числе автоклавное).

При гидратном твердении известковое тесто превращается в твердое состояние по мере испарения воды и кристаллизации гидроксида кальция. Процесс твердения молотой негашеной извести называется гидратным твердением

Карбонатное твердение — твердение известковых растворов и бетонов на гашеной извести. При этом протекают следующие процессы:

– кристаллизация из насыщенного водного раствора гидроксида кальция, испарения механически примешанной воды, при котором гелевидная масса известкового теста уплотняется и упрочняется;

– карбонизация вследствие поглощения углекислого газа из окружающего воздуха по реакции:



Наряду с карбонатом кальция возможно образование комплексных соединений типа $\text{CaCO}_3 \cdot n\text{Ca(OH)}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

Процесс карбонизации протекает очень медленно. Известковые растворы обычно карбонизируются на незначительную глубину – за несколько месяцев не более чем на 5...7 мкм.

Гидросиликатное твердение – происходит во влажных условиях при повышенной температуре и давлении пара. Известь начинает активно взаимодействовать не только с аморфивидным кремнеземом, но и с кристаллическим кварцем, содержащемся в кварцевом песке. Такие условия используются в производстве силикатных изделий (автоклавной обработке). В известково-песчаных смесях при автоклавной обработке образуются гидросиликат. Причем низкоосновные гидросиликаты, обладают высокими клеящими свойствами и является основной причиной сравнительно высокой прочности автоклавированных (запаренных) известково-песчаных изделий.

8.4.6. Свойства воздушной извести и области применения

Плотность извести.

Истинная плотность негашеной извести составляет $3,1 \dots 3,3 \text{ г/см}^3$ в зависимости от температуры обжига, наличия примесей, недожога и пережога.

Истинная плотность гидроксида кальция – $2,08 \dots 2,23 \text{ г/см}^3$.

Средняя плотность комовой негашеной извести в куске зависит от температуры обжига и находится в пределах от $1,6 \text{ г/см}^3$ ($t_{\text{обж}} - 800^\circ\text{C}$) до $2,9 \text{ г/см}^3$ ($t_{\text{обж}} - 1300^\circ\text{C}$).

Насыпная плотность:

молотой негашеной извести в рыхлом состоянии – $900 \dots 1100 \text{ кг/м}^3$, в уплотненном – $1100 \dots 1300 \text{ кг/м}^3$,

гидратной извести (пушонки) в рыхлом состоянии – $400 \dots 500 \text{ кг/м}^3$, в уплотненном – $600 \dots 700 \text{ кг/м}^3$,

известкового теста – $1300 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$.

Пластичность

Известь обладает высокой водоудерживающей способностью, что объясняется присутствием в ней тонкодисперсных частиц гидроксида кальция, на поверхности которых адсорбционно удерживается значительное количество воды, создающее своеобразную смазку зерен и уменьшающее трение между ними. Чем больше удельная поверхность извести (мельче частицы) тем выше пластичность.

Повышенной водоудерживающей способностью обладает гашеная известь.

Объемные изменения.

Объемные изменения возможны при твердении растворов и бетонов, изготовленных на строительной воздушной извести:

- неравномерное изменение объема (наличие в извести пережженных частиц приводит к замедленной гидратации частичек пережога);

- усадка и набухание;

- температурные деформации.

► *Прочность.*

Прочность строительной воздушной извести стандартами не нормируется, поскольку ее прочность (например, извести кипелки и пушонки) невелика и составляет через 28 суток твердения $0,5 \dots 1,0 \text{ МПа}$, а молотой негашеной – несколько больше – до $1,0 \dots 5,0 \text{ МПа}$.

Прочность растворов и бетонов на воздушной извести зависит, прежде всего, от условий твердения. При обычных температурах твердения ($10 \dots 20^\circ\text{C}$) в течение месяца они приобретают относительно невысокую прочность – $0,5 \dots 1,5 \text{ МПа}$.

В тоже время при автоклавном твердении – $30 \dots 40 \text{ МПа}$ и более

Применение воздушной извести. Изготавливают растворы, предназначенные для надземной кладки частей зданий и штукатурок; бетоны низких марок для конструкций, эксплуатируемых в воздушно-сухих условиях; плотные и ячеистые силикатные (автоклавные) изделия, в том числе крупные блоки и панели; легкобетонные камни, теплоизоляционные и другие материалы автоклавного твердения; смешанные гидравлические вяжущие (известково-шлаковые и известково-пуццолановые цементы); известковые красочные составы.

8.5. Жидкое стекло

Жидкое (растворимое) стекло – это водный раствор силиката натрия (натриевой соли кремниевой кислоты).

Сырье для жидкого сырья используют чистый кварцевый песок SiO_2 и кальцинированную соду Na_2CO_3 или сульфат натрия Na_2SO_4 .

Получают жидкое стекло при сплавлении в стекловаренных печах при температуре 1300...1400°C в течение 7...10 час, образующие куски стекла (силикат-глыбы) растворяют паром в автоклавах под давлением 0,6...0,8 МПа и температуре 150°C до сиропообразной консистенции (рис. 8.15).

Состав натриевого жидкого стекла выражается формулой:



Рис. 8.15. Жидкое стекло

Основной качественной характеристикой жидкого стекла является силикатный модуль (отношение SiO_2 / Na_2O). Чем это значение больше, тем выше качество стекла – тем больше в нем коллоидного кремнезема и выше клеящие свойства.

Численное значение модуля может находиться в пределах 2,6...3,4.

Для строительных целей чаще всего используют стекло с модулем 2,6...2,8

при плотности 1,3...1,6 г/см³.

Каловое жидкое стекло - это водный раствор силиката калия.

Вместо соды Na_2CO_3 или сульфата натрия Na_2SO_4 используется поташ (K_2CO_3 – карбонат калия).

Силикатный модуль находится в пределах 3...4.

Калиевое жидкое стекло более дорогое и применяется в основном для изготовления силикатных красок и клеящих составов.

Жидкое стекло (натриевое и калиевое) твердеет медленно – в результате сближения и уплотнения частиц свободного кремнезема при испарении воды и воздействии углекислого газа воздуха.

Начало схватывания наступает не ранее, чем через 30 мин. после затворения и заканчиваться не позднее, чем через 6 час. При добавлении добавки фторсиликата натрия Na_2SiF_6 (кремнефтористый натрий) процесс твердения ускоряется.

В строительстве чаще всего используется натриевое жидкое стекло.

Его применяют при изготовлении кислотоупорных и огнеупорных растворов и бетонов, огнезащитных красок и замазок, стабилизации грунтов и в других целях.

К недостаткам жидкого стекла следует отнести склонность к замерзанию и короткие сроки хранения.

ТЕМА 9. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТВЕРДЕНИЯ

9.1. Общие сведения

Минеральные вяжущие вещества гидравлического твердения при затворении с водой способны образовывать пластичное тесто и затвердевать и набирать прочность не только на воздухе, но и в воде, при этом длительно сохранять свою прочность как в воздушных, так и водных условиях.

К гидравлическим вяжущим относятся: гидравлическая известь, романцемент, портландцементы без добавок, портландцементы с минеральными добавками, пуццолановые цементы, шлаковые цементы, сульфатостойкий портландцемент с добавками и без добавок, композиционный портландцемент, глиноземистый цемент, расширяющиеся цементы и др.

9.2. Гидравлическая известь и романцент

Гидравлическая известь получается умеренным обжигом не спекания (900-1100°C) кальциевых и кальциево-магниевых карбонатных пород при содержании глинистых и тонкодисперсных песчаных примесей в пределах 6...20%. Гидравлическая известь представляет собой порошок (рис. 9.1).



Рис. 9.1 Гидравлическая известь

Основной характеристикой, характеризующей химический состав сырья является модуль основности:

$$\Gamma M = \frac{CaO(\%)}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3(\%)}$$

Это отношение процентного содержания оксида кальция к суммарному содержанию оксидов алюминия, кремния и железа.

Для гидравлической извести модуль основности находится в пределах 1,7.....9,0.

Гидравлическая известь твердеет на воздухе и затем может твердеть во влажной среде или воде.

Производство гидравлической извести принципиально не отличается от производства воздушной извести.

СаО вступает в химическое взаимодействие с составляющими глинистых примесей: кремнезёмом SiO_2 , глинозёмом Al_2O_3 и оксидом железа Fe_2O_3 , образуя при этом силикаты, феррит, алюминаты кальция. Чем больше в извести таких соединений, тем сильнее будут ее гидравлические свойства.

Основные характеристики

Плотность.

Истинная плотность гидравлической извести находится в пределах 2,6...3,0 г/см³, насыпная плотность — 700...800 кг/м³, насыпная плотность в уплотненном состоянии — 1000...1100 кг/м³.

Сроки схватывания.

Начало схватывания — 0,5...2 ч, конец схватывания — 8...16 ч. (зависят от свободного оксида кальция).

Степень дисперсности (в соответствии с ГОСТ 9179)

При просеивании сквозь сита № 02 и 008 остаток на них был не более 1,5 и 15 % .

Прочность (в соответствии с ГОСТ 9179)

Предел прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек из пластичного раствора состава 1:3 комбинированного хранения определяется в возрасте 28 сут (7 сут во влажном воздухе и 21 сут в воде). Предел прочности при изгибе слабогидравлической и сильногидравлической извести в возрасте 28 сут должен быть не менее 0,4 и 1,0 МПа соответственно, а при сжатии – 1,7 и 5 МПа.

По СТБ ЕН 459-1 гидравлическая известь называется «известью с гидравлическими свойствами» (NHL) и делится на три группы.:

- природную (NHL). По прочности на сжатие подразделяется на NHL2 (прочность при сжатии должна составлять 2...7 МПа), NHL3,5 (3,5...10 МПа) и NHL5 (5...15 МПа).

- смешанную (FL2, FL3,5 и FL5), состоящую преимущественно из воздушной извести (CL) и/или природной гидравлической извести (NHL) с добавлением другого гидравлического материала и/или пуццолана.

- гидравлическую (HL2, HL3,5 и HL5), состоящую из извести и других материалов, таких как цемент, доменный шлак, зола-уноса, известняковая мука и др.

Область применения.

Используется как воздушная, но получают более прочностный и водостойкие растворы и бетоны.

Романцент получается умеренным обжигом из природных карбонатно-глинистых пород - мергелей при еще большем содержании примесей (20...40%) и последующем измельчении с добавлением гидравлических добавок до 10...15 % и гипса в количестве до 5 % для регулирования сроков схватывания.

Гидравлический модуль ГМ романцемента находится в пределах 1,1...1,7.

Отсутствие свободной окиси кальция и более высокое содержание в романценте гидравлических соединений существенно отличает его от гидравлической извести: романцент не способен гаситься, а растворы и бетоны из него получают более прочными и водостойкими.

9.3. Портландцемент

Портландцементом называют гидравлический вяжущий материал, твердеющий в воде и на воздухе, получаемый путем совместного тонкого измельчения портландцементного клинкера с гипсом и при необходимости минеральными добавками.

В настоящее время портландцементом называют композиционный материал, получаемый на основе портландцементного клинкера.

По назначению цементы делятся:

- общестроительные (строительстве при массовом изготовлении строительных конструкций);

- специальные (высопрочные, тампонажные и др.).

По прочности на сжатие цементы подразделяют на марки и классы:

Марку на цемент -устанавливают по результатам определения средних арифметических значений при испытании образцов, изготовленных и твердевших в соответствии с действующим стандартом через 28 сут с момента изготовления

M300, M400, M500, M600 (численное значение марки соответствует пределу прочности в МПа :10 или кгс/см²)

Класс цемента - его прочность при сжатии в МПа, гарантированная с 95%-ной доверительной вероятностью (95%-ной обеспеченностью)

Нормируемые классы цемента в соответствии с Европейскими нормами EN 197-1 - 22,5; 32,5; 42,5 и 52,5. Марка цемента M400 примерно соответствует классу 32,5, марка M500 - классу 42,5 и т.д.

Цементы общестроительного назначения делятся по вещественному составу:

CEM I – портландцемент

CEM II – портландцемент с минеральными добавками

CEM III – шлакопортландцемент

CEM IV – пуццолановый цемент

CEM V – композиционный цемент

9.3.1. Получение портландцементного клинкера и портландцемента

Портландцементный клинкер - продукт обжига до спекания сырьевой смеси, химический состав которой обеспечивает в готовом продукте преобладание высокоосновных силикатов кальция.

Клинкер представляет собой зернистый материал (“горошек”), полученный обжигом до спекания (при 1450°C) сырьевой смеси, состоящей в основном из углекислого кальция (известняки различного вида) и алюмосиликатов (глины, мергеля, доменного шлака и др.). Небольшая добавка гипса регулирует сроки схватывания портландцемента.

В качестве сырьевых материалов для получения клинкера применяют известково-карбонатные породы (CaO не менее 40...45%) или материалы техногенного производства и глинистые породы (рис. 9.1):

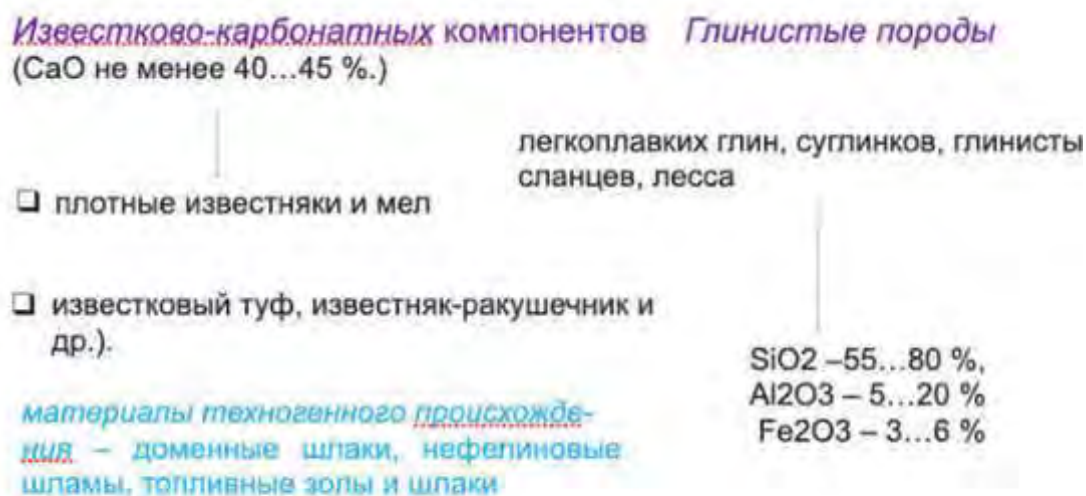


Рис. 9.1. Сырьевые материалы для клинкера

Существует три способа подготовки сырьевых материалов для получения клинкера (рис. 9.2).

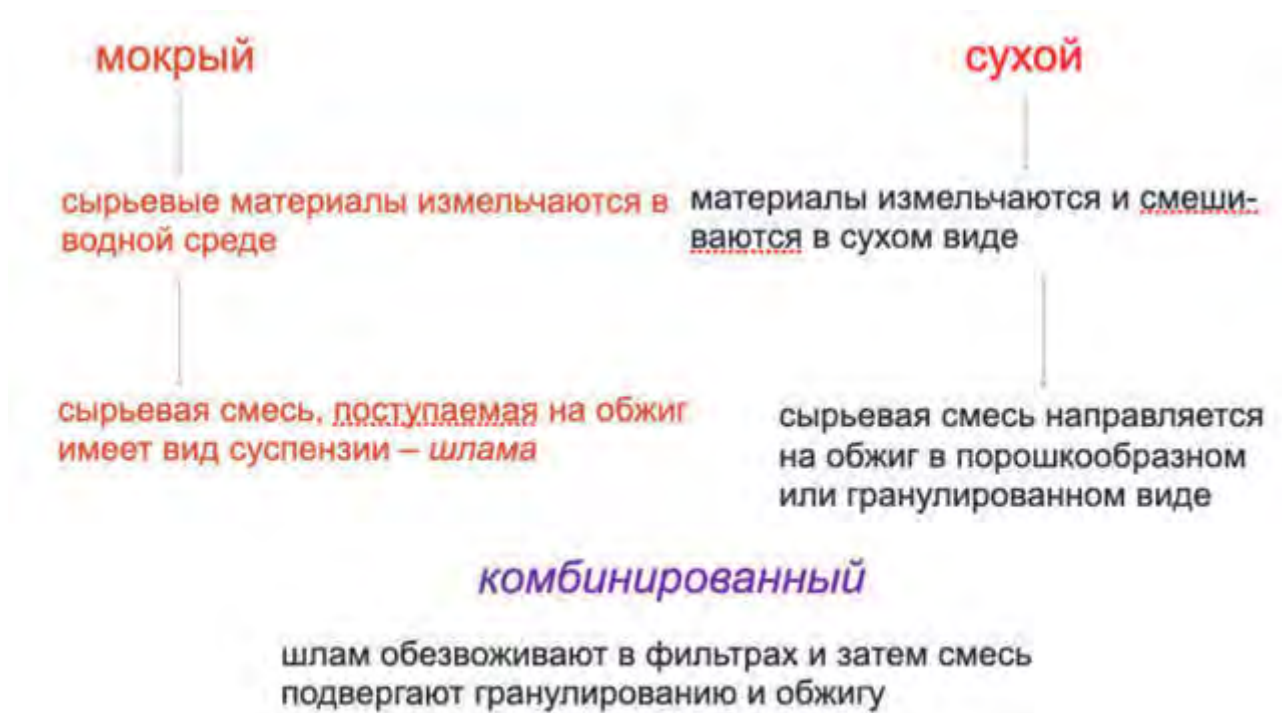


Рис. 9.2. Способы подготовки сырьевых материалов

При мокром способе сырьевые материалы легче размалываются и перемешиваются, однако он имеет определяющий по сравнению с сухим недостаток – больший в 1,5...2 раза расход топлива на обжиг.

Подготовленная сырьевая смесь поступает на обжиг (рис.9.3) в печь. Вращающаяся печь устанавливается на опорные ролики с небольшим уклоном (3...4°) в сторону передвижения обжигаемой смеси и медленно (1...2 об/мин) вращается вокруг продольной оси (рис. (9.3)). Печь работает по принципу противотока.

Из печи выходит продукт, который называется клинкером.



Рис. 9.3. Печь для обжига сырьевой смеси

Клинкер представляет собой твёрдые окатанные гранулы преимущественно размером от 3 до 20 мм в зависимости от состава смеси и типа печи (рис. 9.4).



Рис.9.4. Клинкер и портландцемент

Клинкер выходит из барабана в нижнем конце печи и направляется в холодильник, где охлаждается до 80...100 °С. Охлажденный клинker направляется на помол в шаровые мельницы, куда добавляется добавка гипсового камня и если требуется другие добавки (рис.9.5).



9.5. Получение портландцемента

Портландцемент – продукт тонкого измельчения клинкера с добавкой гипса (3-5%).

В соответствии с ГОСТ 30515 под *цементом* понимается порошкообразный строительный вяжущий материал, который обладает гидравлическими свойствами,

состоит из клинкера и, при необходимости, гипса или других материалов, содержащих в основном сульфат кальция, и минеральных добавок.

Важнейшими минералами портландцементного клинкера являются:

Алит – 3CaSiO_2

Белит – 2CaSiO_2

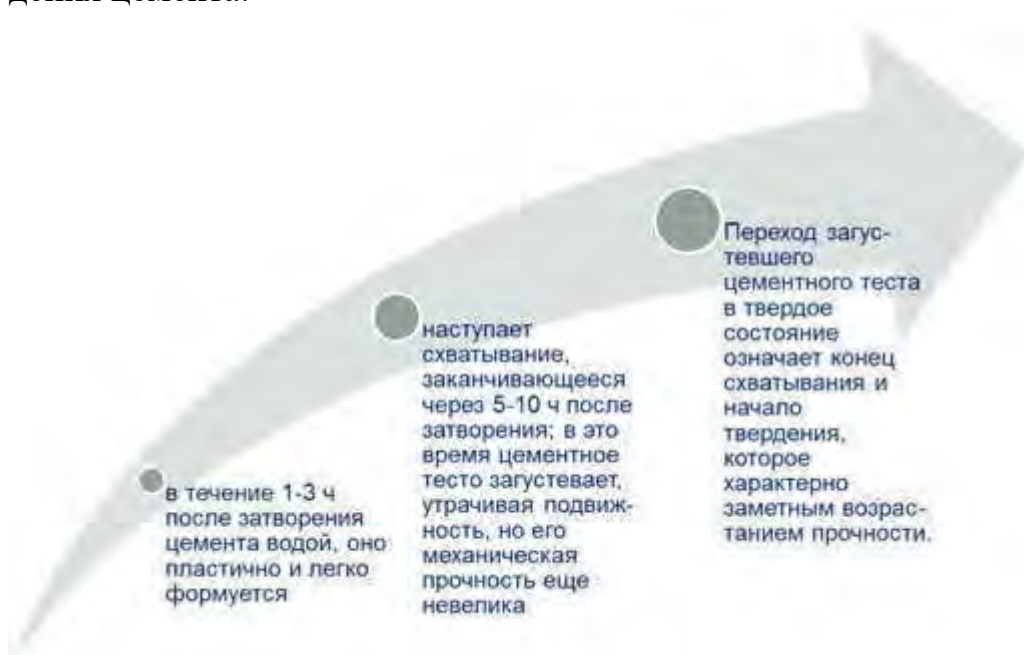
Трехкальцевый алюминат – $3\text{CaAl}_2\text{O}_3$

Четырехкальцевый алюмоферрит – $4\text{CaAl}_2\text{O}_3\text{F}_{12}\text{O}_3$

9.3.2. Твердение цементного теста

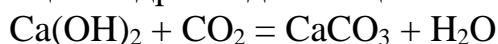
Цементное тесто – однородная пластичная смесь водой.

Цементный камень – материал, образующийся в результате гидратации и твердения цемента.



При затворении цемента водой начинается процесс растворения составляющих клинкера с поверхности зёрен, взаимодействие клинкерных минералов с водой и образование новых гидратных соединений, практически нерастворимых в воде.

При твердении цемента на воздухе цементный камень дополнительно упрочняется в результате карбонизации гидроксида кальция.



Стандартными (нормальными) условиями твердения являются $t = 20^\circ\text{C}$ и влажность окружающего воздуха 90...100 %.

Понижение температуры от 20 до 5 °C замедляет процесс твердения в 2...3 раза.

Все химические реакции взаимодействия клинкерных минералов с водой сопровождаются выделением теплоты.

9.3.3. Строительно-технические свойства портландцемента

Истинная плотность портландцемента без добавок зависит от химического и минерального состава и составляет 3,0...3,2 г/см³. Пуццолановый и шлаковый цементы – 2,7...2,9 г/см³.

Насыпная плотность цемента в рыхлом состоянии составляет 900...1100 кг/м³, в уплотненном состоянии — 1400...1700 кг/м³.

Тонкость помола портландцемента характеризуется по остатку на сите № 008 или № 009 или по удельной поверхности по методу воздухопроницаемости (рис. 9.6). По ГОСТ 10178-85 цемент измельчают до остатка на сите № 008 не более 15 %. Тонкость помола у современных цементов характеризуется остатком на сите 4,5 % и $S_{уд} = 3000...5000$ см²/г.



Рис.9.6. Прибор Блейна (определение удельной поверхности)

Под водопотребностью вяжущего вещества понимают то количество воды, которое необходимо добавить к нему для получения теста стандартной консистенции (нормальной густоты).

Нормальной густотой (стандартной консистенцией) цементного теста считают такую консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в заполненное цементным тестом кольцо, не доходит на (6 ± 1) мм до пластинки, на которой установлено кольцо (рис.9.7). Водопотребность цементного теста колеблется в пределах 24...28 %. Введение активных минеральных добавок осадочного происхождения (диатомита, трепела, опоки) повышает водопотребность и может достигать 32...37 %.



Рис. 9.7. Погружение пестика прибора Вика в цементное тесто

Сроки схватывания цемента определяют на тесте нормальной густоты. Сроки схватывания определяют с помощью прибора Вика путем погружения иглы в тесто нормальной густоты.

Началом схватывания считают время, прошедшее от начала затворения до того момента, когда игла не доходит до пластинки на 1...2 мм.

Начало схватывания цемента должно наступать для класса 32,5 — не ранее 75 мин, для класса 42,5 — не ранее 60 мин, а для класса 52,5 — не ранее 45 мин.

Для регулирования сроков схватывания вводят добавки: замедлители (фосфаты, нитраты калия, натрия и аммония, сахар), ускорители (карбонаты щелочных металлов и хлориды, добавки, являющиеся центрами кристаллизации).

Равномерность изменения объема

По ГОСТ 310.3 испытания проводят на образцах лепешках диаметром 7...8 см, качество которых оценивают путем осмотра их поверхности после кипячения для

выявления искривлений и трещин. По ГОСТ 30744 равномерность изменения объема цемента характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной плотности в кольце Ле Шателье при кипячении (рис. 9.8).



Рис. 9.8. Кольцо Ле Шателье, заполненное цементным тестом



Рис. 9.9. Испытание цементной палочки на изгиб

Прочность.

Активность цемента — это показатель предела прочности при сжатии, достигаемый в возрасте 28 сут нормального твердения (среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний). Марку цемента определяют испытанием стандартных образцов призм размером $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:3 (по массе). Для испытаний применяется стандартный монофракционный песок по ГОСТ 10178-85. Раствор готовят определенной консистенции с количеством воды, необходимым для получения диаметра расплыва конуса на встряхивающем столике и равным 106...115 мм. При этом уплотнение растворной смеси производят на виброплощадке.

Через 28 сут нормального твердения образцы сначала испытывают на изгиб, а затем — на сжатие (рис. 9.9). По ГОСТ 10178-85 порландцементы подразделяются на марки: М400, М500, М550 и М600. У быстротвердеющих портландцементов нормируется не только 28-суточная прочность, но и начальная, трехсуточная.

В соответствии с ГОСТ 31108-2016 по прочности на сжатие в возрасте 28 сут цементы подразделяются на классы: 32,5; 42,5; 52,5. По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут и скорости твердения каждый класс цемента подразделяется на три подкласса: М (медленнотвердеющий), Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий).

9.3.4. Коррозия цементного камня

Коррозия (разрушение) – это совокупность самопроизвольно протекающих процессов, возникающих в результате воздействия внешней среды и приводящих к химическому разрушению цементного камня и бетона.

- Коррозия первого вида.
- Выщелачивание гидроксида кальция. (При выносе 20% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ бетон утрачивает $\approx 25\dots 30\%$ начальной прочности) (рис.9.10).



Рис. 9.10. Выстыл на потолке

- Коррозия второго вида.

Общекислотная, магниезиальная коррозия, под действием минеральных удобрений. К агрессивным средам можно отнести морскую воду, воду солёных озёр,

некоторые промышленные и грунтовые воды, содержащие $MgCl_2$, $MgSO_4$, $NaCl$ и другие соли (рис.9.11.).



Рис.9.11. Коррозия 2 типа

► Коррозия третьего вида объединяет процессы, при которых компоненты цементного камня, вступая во взаимодействие с агрессивной средой, образуют новые соединения, занимающие больший объём, чем исходные продукты реакции.

Одной из разновидностей такой коррозии (наиболее распространенной) является – гипсовая (сульфатная) коррозия. Сульфоалюминатная коррозия возникает при действии на гидроалюминат цементного камня воды, содержащей сульфатные ионы (это вызывает появление внутренних напряжений в цементном камне (бетоне), образование трещин и разрушение).

Борьба с коррозией цементного камня:

- ограничивают содержание трехкальциевого силиката в клинкере до 50%;
- введение активных минеральных добавок и применение плотного бетона;
- выдерживание на воздухе бетонных блоков и свай, применяемых для сооружения оснований, а также портовых и других гидротехнических сооружений повышает их стойкость.

ТЕМА 10. РАЗНОВИДНОСТИ ЦЕМЕНТОВ

10.1 Быстротвердеющий портландцемент

Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ) получают совместным тонким измельчением высокоалитового ($C_3S = 65...75\%$) или среднеалитового ($C_3S = 50...60\%$) портландцементного клинкера. Содержание C_3A ограничено до $5...6\%$. Присутствие активных минеральных добавок в таких цементах ограничивается $5...6\%$. БТЦ имеет удельную поверхность $3500...4000\text{ см}^2/\text{г}$ и в 3-х сточном возрасте достигает $50-55\%$ прочности от 28-суточной. БТЦ выпускают марок М400 и М500.

БТЦ применяется при производстве сборных железобетонных конструкций, при проведении зимних бетонных работ, но не используется в массивных конструкциях из-за повышенного тепловыделения.

10.2. Сульфатостойкий портландцемент

К сульфатостойким портландцементам относятся цементы с нормированным минералогическим составом клинкера. Клинкер сульфатостойкого портландцемента должен содержать: белитовый малоалюминатный цемент при содержании $C_3S < 50\%$ и $C_3A < 5\%$.

Сульфатостойкость цементных растворов и бетонов можно увеличить:

- ▶ Кремнезёмистыми добавками;
- ▶ Изменить микроструктуру клинкера (быстрое охлаждение клинкера);
- ▶ Пропариванием и в особенности автоклавной обработкой;
- ▶ на основе *барийсодержащего клинкера*;
- ▶ при помоле соединений стронция в т.ч. $SrSO_4$ взамен гипса (новый способ).

Применяют для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред.

10.3. Пластифицированный портландцемент

Пластифицированный портландцемент получают совместным помолом клинкера и гидрофильных поверхностно-активных веществ в небольших количествах (например, лигносульфонат технический до $0,25\%$). При использовании классифицирующей добавки можно добиться уменьшения водоцементного отношения, повышении подвижности растворных и бетонных смесей, повышения плотности, морозостойкости и воонепроницаемости бетона. При сохранении водоцементного отношения можно снизить расход цемента примерно на $10...15\%$ без ухудшения качества бетона.

10.4. Гидрофобный портландцемент

Гидрофобный портландцемент получают при введении в небольших количествах в процессе помола гидрофобизирующих добавок (мылонафт, асидол, синтетические жирные кислоты).

Гидрофобные портландцементы пластифицируют бетонные и растворные смеси, повышают морозостойкость и водонепроницаемость бетонов.

10.5. Белый портландцемент

Это гидравлическое вяжущее вещество, которое получают тонким помолом белого клинкера, содержащего незначительное количество окиси железа (до 0,3...0,45 %). В таком клинкере почти отсутствует C_4AF (до 1 %). При помоле клинкера допускается введение гидравлической (до 15 %) или инертной (до 10 %) добавки и гипса для регулирования сроков схватывания (не более 3 % в пересчете на SO_3). Одной из основных технических характеристик является белизна. Сырьем для производства клинкера белого портландцемента служат материалы, отличающиеся высокой степенью белизны: чистый известняк или мел, каолины.

10.6. Цветные цементы

Цветным портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным измельчением клинкера белого портландцемента и гидравлических добавок с минеральным пигментом, придающим цементу определенный цвет.

10.7. Дорожный портландцемент

Дорожный портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением клинкера, содержащего $C_3A < 8$ %. При помоле допускается добавка к клинкеру гипса в количестве до 3 % в пересчете на SO_3 .

По ГОСТ 10178-85 портландцемент для дорожных и аэродромных покрытий изготавливается из клинкера нормированного минерального состава с содержанием C_3A до 8 %, марками по прочности М400 и М500, без добавок или с доменным гранулированным шлаком в количестве не более 15 %.

Дорожный портландцемент отличается повышенной морозостойкостью, стойкостью против истирающих и ударных воздействий и достаточно высоким пределом прочности при изгибе. Применяется дорожный портландцемент для цементобетонных покрытий автомобильных дорог, а также для изготовления тротуарных плит и бортовых камней.

10.8. Пуццолановый портландцемент

Пуццолановый портландцемент изготавливается путем совместного помола из портландцементного клинкера, активных минеральных гидравлических добавок осадочного происхождения (20...30 %) или вулканического происхождения (25...40 %), зол от сжигания пылевидного топлива (15...30 %) и гипс в количестве, не превышающем 4 % в пересчете на SO₃.

По химическому составу активные минеральные добавки разделяются на:

- активные кремнеземистые добавки, к которым относятся опоки, трепелы, диатомиты, отходы химических заводов;
- активные алюмосиликатные добавки, к которым относятся добавки вулканического происхождения, золы, шлаки, легкие заполнители, кирпичный бой;
- активные кальцево-алюмосиликатные добавки, к которым относятся металлургические шлаки, электротермофосфорные шлаки, золы от сжигания горючих сланцев, торфа и углей.

Обладает небольшим тепловыделением. Имеет низкую морозостойкость. Выдерживают 25...50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Истинная плотность этого цемента составляет 2,7...2,9 г/см³. Водо-потребность пуццолановых портландцементов выше, чем обычного портландцемента из-за присутствия минеральных добавок, особенно осадочного происхождения (диатомитом, трепелом или опокой).

10.9. Шлакопортландцемент

Шлакопортландцемент получается совместным тонким измельчением клинкера, требуемого количества гипса и доменного гранулированного шлака или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных отдельно.

Шлакопортландцемент, в сравнении с портландцементом, характеризуется замедленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, увеличением усадки, повышенной коррозионной стойкостью, морозостойкостью. Тепловыделение в 2-2,5 раза меньше, чем у обычного цемента. Повышенное по сравнению с портландцементом усадочные деформации затвердевшего камня при его увлажнении и высыхании и др. объясняются содержанием низкоосновных гидросиликатов кальция, образующиеся в высокодисперсном гелевидном состоянии.

Истинная плотность шлакопортландцемента колеблется в пределах 2,8...3 г/см³, уменьшаясь с увеличением содержания в цементе гранулированного доменного шлака. Плотность в рыхлонасыпном состоянии 900...1200 кг/м³, а в уплотненном — 1400...1700 кг/м³. Водопотребность составляет 23...25 %.

10.9.1. Известково-шлаковые

Известково-шлаковое вяжущее получают совместным помолом гранулированных доменных шлаков с гашеной и негашеной известью и 3...5 % двуводного гипса. Обычно применяемое соотношение компонентов по весу: гранулированный шлак 75...85 %, известь 10...20 %, гипс 5 %.

10.9.2. Гипсо-шлаковые и сульфатно-шлаковые цементы

Гипсо-шлаковый и сульфатно-шлаковый цементы получают при совместном помоле гранулированных доменных шлаков (80...85 %) с двуводным гипсом или ангидритом (10...15 %) и портландцементом (3...5 %). Иногда портландцемент заменяется известью (2...3 %).

Шлаковый бесклинкерный цемент получается при совместном помоле гранулированных шлаков (85 %), ангидрита (7...8 %) и каустического доломита (5...7 %).

10.10. Глинозёмистый цемент

Глинозёмистый цемент — быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, получаемое измельчением обожженной до плавления (или спекания) сырьевой смеси, которая состоит из известняка и бокситов с преобладанием в готовом продукте низкоосновных алюминатов кальция.

Сырьем для глинозёмистого цемента служат бокситы и известняки. Глинозёмистый цемент твердеет при температурах не выше 25 °С, поэтому данный цемент нельзя использовать для массивных конструкций. Глинозёмистый цемент быстро твердеет, но не быстро схватывается.

Химический состав глинозёмистого цемента: Al_2O_3 – 30...50 %, CaO – 35...45 %, SiO_2 – 5...15 %, Fe_2O_3 – 5...15 %.

Минералогический состав цемента может существенно меняться в зависимости от химического состава сырьевой смеси и способа производства.

Основными минералами глинозёмистого цемента являются $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (СА), $5\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_5A_3), $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (CA_2).

Глинозёмистые цементы, содержащие $\text{CaO} > 40$ %, являются высокоизвестковыми и содержат в своем составе, помимо СА, также и C_5A_3 . Существуют два способа производства глинозёмистого цемента: спекание и плавление. При производстве по способу спекания тонкоизмельченная смесь боксита и известняка обжигается при температуре 1150...1250 °С во вращающихся, шахтных, кольцевых, камерных, туннельных печах, на спекательной решетке с дальнейшим помолом полученного продукта. Для данного способа требуется применять чистые сырьевые материалы (кремнезема (до 8 %) и оксида железа (до 10 %)), поэтому этот способ не получил широкого распространения.

При получении глинозёмистого цемента методом плавления можно использовать сырье с большим количеством примесей и менее тонко размалывать сырьевую смесь. Глинозёмистый цемент по этому способу получают плавлением в вагранках,

электрических, доменных печах, а также в конвертерах и с последующим дроблением и измельчением шлака. Глиноземистый цемент измельчается до прохождения сквозь сито № 008 не менее 90 % подвергаемой просеиванию пробы (ГОСТ 969-91).

Глиноземистый цемент – начало его схватывания должно наступать не ранее 30 мин, а конец не позднее 12 ч.

Для ускорения сроков схватывания используют добавки гидрата окиси кальция, гидрата окиси натрия, сульфатов кальция, натрия и железа, карбонатов натрия, серной кислоты

Замедляют схватывание добавка хлористых натрия, калия и бария, азотно-кислого и уксуснокислого натрия, соляной кислоты, буры.

Добавка 10...20 % гранулированного шлака не снижает прочности глиноземистого цемента. При добавке большего количества шлака получается шлаковый глиноземистый цемент, также быстротвердеющий, но дающий меньшую прочность.

При твердении глиноземистого цемента в короткий промежуток времени выделяется большое количество тепла. Поэтому рациональнее использовать зимой и ведут укладки небольшими объемами.

Плотность глиноземистого цемента — $3,1...3,3$ г/см³, плотность в рыхлонасыпном состоянии — $1000...1300$ кг/м³, в уплотненном – $1600...1800$ кг/м³. Водопотребность составляет 24...28 %. По ГОСТ 969-91 вяжущее должно характеризоваться равномерным изменением объема при испытании образцов кипячением и в парах воды.

Начало схватывания теста должно наступать не ранее 30 мин, а конец – не позднее 12 ч. Обычно начало и конец схватывания наступают через 1...1,5 и 4...6 ч соответственно. При необходимости замедлить схватывание применяют хлористые натрия и кальций, буру и др.

Марки глиноземистого цемента: М400, М500 и М600.

Бетон на глиноземистом цементе более плотный и водонепроницаемый, чем на портландцементе, отличается также большей стойкостью в кислых и других минерализованных водах по сравнению с портландцементом.

10.11. Вяжущие низкой водопотребности

Получают путем интенсивной механохимической обработки портландцемента или смеси портландцемента с минеральной добавкой в присутствии порошкообразного суперпластификатора. Вяжущие низкой водопотребности имеют высокую дисперсность $S_{уд} = 4000...5000$ см²/г, обладают низкой водопотребностью (16...20 %), прочность достигает до 100 МПа.

По вещественному составу вяжущие низкой водопотребности бывают чистоклинкерные (ВНВ-100) и многокомпонентные, содержащие различные активные (гранулированные доменные шлаки, зола-унос) и инертные (кварцевый песок, хвосты горно-обогатительных комбинатов) минеральные добавки.

ТЕМА 11. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

11.1. Общие сведения

Бетон (от фр. *beton*) и *строительный раствор* – искусственные композиционные каменные материалы, способные на стадии пластического состояния формироваться и затвердевать.

Получают бетоны и растворы из смеси вяжущего вещества, затворителя (в основном воды), заполнителей и специальных добавок (рисунок 11.1) в определенных пропорциях, тщательно перемешанной и уплотненной.

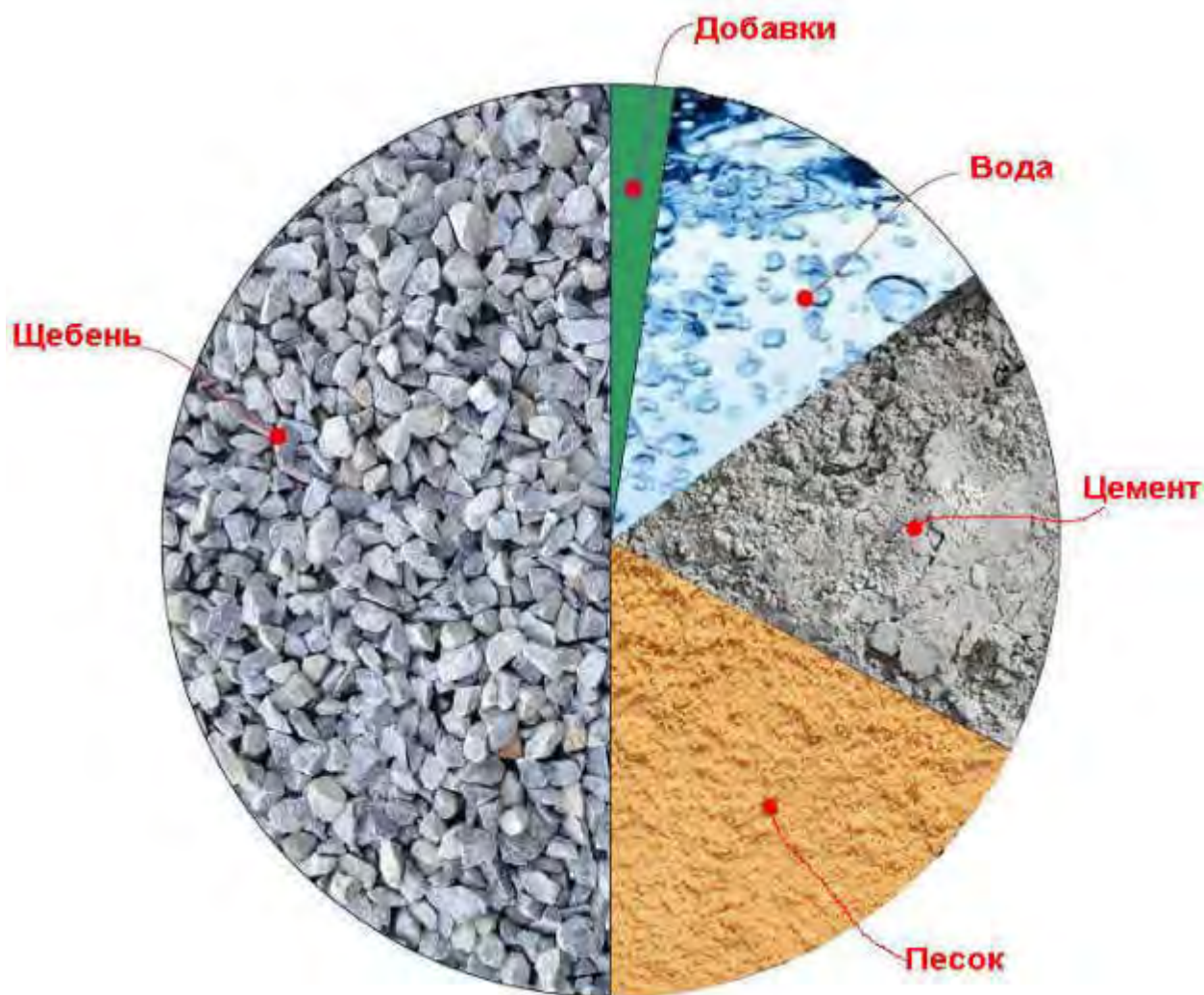


Рис. 11.1. Состав бетона

Характерными свойствами бетона являются высокая сопротивляемость сжимающим нагрузкам и низкая растягивающим. Для повышения сопротивляемости растяжению в бетонные конструкции укладывают арматуру, которая в основном воспринимает растягивающие усилия.

Строительный раствор отличается от бетона не только меньшей крупностью заполнителя, но и по целому ряду других показателей.

Вяжущие вещества минерального происхождения (как одну из составляющих бетонов и растворов) были рассмотрены ранее в темах 8 и 9.

11.2. Затворитель (вода)

Основным затворителем бетонных и растворных смесей является **вода**, а для составов на магнезиальных вяжущих – водные растворы солей.

В технологии бетонных и железобетонных работ на изготовление 1 м³ цементного бетона требуется от 500 до 1000 литров воды. Вода необходима для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки твердеющего бетона и промывки заполнителей и оборудования (бетоносмесителей и др.).

Вода не должна содержать вредных примесей в количествах, нарушающих нормальный процесс схватывания и твердения вяжущего вещества и вызывающих коррозию стальной арматуры, либо вызывающих появление в структуре бетона новообразований, уменьшающих его прочность и долговечность. Чаще всего для этих целей используют водопроводную питьевую воду, а также воду, имеющую водородный показатель pH в пределах от 4 до 12,5, т.е. не кислую и не окрашивающую лакмусовую бумагу в красный цвет.

Вредными примесями в воде считаются органические вещества, растворимые соли, в особенности, содержащие ионы SO_4^{2-} и Cl^{1-} , а также взвешенные частицы глины, пыли, песка, почвы и др.

Органические вещества, как например, сахар, фенолы, растительные масла, жиры замедляют процесс твердения цемента и тем самым понижают прочность бетона. При большом содержании сахаров процесс схватывания и твердения цементного камня может сдвинуться на неопределенный срок. Примеси нефтепродуктов, масел, жиров могут осаждаться на поверхности цементных зерен или зерен заполнителя. В результате они либо замедляют процесс гидратации цемента, либо препятствуют прочному сцеплению цементного камня с заполнителем и тем самым понижают прочность бетона.

Наличие в воде растворимых солей (сульфат-ионов, ионов хлора и др.) может вызывать неконтролируемое изменение сроков схватывания, скорости твердения бетона, а также коррозию цементного камня и стальной арматуры. Кроме того, они могут кристаллизоваться в порах цементного камня и образовывать на поверхности изделий, так называемые высолы, портящие внешний вид фасадов зданий. По этой же причине нельзя применять и воду, содержащую окрашивающие примеси.

Нельзя применять болотные и сточные воды (бытовые и промышленные) без их предварительной очистки. Кроме того, на использование сточных вод необходимо получать разрешение санэпидстанции.

Пригодность воды для бетона устанавливается, как правило, химическим анализом либо испытанием прочности бетонных образцов, изготовленных на испытываемой воде и на чистой питьевой. Вода считается пригодной для бетона, если приготовленные на ней образцы показали прочность не меньшую, чем на чистой питьевой воде.

11.3. Заполнители

Под **заполнителем** для бетона (раствора) понимается рыхлая смесь зёрен минерального или органического происхождения, размеры которых находятся в определённых пределах.

Назначение заполнителей в бетонах и растворах:

- занимают до 80% объема в бетоне, следовательно, позволяют сократить расход цемента (вяжущих), как наиболее дорогого составляющего;
- создают в бетоне жесткий скелет, воспринимающий усадочные напряжения цементного камня (усадка бетона в 10 раз меньше усадки цементного камня 2 мм/м);
- жесткий скелет из высокопрочного заполнителя увеличивает прочность и повышает модуль упругости бетона, снижает ползучесть;
- легкие пористые заполнители уменьшают среднюю плотность и теплопроводность;
- специальные особо тяжелые заполнители (чугунная дробь, железная руда и др.) придают бетону защитные свойства от радиоактивного излучения.

В зависимости от их **размера зёрен** различают:

- мелкие (с крупностью зёрен 0,16...5 мм – пески),
- крупные (с крупностью зёрен 5...70 мм и более – гравий и щебень).

По **происхождению** различают заполнители:

- природные – из минерального сырья, подвергшегося только механической обработке (гравий, щебень);
- искусственные – минерального происхождения, полученные в результате промышленной переработки, включая термическую или другое воздействие;
- побочный продукт – заполнитель минерального происхождения, полученный из отходов промышленной переработки и впоследствии подвергшийся только механической обработке (металлургические и топливные шлаки и золы);

– повторно используемые – полученные путём переработки неорганического материала, ранее используемого в строительстве.

По **насыпной плотности** различают заполнители:

– плотные (из плотных горных пород) – с насыпной плотностью более 1200 кг/м^3 и плотностью зерен от 2,0 до $2,8 \text{ г/см}^3$;

– пористые (природные и искусственные) – с насыпной плотность от 150 до 1200 кг/м^3 или с плотностью зерен в сухом состоянии не более 2 г/см^3 .

К **плотным** заполнителям относят природные песок, гравий и щебень.

Песок определяется как природный неорганический сыпучий материал с крупностью зерен до 5 мм, но как заполнитель для бетона – от 0,16 до 5 мм.

Образовался песок в результате естественного разрушения (выветривания) скальных горных пород и получаемый при разработке валунно-гравийно-песчаных, песчано-гравийных и песчаных месторождений без использования или с использованием специального обогащительного оборудования.

Пески подразделяются на природные (добываемые в месторождениях обломочных горных пород) и дробленые, получаемые дроблением каменных горных пород.

По виду добычи различают:

- карьерный;
- речной;
- морской.

Различают песок, обогащенный и фракционированный.

Обогащенным считается песок с улучшенным зерновым составом и меньшим содержанием пылевидных и глинистых частиц, полученный с использованием специального оборудования.

Фракционированный песок получают разделением на две и более фракции с использованием специального оборудования.

Крупный заполнитель по форме и характеру поверхности подразделяют на гравий и щебень.

Гравием (от франц. gravier – крупный песок) называют обломки каменных горных пород с разной степенью окатанности, крупностью от 5 (3 или 4) мм до 70 мм и более (рисунок 11.2).

Гравий имеет **округлую и гладкую** (гравелистую) форму, образовавшуюся естественным путем, т. е. это осадочная горная порода.

Преобладающими породами, из которых состоят зерна гравия, являются граниты, диабазы, гнейсы, песчаники, известняки и др.

Гравий может быть:

- горным (овражным) – имеет шероховатую поверхность и содержит обычно примеси песка, глины, пыли и органических веществ.
- речным и морским – чище горного, но зато с гладкой поверхностью, что ухудшает сцепление с цементным камнем.

В качестве заполнителя для бетона гравий чаще всего получают рассевом природных песчано-гравийных смесей (ПГС).

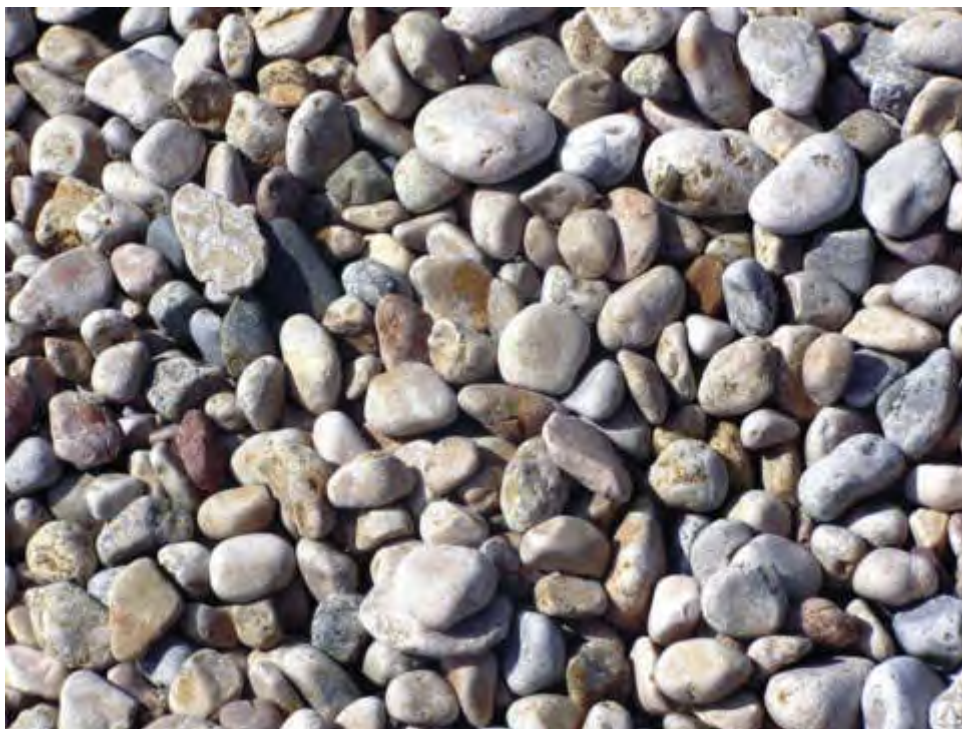


Рис. 11.2. Гравий природный

Щебень имеет размер зерен от 5 до 70 мм произвольной, преимущественно угловатой (остроугольной) формы и шероховатой поверхности (рисунок 11.3).

Получают щебень в процессе дробления каменных горных пород (чаще изверженных и осадочных) либо в ходе переработки отходов промышленности с последующим рассевом продуктов дробления по фракциям, т. е. промышленным путем. Для производства щебня используются также булыжный камень, валуны и другие крупные обломки горных пород.



Рис. 11.3. Щебень гранитный фр. 20-40 мм

Пористые природные заполнители для легких бетонов получают из разнообразных пористых горных пород вулканического (пемза, вулканические шлаки, туфы и туфовые лавы) и осадочного (пористые известняки и ракушечники) происхождения, а также из попутно добываемых пород и отходов горно-обогатительных предприятий. Плотность таких заполнителей составляет от 300 до 1400 кг/м³ песка и до 1200 кг/м³ – щебня.

Побочными продуктами для получения заполнителей являются металлургические, доменные и топливные шлаки, золы, древесные и другие отходы промышленности.

Искусственные пористые заполнители получают из минерального сырья в результате промышленной переработки, включая термическое или иное воздействие.

Таковыми заполнителями для легких бетонов являются: керамзит (гравий, песок), аглопорит (щебень, песок) (см. тему 4), вспученные перлит и вермикулит (рисунок 11.4), шлаковая пемза и многие другие.

Гравий керамзитовый выпускается фракций 20...40, 10...20, 5...10 мм и мельче (песок) плотностью от 150 до 1000 кг/м³, насыпная плотность щебня аглопоритового – 700...1100 кг/м³.

Вспученный перлит получают термической обработкой при температуре 1000...1200 °С предварительно дробленной горной породы перлита содержащей в составе более 2 % связанной воды.

При термической обработке зерна перлита размягчаются, а выделяющиеся пары ранее связанной воды вспучивают их. Коэффициент вспучивания составляет 10...12 и более.

В результате получают легкий сыпучий материал (песок и щебень) с насыпной плотностью от 100 до 500 кг/м³.

Вспученный вермикулит получают термической обработкой при температуре до 750 °С предварительно дробленной горной породы вермикулита (разновидность слюды) содержащей в составе от 8 до 18 % связанной воды. В результате вермикулит вспучивается, увеличиваясь в объеме в 15...20 раз и более.

Получается сыпучий пористый материал золотисто-жёлтого цвета с насыпной плотностью 100...300 кг/м³.



Рис. 11.4. Вспученные перлит и вермикулит

Свойства заполнителей. Наиболее существенное влияние на свойства бетона оказывают такие показатели качества заполнителей как:

- плотность – насыпная, зерен заполнителя, истинная;
- пористость – по разности истинной плотности и плотности зерен;
- зерновой состав – группы песка по крупности или фракции крупного заполнителя;
- форма зерен – определяется отношением длина/ширина (лещадные), длина/толщина (пластинчатые); длина/ширина/толщина (кубовидные)
- шероховатость поверхности – гладкая (гравий) – лучшая удобоукладываемость или шероховатая (щебень) – лучшее сцепление с цементным камнем;
- прочность – по прочности исходной горной породы, косвенно – по дробимости (для плотных) или по прочности по сдавливанию в цилиндре (для пористых);
- содержание примесей – пылевидных и глинистых частиц, органических примесей.

Насыпная плотность различных видов заполнителей, наиболее широко применяемых в строительстве, колеблется в довольно широких пределах и составляет: для природных **тяжёлых** (гравия и песка) – 1500...1700 кг/м³, для **пористых** заполнителей насыпная плотность составляет: керамзита – 300...700 кг/м³; аглопорита – 700...900 кг/м³; перлита – 120...200 кг/м³; вермикулита – 80...150 кг/м³.

Насыпная плотность является важной характеристикой заполнителя, от ее значения зависит плотность бетона и раствора. Особенно это касается легких заполнителей, применяемых в легких бетонах и растворах. Легкость – их главное достоинство. Поэтому легкие заполнители маркируются по насыпной плотности.

Зерновой состав заполнителя характеризуется содержанием в нем зерен различной крупности (фракций). Определяется просеиванием пробы заполнителя через стандартные сита.

Оптимальным для бетона является такой зерновой состав, у которого и пустотность и удельная поверхность стремятся к минимуму. А это возможно лишь при строго определенном содержании в объеме заполнителя зерен разных фракций. При этом удельная поверхность заполнителя тем меньше, чем больше крупность его зерен.

Для уменьшения пустотности заполнителя в его состав наряду с крупными зернами необходимо вводить и зерна меньших размеров, чтобы они заполняли промежутки между более крупными зернами. А это соответственно увеличивает удельную поверхность заполнителя. Следовательно, необходимо находить оптимальное соотношение между крупностью зерен и их количественным содержанием.

Определяется зерновой состав по результатам просеивания просушенной пробы мелкого и крупного заполнителей через стандартные (контрольные) сита с разными диаметрами отверстий (70; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм).

Заполнитель, зерна которого имеют размеры в пределах определённого диапазона контрольных сит (т.е. находятся в пределах размеров отверстий двух соседних сит), называют **фракцией** (0,16...0,315; 0,315...0,63; 0,63...1,25 и т.д.).

По результатам просеивания устанавливают частные и полные остатки на ситах в процентах, а также модуль крупности мелкого заполнителя.

Сначала вычисляют частный остаток a_i на каждом сите (%), как отношение массы остатка на данном сите m_i к массе просеиваемой пробы m .

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100\%,$$

Полные остатки рассчитывают, как сумму частных на данном сите и всех вышележащих (с более крупными отверстиями) ситах – тоже в процентах.

Затем полные остатки сравнивают со стандартными требованиями в графической (рисунок 11.5) или табличной форме.

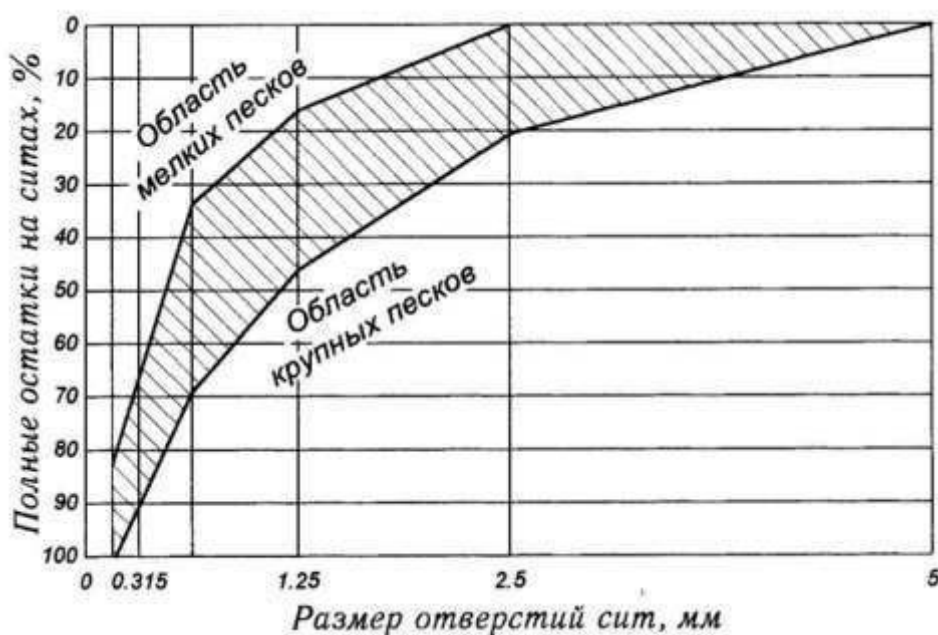


Рис. 11.5. Зерновой состав песка

Для оценки крупности песка применяют безразмерный показатель – модуль крупности.

Модуль крупности M_K (величина безразмерная, условная) устанавливают только для мелкого заполнителя и определяют, как отношение суммы полных остатков на ситах с размером отверстий 0,16...2,5 мм ко всей пробе, принятой за 100%.

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}$$

Чем больше M_K тем крупнее мелкий заполнитель (песок), т. е. тем больше в нем зёрен крупных фракций.

Песок в зависимости от модуля крупности M_K делится на группы:

- повышенной крупности – 3,0...3,5;
- крупный – 2,5...3,0;
- средний – 2,0...2,5;
- мелкий – 1,5...2,0
- очень мелкий – 1,0...1,5.

От модуля крупности зависят расходы воды и вяжущего в растворах и бетонах. Чем меньше значение модуля крупности, тем выше водопотребность смеси.

В строительной практике принято: для бетонов применять пески с M_K – не менее 2,0, а для строительных растворов – не менее 1,2.

Основными фракциями крупного заполнителя, считаются следующие: 5–10, 10–20, 20–40, 40–70 и 70–120 мм.

Для определения зернового состава крупного заполнителя отбирают пробу, масса которой зависит от наибольшего номинального размера зерен D , мм.

Пробу просеивают через сита с отверстиями, соответствующими номинальным размерам зерен.

Устанавливают наибольший D и наименьший d размер зерна.

Наибольший размер зерна D численно равен диаметру отверстий того сита, на котором полный остаток составляет не более 10 %.

Наименьший размер зерна d численно равен диаметру отверстий того сита, на котором полный остаток наибольший и составляет не менее 95 %.

По данным рассева делают вывод о соответствии щебня (гравия) стандартным требованиям по зерновому составу и его пригодности для изготовления бетона.

Форма зёрен заполнителя оценивается, как правило, соотношением их размеров, т. е. содержанием в крупном заполнителе зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. Лучшими считаются заполнители с округлой или кубовидной формой зёрен (рисунок 11.6).

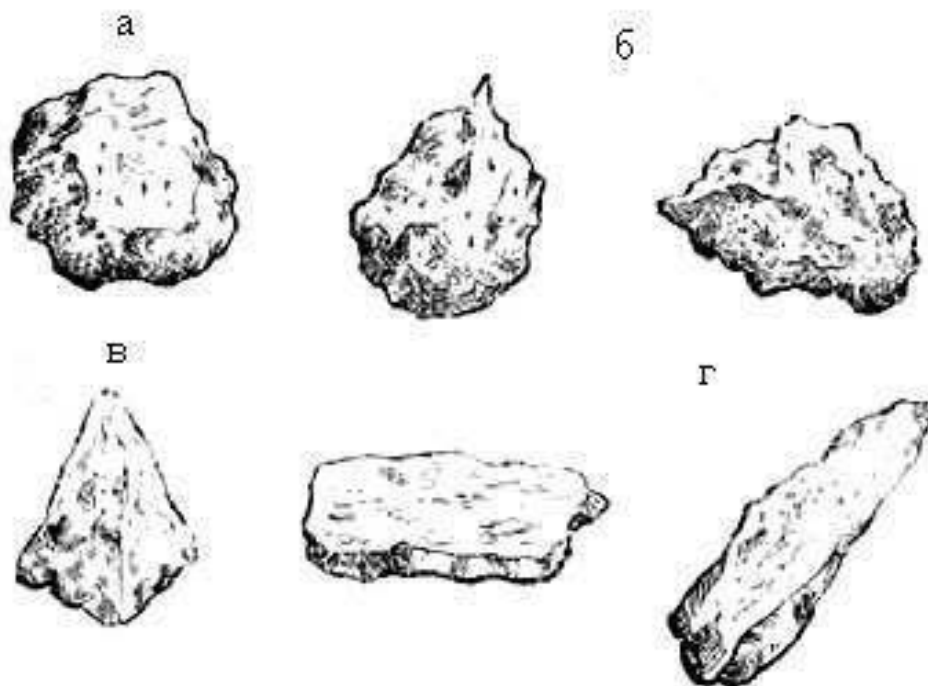


Рис. 11.6. Форма зерен щебня: а – кубовидная; б – остроугольная; в – клиновидная; г – лещадная

Удлиненные (игловатые) или пластинчатые (лещадные) зерна, толщина или ширина которых меньше длины в 3 раза и более, укладываются в бетоне чаще всего в строго ориентированном положении (горизонтальном), что делает структуру бетона неоднородной, а его свойства неодинаковыми в разных направлениях. Кроме

того, межзерновая пустотность заполнителя с такой формой зёрен тоже увеличивается, что требует большего расхода цемента.

Содержание зёрен лещадной и игловатой формы ограничивается стандартами. Для получения бетона высокого качества содержание их не должно превышать 15...35% в зависимости от класса бетона.

Характер поверхности заполнителя тоже оказывает существенное влияние на свойства бетонной (растворной) смеси и затвердевшего бетона.

Бетонные смеси, приготовленные на заполнителях, имеющих гладкую поверхность, например, гравии, обладают лучшей удобоукладываемостью, чем такие же смеси, приготовленные на заполнителях с шероховатой поверхностью (щебне).

В то же время прочность бетонов на заполнителях с более развитой и шероховатой поверхностью, при прочих равных условиях, всегда выше, чем у бетонов на гравии. Объясняется это большей площадью и качеством сцепления «шероховатого» заполнителя с цементным камнем.

Прочность заполнителей влияет на прочность бетона. Известно, что прочность бетона на сжатие не может превышать прочность его заполнителя. Однако определить фактическую прочность заполнителя при сжатии является весьма трудновыполнимо. Необходимые характеристики прочности заполнителя получают, как правило, косвенным путем.

Зависит прочность заполнителей от их плотности, структуры, других факторов и устанавливается, как правило, только для крупных заполнителей. Объясняется это тем, что прочность обычных кварцевых песков заведомо выше прочности бетона. Считается, что прочность заполнителей должна быть в 1,5...2 и более раза выше прочности бетона.

Методика определения прочности заполнителей различная для разных заполнителей и изложена в соответствующих нормативных документах, в том числе для лёгких заполнителей.

Например, прочность гравия характеризуется маркой, определяемой по дробимости при испытании на сжатие в стальном цилиндре.

Чем слабее гравий, тем больше будет после испытаний раздробленных зёрен. Испытываемую пробу гравия затем просеивают через сито с размером отверстий 5 мм и определяют показатель дробимости.

Показатель дробимости равен отношению содержания раздробленных зёрен к общей массе пробы и выражается в процентах. По дробимости гравий подразделяется на марки от Др8 до Др24. Чем больше число в обозначении марки, тем слабее гравий и применять его следует для более низких классов бетона, т. е. меньшей прочности.

Прочность пористых заполнителей оценивается, как правило, сдавливанием их в цилиндре по нагрузке, соответствующей погружению пуансона на определенную глубину (20 мм) в слой испытываемой пробы заполнителя.

Можно оценивать качество заполнителя и непосредственным испытанием его в бетоне.

Чистота заполнителя оценивается по содержанию в нем вредных примесей: пылевидных, глинистых, органических, различных химических соединений. Содержание их в заполнителях тоже ограничивается стандартами.

Например, пылевидные ($< 0,16$ мм) и особенно глинистые примеси ($< 0,063$ мм) создают на поверхности зёрен заполнителя плёнку, препятствующую сцеплению их с цементным камнем. А также повышают водопотребность бетонной смеси и расход цемента, понижают прочность и морозостойкость бетона. Содержание их в заполнителе в зависимости от вида не должно превышать 1...3 %.

Другие примеси могут вступать во взаимодействие с вяжущим веществом и образовывать соединения, понижающие прочность бетона, или вызывать коррозию бетона и арматуры.

11.4. Армирующие материалы

Известно, что бетон – это искусственный камень и его прочность на растяжение примерно в 10...15 раз меньше, чем на сжатие, т.е. бетон на растяжение и изгиб работает плохо. Он разрушится от разрыва в растянутой зоне при небольших нагрузках задолго до исчерпания прочности сжатой зоны.

А если в растянутую зону ввести стальную арматуру (прочность на растяжение, которой в сотни раз выше, чем у бетона) и обеспечить ее надежное сцепление с бетоном, то после образования трещин арматура возьмет на себя все растягивающие усилия, оставив бетону только сжимающие усилия.

Сталь имеет высокое сопротивление сжатию и адекватное сопротивление растяжению. Следовательно, резонно в сжатых элементах использовать бетон, а в растянутых – металлическую арматуру.

Под арматурой понимают изделия из стали круглого или близкого к круглому сечения, применяемые для армирования бетона.

Строительную арматуру классифицируют по ряду признаков (рисунок 11.7)



Рис. 11.7. Классификация арматуры

В зависимости от **назначения** различают рабочую и монтажную (конструктивную) арматуру. Рабочую арматуру устанавливают по расчёту для восприятия растягивающих усилий, монтажную – по конструктивным и технологическим соображениям. Она обеспечивает проектное положение рабочей арматуры в конструкции и более равномерно распределяет усилия между отдельными стержнями рабочей арматуры. Кроме того, монтажная арматура воспринимает и не учитываемые расчётом усилия от усадки бетона, изменения температуры, влажности и т. п.

Арматура в железобетонных конструкциях устанавливается с целью:

- восприятия растягивающих напряжений,
- усиления сжатой зоны изгибаемых и сжатых элементов,
- для восприятия усадочных и температурных напряжений.

Рабочую и монтажную арматуру объединяют в арматурные изделия (сетки, каркасы).

Армирование бетона производится с помощью различных материалов – стержневой и проволочной арматуры, канатов, сеток, каркасов (рисунок 11.8), фибры и др.

Арматура может быть металлическая (стальная) и неметаллическая.

Преимущественно в строительстве применяется стальная арматура.

Получают ее из специальной арматурной стали – углеродистой и низколегированной.

Арматурные стали должны обладать пластичностью, свариваемостью, прочностью, сопротивлением хладноломкости и красноломкости.

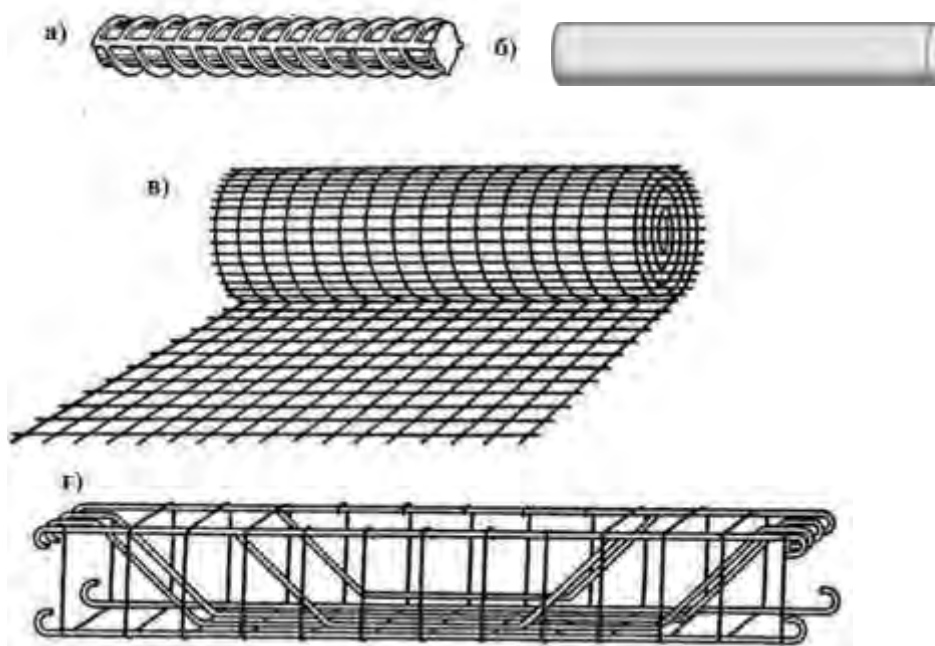


Рис. 8.2.8. Арматура: а – стержневая периодического профиля, б – стержневая гладкая, в – сетка, г – пространственный каркас

Стержневая арматура изготавливается путем проката. Она поставляется в мотках, прутках, или бунтах.

В зависимости от формы поверхности, выделяются такие виды арматуры, как гладкая и периодического профиля. Арматура периодического профиля имеет ребристую поверхность для лучшего сцепления с бетоном.

По механическим свойствам арматура подразделяется на классы прочности: ненапрягаемая – S240, S400, S500 (СТБ 1704);

и для предварительно напряжённых конструкций – S800, S1200 и S1400(СТБ 1706).

Класс арматуры – установленное стандартом значение физического или условного предела текучести. Обозначается буквой «S» и числом соответствующему нормативному сопротивлению растяжению в МПа ($\text{H}/\text{мм}^2$).

Предел текучести – это напряжение, при котором начинает развиваться пластическая деформация.

Проволочную арматуру в зависимости от механических свойств выпускают обыкновенную и высокопрочную, а по форме поверхности – гладкую и периодического профиля (двух- или трёхстороннего) диаметром, как правило, от 3 до 12 мм. Основной качественной характеристикой арматурной проволоки является предел прочности (для обыкновенной проволоки) и предел текучести – для высокопрочной.

Арматурную проволоку диаметром до 8 мм выпускают в мотках.

Канатная арматура изготавливается из нескольких проволок с завивкой в одном направлении и равным шагом завивки, которую затем подвергают заключительной термомеханической обработке и сматыванию в рулоны большого диаметра.

В зависимости от комбинации расположения проволок подразделяется:

трехпроволочная – три проволоки намотаны вокруг теоретически общей оси;

семипроволочная – прямая стержневая проволока вокруг которой намотаны шесть проволок в одном положении и др.

Выпускают также 19-проволочную (К-19) с диаметром проволоки 2,8 мм и диаметром каната 14 мм, многопрядную и др.

Арматурные сетки изготавливают из стержней (прутков арматурной проволоки) диаметром 3...40 мм, расположенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях и соединённых в местах пересечений сваркой (крестообразное соединение).

Изготавливаются с квадратными или прямоугольными ячейками, плоскими и рулонными. Диаметр проволоки в рулонных сетках от 3 до 5 мм.

Арматурные каркасы изготавливают из продольных и поперечных стержней, соединённых в местах пересечения сваркой. Они могут быть плоскими и пространственными.

Находит применение и пластиковая арматура (стекло- и базальтопластиковая и др.).

Неметаллическая арматура (композитная) выпускается в виде проволоки и стержней различного диаметра (4...20 мм) с равномерно распределённой спиральной рельефностью (ГОСТ 31938) (рисунок 11.9).



Рис. 11.9. Стержни пластиковой арматуры

Изготавливается из продольно-ориентированных стеклянных (стеклоровинг), базальтовых (базальторовинг), углеродных и других волокон, связанных в монолит различными смолами.

Наиболее рационально применять неметаллическую арматуру в малоэтажном строительстве, в конструкциях, подверженных воздействию коррозии, перепаду температур и других неблагоприятных условиях эксплуатации конструкций. Положительными свойствами такой арматуры являются высокая коррозионная стойкость, низкая плотность (в 3...4 раза ниже металлической), меньшее относительное удлинение при растяжении (в 5...10 раз) и др. (таблица 11.1).

Таблица 11.1. Сравнение свойств металлической арматуры с композитной

Свойства	Класс (вид) арматуры				
	S240	S400	S500	S1200	композитная
Плотность, г/см ³	7,8				1,9
Временное сопротивление разрыву, МПа, не менее	370	500	550 (600)	1200	1250...1850
Относительное удлинение, %, не менее	25	16	12...14		1,3...2,2
Модуль упругости, МПа, не менее	200 000				40 000

Фибра – это материал, применяющийся в качестве армирующего компонента для улучшения свойств бетона (СТБ EN 14889-1 и 2). Фибра представляет собой материал в виде волокон или узких полос, применяемый для дисперсного армирования бетонных конструкций.

Может быть природного, техногенного или искусственного происхождения. Толщина таких изделий (волокон), как правило, от 0,2 до 1,0 мм и длина от 5 до 150 мм.

В бетоне фибра это мелкодисперсный равномерно распределённый армирующий компонент по всему объёму изделий.

Назначение – дисперсное (трехмерное) армирование бетонов и растворов.

Если арматура в железобетонных изделиях включается в работу лишь при появлении трещин в бетонном теле (бетонной матрице), то фибра в определенной степени **упреждает появление трещин в бетоне**. Т. е. фибра может и не блокирует образование микротрещин, но хорошо предотвращает разрастание трещин в трехмерном пространстве бетона.

Вводится фибра, как правило, в процессе приготовления бетонной смеси с целью повышения качественных характеристик (прочности, деформативности, трещиностойкости, водонепроницаемости, морозостойкости).

Причем нужно понимать разницу между арматурой в бетоне в ее классическом понимании и дисперсным армированием бетонов.

Цель введения арматуры – прутковая арматура повышает прочность железобетонных изделий на растяжение и мало влияет на сопротивление изгибу и трещиностойкость. Кроме того, в железобетоне армирующий компонент в виде традиционной классической арматуры или проволочной сетки устанавливается только в одной плоскости и в определенную зону конструкции (зону растягивающих усилий), в дисперсно армированном бетоне фибра располагается в любой плоскости сечения бетона.

Такое армирование не только предохраняет бетон от образования усадочных и других трещин, но и предотвращает их распространение.

В результате повышается трещиностойкость, деформативность, прочность бетона на растяжение во всех измерениях (трехмерное упрочнение), что способствует и увеличению прочности на сжатие такого бетона и других показателей.

В зависимости от материала изготовления фибра для бетона подразделяется на металлическую (стальную), полимерную, вязкую сверхпрочную, стеклянную, из горных пород (базальтовую), углеродную, целлюлозную и др. (рисунок 11.10, таблица 11.2).



Рис. 11.10. Разновидности фибры

Металлическая фибра чаще всего выпускается из низко- и высокоуглеродистой и коррозионностойкой стали, иногда с латунным покрытием.

По способу изготовления и исходному материалу стальную фибру подразделяют:

- на фрезерованную из слябов – имеет недостаточно стабильные свойства, поскольку фрезерование приводит к перекалу металла (синеломкости);
- рубленую из листа – отличается невысокой прочностью и точностью изготовления;
- экструдированную из стального расплава – не обладает повышенными прочностными характеристиками, но достаточно экономичная;
- проволочную – считается наиболее универсальной с гарантированными заданными свойствами.

Лучшей считается фибра диаметром 0,3 мм и длиной 25 мм.

Стальная фибра может иметь различную конфигурацию, поперечное сечение (круглое, прямоугольное) и размеры. Прочность стальной фибры составляет от 400 до 1600 МПа.

Полимерная фибра или полимерная макрофибра – это в основном полипропиленовые волокна диаметром более 0,3 мм и длиной более 30 мм, имеющая предел прочности на растяжение не менее 450 МПа. Оптимальной считается длина 55 мм.

Таблица 11.2. Характеристики фибры из различных материалов

Наименование	Плотность, г/см ³	Диаметр	Модуль упругости, ГПа	Прочность на растяжение, МПа	Удлинение при разрыве, %
Стальная	7,8	≥0,1 мм	170...200	600...3150	3...4
Полипропиленовая	0,9	18...20 мкм	3,5	400...700	10...25
Стекланная	2,6	10...100 мкм	73,5...79	1800...3850	1,5...3,5
Базальтовая	2,6	20...500 мкм	7...60	1600...3200	1,4...3,6
Полиэфирная	1,4	0,1...1,5 мм	8,4...8,6	730...780	11...13
Вискозная сверхпрочная		0,04...1,0 мм	5,6...5,8	660...700	14...16
Углеродная	1,7	3...15 мкм	200...250	2000...3500	1,0...1,6
Полиакрилонитрильная (ПАН)	1,17	17...35 мкм	до 11	500...600	26
Асбестовая	2,6	0,01...0,2 мкм	68...70	910...3100	0,6...0,7

В состав бетона полимерная фибра вводится из расчета 0,6...0,9 кг/м³ бетона и работает как на этапе усадки (сдерживает образование трещин), так и в процессе эксплуатации конструкций, препятствуя образованию трещин.

Стекловолоконная фибра – это короткие и тонкие волокна, получаемые путём рубки стеклянных нитей (ровингов), а также вытягиванием расплавленной стекломассы с последующим охлаждением. Она обладает достаточно высокой прочностью на растяжение и применяется в основном для дисперсного армирования мелкозернистых бетонов и штукатурных растворов.

Базальтовая фибра представляет собой тонкие отрезки заданной длины (5...100 мм), полученные из расплавов базальтовых горных пород. В бетон вводится в объеме от 1 кг/м³ преимущественно при производстве жаропрочных бетонов и растворов.

11.5. Добавки в бетоны и строительные растворы

Добавками называют органические и неорганические вещества, вводимые в смеси в процессе их приготовления с целью направленного регулирования (модифицирования) их технологических свойств, а также повышения строительно-технических свойств бетонов и растворов или придания им новых свойств (ГОСТ 30459, СТБ EN 480-1,2 и СТБ 1112).

В современной технологии бетонов и строительных растворов добавки являются таким же обязательным компонентом бетонных и растворных смесей, как вяжущее вещество, заполнители и вода.

Большая часть из них взаимодействует с составляющими цемента и цементного камня.

Добавки для бетонов и растворов условно можно разделить на три вида:

- **химические** – это специально синтезированные органические и неорганические продукты постоянного состава со строго нормированными свойствами, вводимые в смеси в процессе их приготовления в количестве менее 5 % от массы цемента;
- **минеральные** (неорганические) – дисперсный материал природного или техногенного происхождения, вводимые в смеси в процессе их приготовления в количестве не менее 5 % от массы цемента;
- **органо-минеральные** модификаторы, представляющие собой поликомпонентные материалы, включающие в себя суперводоредуцирующие и активные минеральные добавки и вводимые в смеси в количестве 5...25 % от массы цемента.

К **химическим добавкам** (модификаторам) для бетона в настоящее время относят природные или искусственные химические вещества, вводимые в бетонную смесь в небольшом количестве (0,005...5 % от массы цемента) обычно в виде растворов вместе с водой затворения.

Как правило, они представляют собой специально синтезированные органические и неорганические продукты постоянного состава со строго нормированными свойствами.

Основными качественными характеристиками химических добавок в растворы и бетоны являются:

- нормируемый уровень эффективности, т. е. способность придавать смеси или бетону специальные свойства в соответствии с областью применения и не вызывать отрицательные последствия;
- внешний вид (агрегатное состояние, цвет, однородность). Устанавливается визуально;
- массовая доля сухого вещества (%). Устанавливается путём испытаний в лабораторных условиях;
- плотность (г/см³). Отклонения от указанных в документах величин в зависимости от плотности не должны составлять более 0,02...0,03 г/см³;
- растворимость в воде;
- водородный показатель (значение pH). Фактическое значение не должно отличаться более, чем на ±0,5 от указанного в документах;
- содержание веществ (оксидов), ухудшающих коррозионное состояние арматуры или бетона (хлоридов, азотсодержащих соединений). Их содержание не должно превышать максимального значения, указанного изготовителем.

При необходимости качественными характеристиками могут служить и другие (температура замерзания, изменение свойств при размораживании, содержание нерастворимых веществ и др.).

В зависимости от назначения или основного эффекта действия добавки подразделяют на виды:

- регулирующие свойства бетонных и растворных смесей:
 - пластифицирующие и водоредуцирующие;
 - стабилизирующие;
 - водоудерживающие;
 - улучшающие перекачиваемость;
 - регулирующие сохраняемость бетонных смесей: (замедляющие и ускоряющие потерю подвижности);
 - поризующие (воздухововлекающие, газообразующие и пенообразующие).
- регулирующие кинетику твердения бетона:
 - ускоряющие твердение,
 - замедляющие твердение,
 - противоморозные и др.

- регулирующие свойства затвердевшего бетона:
 - кольматирующие,
 - воздухововлекающие,
 - газообразующие,
 - гидрофобизирующие,
 - повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре
 и др.

В зависимости от **количества** входящих в состав добавок продуктов они подразделяются на:

- однокомпонентные (ДО),
- комплексные (ДК),

по **агрегатному состоянию** на:

- жидкие (Ж),
- пастообразные (П),
- твёрдые (Т),

по **химической природе** на:

- органические,
- неорганические,

в зависимости от **водородного показателя** на:

- кислые ($\text{pH} < 7$),
- нейтральные ($\text{pH} = 7$),
- основные ($\text{pH} > 7$).

К добавкам **пластифицирующего** действия относят: суперпластифицирующие, сильнопластифицирующие и пластифицирующие – способные при введении в бетонную смесь повышать её реологические свойства (подвижность, растекаемость).

Эффективность таких добавок оценивают по увеличению подвижности смеси и по прочности бетона или раствора при одинаковом водоцементном отношении контрольного и основных составов.

Например, суперпластифицирующие добавки позволяют увеличить подвижность бетонной смеси от марки П1 ($\text{ОК} = 2 \dots 4 \text{ см}$) до марки П5 ($\text{ОК} > 20 \text{ см}$), а их водоредуцирующая способность превышает, как правило, 20%, сильнопластифицирующие – от П1 до П4, а пластифицирующие – от П1 до П3.

Водоредуцирующие (водопонижающие, водопонизители), высоководоредуцирующие – позволяющие получать бетонные смеси требуемой удобоукладываемости с пониженным расходом воды. Эффективность их оценивается по уменьшению водопотребности смесей по сравнению с контрольными при условии изготовления смесей с одинаковой подвижностью.

Пластифицирующие и водоредуцирующие добавки обеспечивают снижение содержания воды в бетонной смеси, не влияя на её консистенцию, или повышают её подвижность без изменения содержания воды, или вызывают оба действия одновременно. Введение таких добавок позволяет:

- экономить цемент для равнопрочных бетонов (на 5...20%);
- уменьшить расслаиваемость бетонной смеси;
- повысить плотности и непроницаемости бетона;
- повысить прочности равно подвижных составов.

В отдельных случаях может наблюдаться замедление процессов твердения бетонной смеси и снижение прочности бетона в пределах 5%.

На территории Республики Беларусь в качестве таких добавок применяют ЛСТ – лигносульфонаты технические (прежнее название СДБ), образующиеся при варке целлюлозы на целлюлозно-бумажных комбинатах и разновидности на их основе, а также С-3, Стахемент 2000 и др.

Стабилизирующие (водоудерживающие) добавки снижают или предотвращают расслоение бетонных и растворных смесей и раство- или водоотделение в два и более раза.

Добавки, **регулирующие сохраняемость подвижности** смесей – увеличивают или снижают время сохраняемости первоначальной подвижности смесей в 1,5 раза и более.

Применяют их, как правило, в жаркое время года или в случае транспортирования бетонной смеси на большие расстояния. При использовании таких добавок возможно образование высолов на поверхности изделий.

Порообразующие добавки увеличивают объём воздуха от 1,5 до 5% в конструкционных, от 6 до 30% – в конструкционно-теплоизоляционных и от 15 до 90% – в теплоизоляционных (ячеистых) бетонах.

Различают: воздухововлекающие, газообразующие, пенообразующие.

Ускорители схватывания сокращают время перехода смеси из пластичного состояния в твёрдое.

Ускорители твердения – ускоряют процесс твердения или темп набора начальной прочности бетона, а также увеличивают скорость тепловыделения.

Эффективность их действия оценивают по изменению прочности во времени. Приrost прочности для ускорителей твердения должен составлять не менее, чем 20 % через сутки нормального твердения.

Замедлители схватывания увеличивают время перехода бетонной смеси из пластичного состояния в твёрдое.

Противоморозные добавки обеспечивают твердение бетона и раствора при отрицательных температурах (от -5°C до -25°C), т. е. защищают смеси от замерзания на время от её изготовления до укладки и подачи внешнего тепла.

При этом данные добавки могут быть представлены двумя типами:

- снижают точку замерзания воды в растворе;
- ускоряют процесс твердения цементного камня.

Как известно, при отрицательной температуре (-10°C и ниже) вода замерзает, гидратация цемента прекращается, останавливается процесс выделения тепла.

Замерзание химически несвязанной воды в бетоне (образование льда) разрушает ещё слабую структуру цементного камня, а это приводит к большой потере прочности бетона.

При введении противоморозных добавок вода может оставаться в жидком состоянии даже при температуре до -30°C и процесс гидратации цемента будет продолжаться.

Как правило, количество добавки зависит от массового содержания цемента в сухой смеси и варьируется от 3% до 5%.

Такие добавки положительно сказываются на прочности цементного камня, идет активный прирост прочностных характеристик во все сроки твердения. Повышается и морозостойкость бетона.

Добавки, **повышающие морозостойкость бетона** представляют собой преимущественно композиции из воздухововлекающих и пластифицирующих компонентов.

Кольматирующие (уплотняющие) добавки способствуют заполнению пор в бетоне водонерастворимыми продуктами и, как следствие, повышают водо- и газо- непроницаемость, коррозионную стойкость бетонов. К таким добавкам относят: комплексную минерально-химическую добавку (КМХ), сульфат и хлорид железа, нитрат кальция и др.

Гидрофобизирующие добавки придают стенкам пор и капилляров в бетоне гидрофобные (водоотталкивающие) свойства. В результате уменьшается смачивание поверхности водой и снижается водопоглощение. В зависимости от степени снижения водопоглощения их подразделяют на три группы. Третья группа добавок (ГКЖ-10, ГКЖ-11 и др.) снижают водопоглощение бетона в возрасте 28 сут. в 1,4...1,9 раза, вторая (полигидросилоксаны и др.) – в 2...4,9 раза, первая (органическая и др.) – в 5 раз и более.

Добавки, **повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре** (ингибиторы коррозии) – вещества, обеспечивающие коррозионную

стойкость арматуры в агрессивных по отношению к ней средах. К ингибиторам коррозии стали относят: нитрит натрия (НН), нитрит-нитрат кальция (ННК), тетраборат натрия (ТБН) и др.

В последнее время большую популярность приобрели добавки **полифункционального действия** (полифункциональные модификаторы – ПФМ, многофункциональные, комплексные) позволяют одновременно изменять несколько свойств бетонной смеси и затвердевшего бетона, оказывая более одного из основных эффектов действия, причем часто не связанных друг с другом.

Например, повышать удобоукладываемость смеси и увеличивать прочность бетона.

В качестве примера можно привести комплексные органоминеральные добавки (модификаторы) серии «МБ». Они представляют собой порошкообразные материалы насыпной плотностью около 800 кг/м³ и содержат в своём составе микрокремнезём, золу-унос, суперпластификатор, регулятор твердения и другие добавки в разных соотношениях.

Применение таких добавок более эффективно, чем тех же материалов, введённых в состав бетона отдельно.

Они позволяют получать бетоны нового поколения – высокой прочности (50...60 МПа и выше), низкой проницаемости (W 12 и выше), повышенной коррозионной стойкости и морозостойкости (F 300).

Все добавки выпускаются либо в виде порошка с массовой долей сухого вещества не менее 90%, либо водного раствора (пасты) – с массовой долей сухого вещества не менее 32%.

ТЕМА 12. ОСНОВЫ БЕТОНОВЕДЕНИЯ

12.1. Общие сведения и классификация бетонов

Бетонovedение – наука, изучающая физические и физико-химические основы формирования структуры, свойств бетонов различных видов и их изменения при воздействии эксплуатационных факторов.

Бетон (от фр. *béton*) – это искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси вяжущего вещества, заполнителей, затворителей (воды) и добавок (СТБ EN 206 и ГОСТ Р 57345 (EN 206)). Композиция этих материалов до затвердевания называется **бетонной смесью**.

Бетоны в соответствии с СТБ 1310 классифицируют по структуре, виду вяжущего и заполнителя, условиям твердения и назначению. Также бетоны классифицируют по физико-механическим характеристикам и другим показателям.

В зависимости от характера **структуры** различают бетоны

- плотные,
- крупнопористые,
- поризованные,
- ячеистые.

Бетоны **плотной структуры** представляют собой конгломерат, в котором пространство между зернами мелкого и крупного заполнителя или только мелкого заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим, в том числе с искусственно созданной в объеме не более 7% пористостью за счет применения поризующих добавок.

У **крупнопористых (беспесчаных)** бетонов пространство между зернами крупного заполнителя не полностью заполнено затвердевшим вяжущим, в том числе с искусственно созданной пористостью за счет применения поризующих добавок. Вяжущее до превращения в камень лишь обволакивает зерна крупного заполнителя тонким слоем и склеивает их в местах контакта между собой, не заполняя межзерновое пространство.

У **поризованных** бетонов пространство между зернами мелкого и крупного заполнителя или только мелкого заполнителя заполнено затвердевшим вяжущим с искусственно созданной в объеме более 7% пористостью за счет применения поризующих добавок.

Ячеистые – это бетоны без крупного заполнителя с искусственно созданными порами по всему объему системы, состоящей из вяжущего вещества, воды и тонкодисперсного компонента.

По **виду вяжущего** бетоны могут быть на:

- цементных вяжущих – на основе клинкерных цементов;
- известковых вяжущих – на основе извести в сочетании с активными гидравлическими компонентами (цемент, шлаки, золы) и кремнеземистыми компонентами (песок, минеральные добавки);
- шлаковых и зольных вяжущих – на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения (щелочными растворами, известью, цементом или гипсом);
- гипсовых вяжущих – на основе полуводного гипса или ангидрита гипса (включая гипсоцементно-пуццолановое и т.п. вяжущие);
- смешанных вяжущих – на основе двух и более вяжущих веществ (гипсоцементно-пуццолановые, шлакощелочные и др.);

По виду заполнителя бетоны могут быть на

- плотных (из плотных горных пород или шлаков);
- пористых (природных и искусственных минеральных);
- органических (измельченная древесина, стебли хлопчатника или рисовой соломы, костра конопли и льна);
- специальных заполнителях (обеспечивающих специальные свойства).

По условиям твердения бетоны подразделяются на:

- на твердеющие в естественных условиях (с положительной температурой окружающей среды);
- в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении (пропаренные – для изготовления сборных изделий и конструкций)
- и при давлении выше атмосферного (автоклавного твердения – преимущественно силикатные и ячеистые), – характеризующиеся прямым контактом его поверхности с водяным паром, используемым в качестве теплоносителя;
- с тепловой обработкой без контакта бетона с паровоздушной средой (в термоформах, кассетных установках, электропрогрев, электрообогрев, электромагнитная обработка и др.);
- в условиях отрицательных температур окружающей среды.

По назначению бетоны подразделяют на:

- конструкционные;
- специальные.

К **конструкционным** относят бетоны, используемые в несущих и ограждающих конструкциях зданий и сооружений и обеспечивающих, главным образом, прочность, жесткость, трещиностойкость несущих конструкций.

Специальные бетоны предназначены для конструкций, эксплуатируемых в особых условиях или для конструкций специального назначения, к которым относятся:

- теплоизоляционные,

- конструкционно-теплоизоляционные,
- жаростойкие,
- химически стойкие,
- декоративные,
- радиационно-защитные,
- дорожные,
- гидротехнические и др.

Различают бетоны по **средней плотности**:

- тяжелые (обычные) – на плотных крупных и мелких заполнителях со средней плотностью в сухом состоянии в пределах 2000...2600 кг/м³;
- сверхтяжелые (особотяжелые) – со средней плотностью в сухом состоянии более 2600 кг/м³;
- легкие – на пористом крупном и пористом или плотном мелком заполнителе со средней плотностью в сухом состоянии 800 (500)...2000 кг/м³;
- особо легкие бетоны (ячеистые) с плотностью до 500 кг/м³.

По **стойкости к видам коррозии** различают бетоны, эксплуатируемые в среде:

- без риска коррозионного воздействия (ХО);
- вызывающей коррозию под действием карбонизации (ХС);
- вызывающей коррозию под действием хлоридов (ХД и ХС);
- вызывающей коррозию под действием попеременного замораживания и оттаивания (ХФ);
- вызывающей химическую коррозию (ХА).

Кроме того, бетоны подразделяются:

- по прочности,
- морозостойкости,
- водонепроницаемости,
- истираемости
- и другим показателям.

12.2. Расчет и подбор состава тяжелого бетона

Расчет и подбор состава производится с целью получения бетона в изделиях и конструкциях с прочностью и другими нормируемыми показателями качества, установленными государственными стандартами, техническими условиями и проектной документацией на эти изделия и конструкции при минимальном расходе цемента (СТБ 1182).

Исходными данными для расчета состава бетона являются задание на подбор состава бетона либо требуемые прочность R_b , удобоукладываемость бетонной смеси и другие показатели.

Расчет и подбор состава заключается в определении количества (соотношения) составляющих компонентов (вяжущего, воды, заполнителей и при необходимости добавок) для достижения заданной удобоукладываемости смеси и свойств затвердевшего бетона.

Расчет и подбор состава будет рассмотрен нами на примере обычного тяжелого бетона, поскольку он является наиболее массово применяемым во всех отраслях строительства.

Выражают составы либо в виде расхода составляющих материалов по массе (кг) на 1 м^3 уплотненного бетона, либо отношением массы составляющих к массе цемента, принимаемой за единицу, с указанием водоцементного отношения (В/Ц)¹.

Например, расход составляющих в кг на 1 м^3 : Ц=300 кг; В=160 кг; П=600 кг; Щ=1080 кг, либо 1:2:3,6 (В/Ц=0,55)

При этом различают **номинальный** (лабораторный) состав, рассчитанный для сухих материалов, и **производственный** (рабочий, полевой) – для материалов, находящихся в естественно-влажном состоянии.

Процесс расчета и подбора ведется по разработанным методикам с использованием формул, графиков, таблиц и включает:

- **выбор материалов** (составляющих) для бетона (цемента, заполнителей, добавок);
- получение **технических характеристик** составляющих бетона, необходимых для дальнейших расчетов и подборов (марку, минералогический состав, истинную и насыпную плотность вяжущего; зерновой состав, пустотность, водопотребность, истинную (плотность зерен) и насыпную плотность заполнителей, марку крупного заполнителя по прочности, содержание вредных примесей; характеристики применяемых добавок) и др.;
- **теоретический расчет** состава бетонной смеси (номинальный);
- **экспериментальный подбор** и корректировка нормируемых технологических показателей качества бетонной смеси (подвижности, жесткости) (ГОСТ 7473);
- **экспериментальная проверка** соответствия начального номинального состава бетона требуемой прочности;
- проверка и корректировка начального номинального состава бетона на его соответствие всем другим нормируемым показателям качества бетона;
- назначение и корректирование рабочих составов бетона;

¹ «В/Ц» (водоцементное отношение) – это соотношение воды и цемента (масса воды / масса цемента) – важная характеристика бетона.

– расчет материалов **на замес бетоносмесителя.**

До начала расчета и приготовления опытных замесов необходимо произвести выбор материалов (цемента, заполнителей и др.) и определить их качественные характеристики, требуемые для дальнейших расчетов и подборов.

При выборе материалов необходимо руководствоваться техническим заданием на проектирование или проектной документацией на изделия и конструкции и требованиями стандартов.

Вяжущее (цемент) следует выбирать с учетом условий эксплуатации (агрессивности среды), условий твердения (в частности тепловой обработки) и с учетом требований стандарта.

Марку (класс) цемента принимают в зависимости от проектного класса бетона, условий твердения и рекомендаций нормативных документов (таблица 12.1).

Таблица. 12.1. Рекомендуемые и допускаемые марки цемента (по СТБ 1544)

Класс бетона по прочности на сжатие	Марки цемента для бетона	
	рекомендуемые	допускаемые
C8/10 – C20/25	400	500
C25/30	500	550, 600
C30/37	550	500, 600
C35/45 – C90/105	600	500, 550

Для экономного расхода цемента следует применять цемент такой активности, чтобы она превышала заданную прочность бетона примерно в 2 раза (1,5...2,5 раза).

При выборе мелкого и крупного заполнителя необходимо учитывать прочность и назначение проектируемого бетона, технологию производства работ, условия среды эксплуатации и др.

Например, чем выше требуемая прочность бетона, тем выше должны быть требования к качеству заполнителей.

При этом необходимо стремиться использовать заполнители местные или из близко расположенных карьеров, но отбирают те из них, которые позволяют получить бетон с заданными свойствами при минимальном расходе цемента.

Теоретический расчет состава бетона. Разработано множество методов теоретического расчета состава бетона, однако стандартного метода, позволяющего получить требуемый результат только с помощью расчета, в настоящее время не существует. Все они являются, как правило, расчетно-экспериментальными. Составляют из расчетной части и обязательной экспериментальной проверки и корректировки назначенного состава.

Расчетная часть (определение номинального состава бетонной смеси) сводится к определению расхода составляющих по известным формулам или номограммам, связывающих качество применяемых материалов с заданными свойствами бетонных смесей и бетонов и применительно к условиям производства работ.

Подбор состава бетона начинается, как правило, с определения цементно-водного отношения (Ц/В или В/Ц) исходя из требуемой (заданной) прочности бетона, активности цемента R_u и с учетом вида и качества составляющих с использованием известных зависимостей.

В качестве примера далее рассмотрим метод расчета состава бетона НИИЖБ (на лабораторных работах студентам предложен метод абсолютных объемов):

1. Определяют **водоцементное отношение** бетонной смеси (соотношение по массе эффективного водосодержания к содержанию цемента в свежем бетоне).

1.1 Для бетона нормально-влажностного твердения или подвергнутого тепловой обработке по стандартному режиму (70% марочной прочности через 4 часа остывания)

$$(B/C)_6 = (0,23 R_u + 10) / (R_6 + 8)$$

1.2 Для бетона, подвергнутого тепловлажностной обработке (ТВО), и при необходимости получения 100%-й прочности после ТВО

$$(B/C)_6 = (0,16 R_u + 7) / (R_6 + 5,6),$$

где R_u и R_6 соответственно активность цемента и прочность бетона в 28-суточном возрасте, МПа.

2. **Расход воды** определяют по таблице 12.2:

Таблица 12.2. Ориентировочный расход воды для бетонной смеси

Удобоукладываемость смеси		Ориентировочный расход воды, кг, при наибольшей крупности, мм						
Осадка конуса, см	Жесткость, сек.	гравия				щебня		
		10	20	40	70	10	20	40
10...12		215	195	185	175	225	205	195
5...7		205	180	175	160	215	195	185
1...3		190	165	160	145	200	180	170
	8...12	175	155	145	135	185	165	155
	15...20	160	145	140	130	170	155	-
	22...30	155	140	135	125	165	150	-

3. По расходу воды на 1 м^3 бетона и водоцементному отношению бетонной смеси определяют **расход цемента** на 1 м^3 бетона

$$C = B / (B/C)_6$$

Полученное значение сравнивают с минимальным C_{min} (таблица 12.3) и максимальным C_{max} расходом для получения нерасслаиваемой бетонной смеси.

Таблица 12.3. Минимальный расход цемента C_{min} для получения нерасслаиваемой плотной бетонной смеси (кг/м³)

Вид смеси	Наибольшая крупность заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая (Ж>20 с)	160	150	140	130
Жесткая (Ж=10-20 с)	180	160	150	140
Малоподвижная (Ж=5-10 с)	200	180	160	150
Подвижная (ОК=1-10 см)	240	220	200	180
Очень подвижная (ОК=10-16 см)	250	230	210	190
Литая (ОК>16 см)	250	230	210	190

4. Определяют суммарный расход заполнителей $Mз+Kз$ (мелкого и крупного) в кг на 1 м³ бетонной смеси

$$Mз+Kз = \rho_{б.см.} - Ц - В$$

Среднюю плотность бетонной смеси ($\rho_{б.см.}$) принимают при заполнителе из карбонатных пород 2350 кг/м³, а из более плотных пород – 2400 кг/м³.

5. Расход мелкого заполнителя $Mз$ (песка) в кг на 1 м³ бетонной смеси находят с учетом массовой доли песка r , зависящей от вида и крупности зерен заполнителей, а также от расхода цемента (таблица 12.4):

$$Mз = (Mз+Kз) \cdot r$$

Таблица 12.4. Массовая доля мелкого заполнителя в смеси заполнителей

Расход цемента, кг/м ³	Массовая доля $Mз r$ в смеси заполнителей при крупности, мм					
	гравия			щебня		
	20	40	70	20	40	70
200	0,4	0,39	0,37	0,42	0,41	0,40
250	0,39	0,37	0,36	0,41	0,40	0,39
300	0,37	0,35	0,35	0,40	0,39	0,38
350	0,35	0,34	0,34	0,38	0,37	0,36
400 и более	0,36...0,38	0,35...0,38	0,32...0,38	0,37...0,42	0,35...0,42	0,34...0,40

6. Расход крупного заполнителя на 1 м³ бетонной смеси

$$Kз = (Mз+Kз) - Mз$$

Рассчитанный состав бетона проверяют путем приготовления пробного замеса в объеме 7...10 л с целью уточнения удобоукладываемости бетонной смеси по СТБ 1545.

Если удобоукладываемость приготовленной бетонной смеси не соответствует заданной, то производят корректировку номинального состава бетона.

При этом повышение осадки конуса или снижение жесткости бетонной смеси достигают за счет добавления в пробный замес воды, а снижение осадки конуса или

повышения жесткости достигают за счет добавления в пробный замес заполнителей.

Путем нескольких попыток добиваются заданной удобоукладываемости бетонной смеси.

Удобоукладываемость бетонной смеси соответствует заданной, если ее показатели находятся в пределах заданной марки (класса) по удобоукладываемости.

Из подобранного начального состава с заданной удобоукладываемостью изготавливают образцы для испытания бетона на прочность по ГОСТ 10180, ГОСТ 18105 и СТБ EN 206.

Если при испытании действительная прочность бетона отличается от заданной более $\pm 15\%$, то следует внести коррективы в состав бетона: для повышения прочности увеличивают расход цемента (т.е. уменьшают В/Ц), для снижения прочности – уменьшают расход цемента.

Рассчитанный состав бетона в производственных условиях корректируют с учетом влажности заполнителей и при введении химических добавок.

12.3. Приготовление и транспортирование бетонной смеси

Бетонной смесью называют рационально составленную и однородно перемешанную смесь компонентов бетона до начала процессов схватывания и твердения.

Бетонная смесь независимо от ее вида должна обладать хорошей удобоукладываемостью, и сохранять при транспортировании и укладке однородность, достигнутую при приготовлении.

Приготовление бетонной смеси состоит из:

- подготовки составляющих бетонную смесь материалов,
- дозирования этих материалов
- и их перемешивания.

По степени готовности бетонные смеси подразделяются на:

- готовые к употреблению (БСГ);
- частично затворенные (БСЧЗ);
- сухие (БСС).

Подготовка составляющих бетонную смесь материалов включают в себя дробление заполнителей, удаление загрязняющих примесей, оттаивание и подогрев заполнителей в зимнее время, активацию цемента, приготовление растворов химических добавок и др.

Дозирование материалов осуществляется дозаторами периодического и непрерывного действия с ручным, полуавтоматическим или автоматическим управлением. Они могут быть весовые и объемные. При этом точность дозирования определяет точность расчета состава бетона.

Выбор способа приготовления бетонной смеси определяется видом и характеристикой составляющих ее компонентов.

Для этих целей используются бетоносмесители периодического (циклического) и непрерывного действия.

Бетоносмесители периодического действия бывают двух типов:

- гравитационные (смешивание осуществляется при свободном падении материалов во время вращения барабана смесителя);
- принудительного перемешивания.

Перемешивание в бетоносмесителях свободного падения достигается при вращении барабана грушевидной или цилиндрической формы с корытообразными лопастями на внутренней поверхности. В результате многократного подъема и падения составляющих и обеспечивается их перемешивание. Некоторые гравитационные смесители устанавливаются на автомашинах (рисунок 12.1).

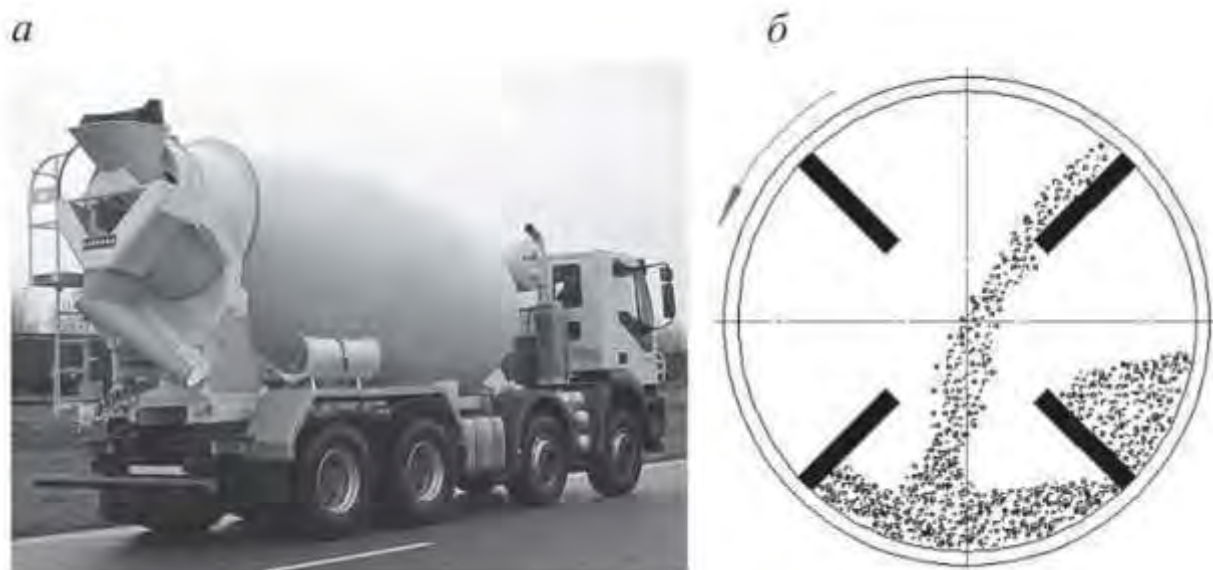


Рис. 12.1. Передвижной смеситель (а) и схема перемешивания в нем бетонной смеси (б)

Бетоносмесители принудительного перемешивания представляют собой стальные чаши, в которых смешивание компонентов производится вращающимися лопастями, насаженными на вертикальные или горизонтальные валы (рисунок 12.2). Перемешивание в них осуществляется по более сложным траекториям и требует большего расхода электроэнергии.



Рис. 12.2. Бетоносмесители принудительного перемешивания

Смесители принудительного действия следует применять для бетонных, легковесных и мелкозернистых смесей любой подвижности и жесткости; гравитационные смесители – для смесей тяжелого бетона с подвижностью 5 см и более. На крупных централизованных растворобетонных предприятиях используются турбулентные и другие смесители.

Бетонные смеси готовят, как правило, на центральных автоматизированных заводах, в бетоносмесительных цехах на предприятиях сборного железобетона либо в условиях строительной площадки.

Бетонные смеси, приготовленные в стационарных условиях и предназначенные для монолитного строительства, в нашей стране и странах СНГ называют **товарным бетоном**, за рубежом – готовой бетонной смесью.

При этом высококачественный бетон может быть получен только в условиях стационарного производства при строгом контроле качества составляющих материалов и процессов приготовления смеси

Под транспортированием бетонной смеси подразумевают её доставку от места изготовления к строительному объекту и подачу на место её укладки с перегрузкой на другие транспортные средства или без неё.

Транспортирование бетонной смеси должно обеспечить сохранение ее однородности, заданной удобоукладываемости и исключить потери. Как правило, время от момента приготовления до момента укладки бетонной смеси не должно превышать 1 час.

12.4. Технологические свойства бетонной смеси

Наиболее важным свойством бетонной смеси является ее **удобоукладываемость** или формуемость, т.е. способность смеси растекаться и заполнять заданную

форму или опалубку под действием собственной массы, сохраняя при этом монолитность (связность) и однородность.

Для оценки удобоукладываемости бетонной смеси используют такие показатели как **подвижность, жесткость и связность**.

Подвижность (П) бетонной смеси оценивается показателями осадки конуса (ОК) в сантиметрах или диаметра растекания (распльва) конуса (РК) в сантиметрах с помощью стандартного прибора-конуса (конуса Абрамса – КА) (рисунок 12.3 а, б). Если по результатам испытаний смеси осадка конуса составила 20 см и более (марку П4), то подвижность следует оценивать показателем распльва конуса.

Если осадка конуса составила 0 см, то показателем удобоукладываемости является жесткость.

Жесткость (Ж) бетонной смеси характеризуют временем вибрации в секундах, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости (рисунок 12.3 в).

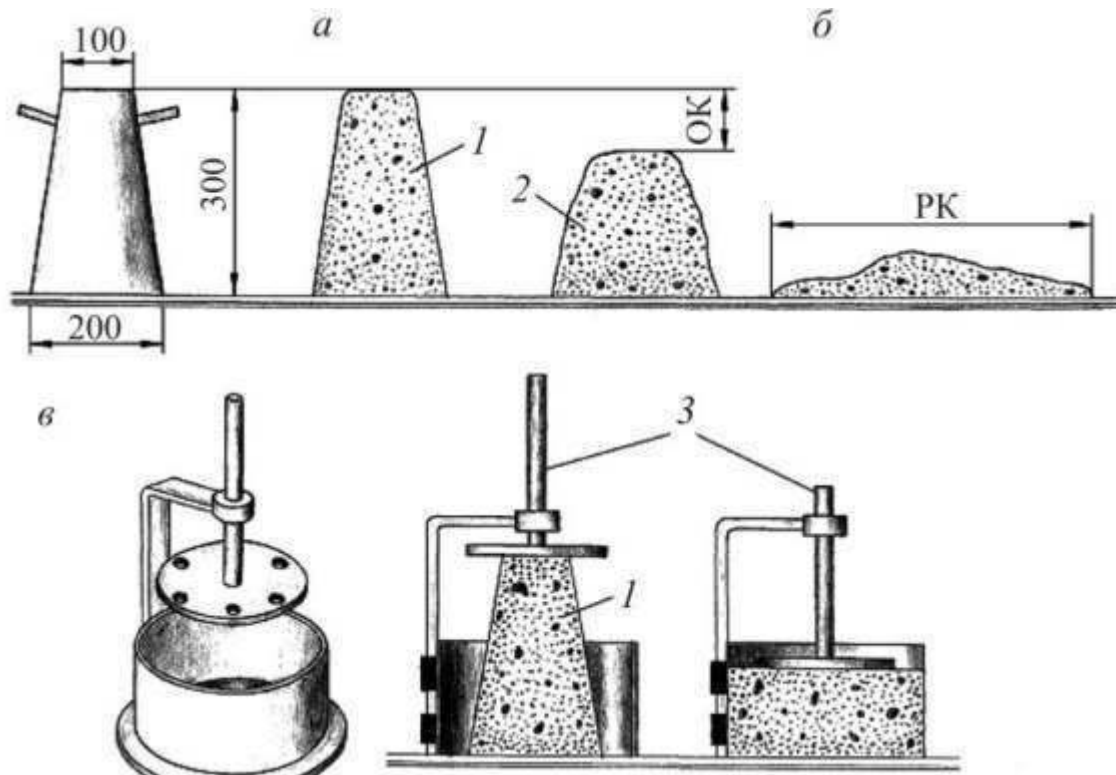


Рис. 12.3. Определение удобоукладываемости бетонной смеси:

а – по осадке конуса: 1 – жесткая смесь; 2 – подвижная смесь; ОК – осадка конуса; б – по распльву конуса (РК); в – по жесткости: 3 – схема испытания жесткости

В зависимости от показателя удобоукладываемости (консистенции) бетонные смеси подразделяют на группы: жесткие, подвижные и растекающиеся, которые в свою очередь подразделяют на марки по ГОСТ 7473 (таблица 12.5) или классы по СТБ EN 206 (таблица 12.6).

Таблица 12.5. Марки бетонных смесей по удобоукладываемости (ГОСТ 7473)

По жесткости		По осадке конуса		По расплыву конуса		По уплотнению	
Марка	Жесткость,с	Марка	Осадка конуса, см	Марка	Расплыв конуса, см	Марка	Коэффициент
Ж1	5...10	П1	1...4	P1	менее 35	КУ1	более 1,45
Ж2	11...20	П2	5...9	P2	35...41	КУ2	1,45...1,26
Ж3	21...30	П3	10...15	P3	42...48	КУ3	1,25...1,11
Ж4	31...50	П4	16...20	P4	49...55	КУ4	1,10...1,04
Ж5	более 50	П5	более 20	P5	56...62	КУ5	Менее 1,04
				P6	более 62		

Таблица 12.6. Классы бетонных смесей по консистенции (СТБ EN 206)

По осадке конуса		По расплыву конуса		По растекаемости		По степени уплотняемости	
класс	мм	класс	мм	класс	мм	класс	
S1	10...40	SF1	550...650	F1	до 340	C0	1,46
S2	50...90	SF2	660...750	F2	350...410	C1	1,45...1,26
S3	100...150	SF3	760...850	F3	420...480	C2	1,25...1,11
S4	160...210			F4	490...550	C3	1,10...1,04
S5	220 и более			F5	560...620	C4	до 1,04
				F6	630 и более		

Связность (расслаиваемость) – это способность бетонной смеси сохранять однородную структуру (не расслаиваться в процессе транспортирования, укладки и уплотнения) и характеризуется водо- и раствороотделением.

Водоотделение бетонной смеси определяется после ее отстаивания в цилиндрическом сосуде в течение определенного промежутка времени и характеризуется объемом отделившейся воды (%) от объема бетонной смеси.

Раствороотделение определяется после вибрирования бетонной смеси в мерной форме в течение определенного времени и характеризуется отношением (%) растворных составляющих соответственно в верхней и нижней половинах образца.

Чтобы предотвратить расслоение бетонной смеси, необходимо правильно назначать количество мелкого заполнителя в составе бетона и сокращать расход воды затворения, используя пластифицирующие добавки.

Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси определяется временем, в течение которого смесь в процессе своего выдерживания после окончания перемешивания теряет удобоукладываемость в пределах марок или классов.

Сохраняемость бетонной смеси зависит в основном от свойств цемента и заполнителей, наличия добавок, температуры окружающей среды и других факторов.

12.4.1. Влияние различных факторов на удобоукладываемость бетонных смесей

К факторам, влияющим на удобоукладываемость бетонной смеси, относятся:

- качественные характеристики цемента,
- качественные характеристики заполнителя,
- отношение объема цементного теста к объему заполнителя,
- условия приготовления бетонной смеси,
- температура и время выдержки бетонной смеси от момента затворения и др.

Тип цемента. Бетонные смеси одного и того же состава, но на разных цементах обладают, как правило, разной подвижностью или требуют разной водопотребности. Зависит это, прежде всего, от водопотребности цемента, т.е. нормальной густоты цементного теста. Чем она выше (больше), тем меньше подвижность или больше жесткость бетонной смеси при прочих равных условиях. Увеличение нормальной густоты цемента на 1 % повышает водопотребность бетонной смеси на 1,5...3 %. По этой причине бетонные смеси на портландцементе с гидравлическими добавками (пуццолановом, шлакопортландцементе) и с активной кремнеземистой добавкой имеют подвижность меньшую, чем смеси на портландцементе без добавок или меньшего их содержания.

Расход цемента. С изменением расхода цемента при прочих равных условиях подвижность бетонной смеси тоже изменяется. Увеличение расхода цемента, при том же расходе воды, приводит к увеличению вязкости цементного теста, а, следовательно, и к снижению подвижности бетонной смеси. Вместе с тем экспериментально установлено, что при изменении расхода цемента в бетоне в пределах от 200 до 400 кг/м³ при постоянном расходе воды изменения подвижности (консистенции) бетонной смеси незначительны (действует так называемое «правило постоянства водопотребности»). Объясняется это тем, что с увеличением расхода цемента повышается толщина оболочки из цементного теста вокруг зерен заполнителя, что увеличивает соответственно консистенцию бетонной смеси. Однако снижение В/Ц при этом уменьшает консистенцию той же бетонной смеси.

Одновременное влияние этих факторов, один из которых должен увеличивать, а второй уменьшать консистенцию бетонной смеси, суммируются таким образом, что изменение расхода цемента в указанных пределах практически не влияет на подвижность бетонной смеси.

Содержание воды. Всю воду, необходимую для затворения бетонной смеси, условно можно разделить на две части: одна часть расходуется на смачивание частиц цемента и образование пластичного цементного теста, другая – на смачивание поверхности зерен заполнителя и впитывание ее пористым заполнителем.

С увеличением содержания воды при неизменном расходе цемента уменьшается структурная вязкость цементного теста и бетонной смеси. Следовательно, меньше следует прилагать усилий для перемещения заполнителей с целью их плотной упаковки. В результате подвижность бетонной смеси возрастает, но при этом уменьшается прочность бетона. Поэтому увеличивать содержание воды в бетонной смеси не рекомендуется.

Водоцементное отношение. При водоцементном отношении бетонной смеси соответствующем количеству химически связываемой воды (15...20 %) бетонная смесь оказывается не удобоукладываемой. Это неизбежно приведет к образованию технологической пористости (пустотности) и снижению прочности. По мере увеличения В/Ц (вплоть до оптимального значения) удобоукладываемость бетонной смеси повышается, возрастает плотность и прочность бетона. Дальнейшее повышение В/Ц сверх оптимального приведет к расслоению бетонной смеси (водо- и расствороотделению) и снижению прочности.

Содержание цементного теста. Цементное тесто выполняет двойную роль в обеспечении удобоукладываемости бетонной смеси:

- отделяет частицы заполнителя друг от друга и предотвращает их взаимный контакт. В результате уменьшается трение между зернами заполнителя, что приводит к повышению подвижности бетонной смеси;
- являясь материалом с вязкими свойствами, наделяет бетонную смесь способностью к пластическим деформациям.

Если для приготовления бетона плотной структуры цементного теста взять в количестве необходимом только для заполнения пустот между зернами заполнителя, то такая бетонная смесь получится достаточно жесткой и не удобоукладываемой. Для того, чтобы получить подвижную бетонную смесь, необходимо не только заполнить пустоты между зернами заполнителя, но и раздвинуть их прослойками цементного теста.

Увеличение содержания цементного теста сверх оптимального при постоянном В/Ц или с уменьшением количества заполнителей подвижность бетонной смеси возрастает, а прочность остается практически неизменной.

Содержание растворной части. Увеличение содержания растворной части в бетонной смеси сверх объема пустот крупного заполнителя приводит к образованию вокруг зерен крупного заполнителя пластичных оболочек, облегчающих их взаимное скольжение при укладке и уплотнении смеси.

Если же содержание растворной части ограничивается объемом пустот крупного заполнителя, то многочисленные контакты между зернами создают большое сопротивление при деформировании бетонной смеси, а, следовательно, делают смесь более жесткой и менее удобоукладываемой. Поэтому объем растворной части в бетонной смеси назначается, как правило, несколько большим, чем объем пустот крупного заполнителя, что и учитывается коэффициентом раздвижки зерен (α).

Увеличение объема растворной части сверх оптимального приведет к увеличению расхода цемента и удорожанию бетона.

Содержание заполнителей. Подвижность бетонной смеси зависит от содержания мелкого и крупного заполнителя или их соотношения между собой.

Наилучшая подвижность достигается при некотором оптимальном их соотношении, устанавливаемом опытным путем. Практически для определенной величины водоцементного отношения имеется одно значение отношения «крупный : мелкий заполнитель», которое дает наибольшую удобоукладываемость, а для данной удобоукладываемости имеется только одно значение отношения «крупный : мелкий заполнитель», которое требует наименьшего содержания воды. При содержании песка в смеси заполнителей сверх оптимального значения подвижность бетонной смеси уменьшается вследствие возрастания суммарной поверхности заполнителя, поскольку значительная часть воды расходуется на смачивание этой поверхности.

Крупность заполнителей. С увеличением крупности заполнителей суммарная поверхность их уменьшается. Воды на смачивание поверхности такого заполнителя уходит меньше, а, следовательно, больше воды остается в цементном тесте, что делает его более пластичным, а бетонную смесь – более подвижной. Кроме того, с увеличением крупности заполнителей и уменьшением их суммарной поверхности прослойки цементного теста на зернах оказываются толще, что в свою очередь тоже увеличивает подвижность бетонной смеси.

Пыль, глинистые, илистые и другие мелкие загрязняющие **примеси** увеличивают суммарную поверхность заполнителя и, как правило, снижают подвижность бетонной смеси.

Форма и характер поверхности зерен заполнителя. При округлой и гладкой поверхности зерен заполнителя суммарная поверхность их и трение между ними меньше, чем при острогранной форме и шероховатой поверхности. Следовательно, бетонные смеси на природном гравии и окатанном песке подвижнее, чем смеси на щебне и горном или дробленом песке. Замена гравия щебнем той же фракции увеличивает водопотребность бетонной смеси на 5...15% и соответственно снижает ее подвижность. Пористые заполнители тоже требуют большего расхода воды затворения, а, следовательно, снижают подвижность бетонной смеси.

Другие факторы. Подвижность бетонной смеси снижается и с течением времени ее хранения и транспортирования и повышением температуры за счет физико-химического взаимодействия цемента и воды, и частичного испарения. Наиболее присуще это жестким бетонным смесям. Поэтому жесткие бетонные смеси необходимо укладывать в форму (опалубку) как можно быстрее.

Эффективными регуляторами подвижности бетонной смеси являются пластифицирующие добавки и добавки-замедлители схватывания и твердения. Однако в жестких бетонных смесях эффективность действия пластификаторов несколько меньше, чем в подвижных, так как количество воды оказывается недостаточным для обеспечения их действия.

12.4.2. Выбор степени подвижности бетонной смеси

Наиболее экономичными являются, как правило, жесткие бетонные смеси, так как они требуют меньшего расхода цемента.

Исходя из этого условия, подвижность бетонной смеси следует выбирать более низкую, но в тоже время она должна обеспечить качественную укладку смеси в опалубку.

При выборе степени подвижности бетонной смеси учитывают размеры и форму бетонируемой конструкции, густоту армирования, способы укладки и уплотнения бетонной смеси и другие факторы.

В зависимости от перечисленных и других показателей подвижность бетонной смеси назначают по разработанным таблицам.

При заказе бетонной смеси необходимо указывать сокращенно обозначение бетонной смеси в соответствии с нормативными документами (ГОСТ 7473), класс бетона по прочности, марки бетонной смеси по удобоукладываемости и, при необходимости, другие нормируемые показатели качества, а также и действующий стандарт.

Например, БСТ С8/10 S1 F200 W8 СТБ EN 206 (бетонная смесь тяжелого бетона классов по прочности на сжатие С8/10, по удобоукладываемости – S1, морозостойкости F200, водонепроницаемости – W8).

12.5. Твердение бетона и уход за ним

Уложенная в опалубку бетонная смесь в результате взаимодействия цемента с водой постепенно твердеет и набирает прочность. Твердение происходит при определенных температурно-влажностных условиях. Для протекания нормального процесса твердения бетона необходима теплая и влажная среда – температура +20 °С и

относительная влажность – не менее 95 %. Такие условия твердения называют нормально-влажностными. С повышением температуры до 70...90 °С и максимальной влажности (в пропарочных камерах) или при температуре 175 °С и среде насыщенного водяного пара высокого давления (автоклавах) интенсивность набора прочности еще больше возрастает (рисунки 12.4, 12.5).

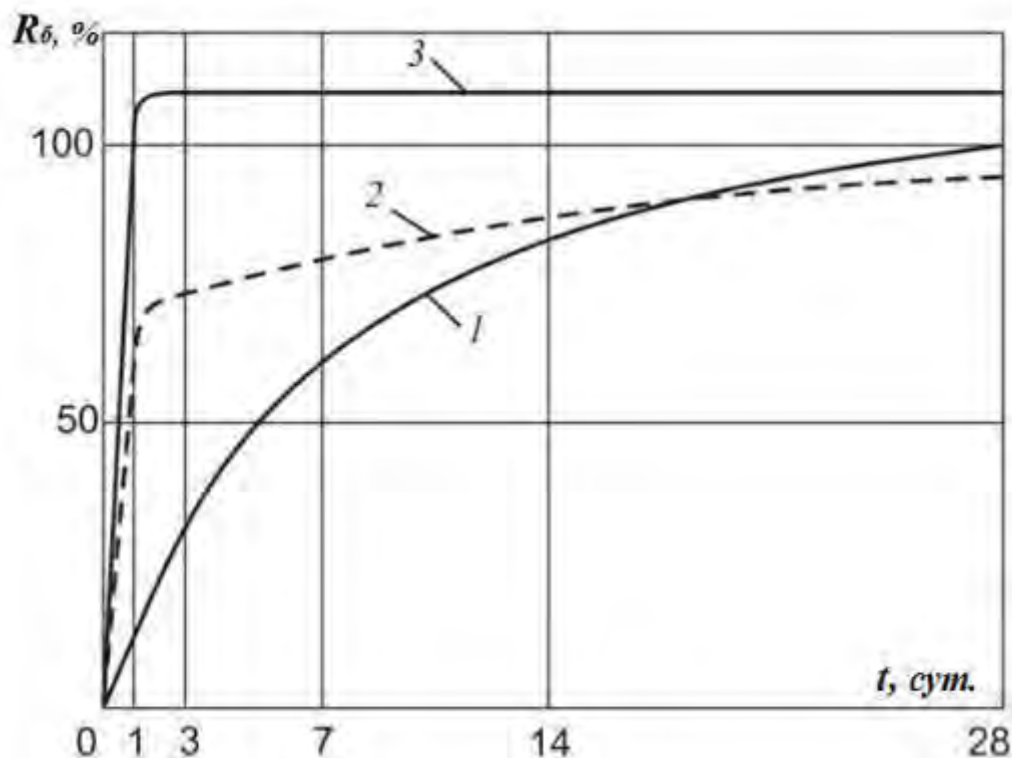


Рис. 12.4. Интенсивность набора прочности различных видов бетона в течение 28 сут:
 1 – нормально-влажностного твердения; 2 – предварительно пропаренного;
 3 – после автоклавного твердения

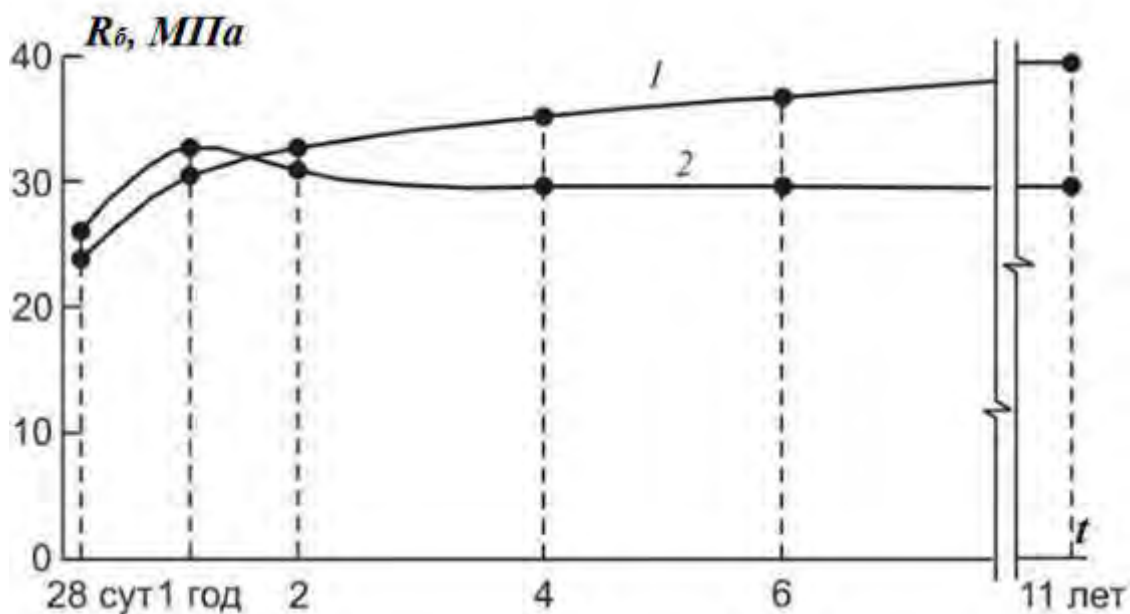


Рис. 12.5. Нарастание прочности бетона во времени:
 1 – во влажных условиях твердения; 2 – в сухих условиях твердения

Важным условием нормального твердения бетона является влажная среда. Во влажных условиях твердения бетон набирает большую прочность, чем при твердении на воздухе. При испарении влаги из бетона его твердение прекращается. При температуре ниже 15 оС процесс твердения замедляется, а при температуре близкой к нулю – практически прекращается. Бетон, твердеющий в нормально-влажностных условиях, набирает прочность достаточно длительное время. Наиболее интенсивно рост прочности наблюдается в ранние сроки твердения, в дальнейшем процесс твердения постепенно затухает. Бетон на портландцементе через 3 суток твердения набирает до 30 % от 28-суточной прочности, а через 7...14 суток – 60...70 %.

В зависимости от скорости набора прочности в ранние сроки твердения различают быструю, среднюю, медленную и очень медленную динамику прочности (таблица 12.7). Оценочным показателем динамики набора прочности является отношение средней прочности при сжатии в возрасте 2 суток к средней прочности при сжатии в возрасте 28 суток.

Таблица 12.7. Динамика набора прочности бетона нормально-влажностного твердения в интервале 2...28 суток

Динамика прочности	Оценочный показатель
быстрая	$\geq 0,5$
средняя	от $\geq 0,3$ до $< 0,5$
медленная	от $\geq 0,15$ до $< 0,3$
очень медленная	$< 0,15$

По динамике набора прочности определяют период выдержки бетона (отрезок времени за который бетонная смесь, уложенная в опалубку, приобретает вполне конкретные и стабильные физико-механические свойства) и продолжительность последующей обработки. В последующем интенсивность набора прочности снижается, но при достаточной влажности окружающей среды нарастание прочности продолжается годами.

Через два месяца твердения в нормально-влажностных условиях, прочность бетона повышается (по сравнению с 28-суточной) примерно на 25 %, 3 месяца – 35...38 %, 6 месяцев – 50...55 %, через один год – 75 %, два года – до 200 % и к трехлетнему возрасту достигает $\approx 200...250$ % (таблица 12.8).

Повышение прочности бетона во времени обусловлено снижением его пористости, увеличением степени гидратации цемента и прохождением ряда процессов, приводящих к увеличению как когезии частичек цемента между собой, так и адгезии их к заполнителям бетона.

В среднем нарастание прочности бетона во времени можно определить (прогнозировать) по логарифмической зависимости:

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28}$$

где: R_n и R_{28} – предел прочности бетона при сжатии в возрасте соответственно n и 28 суток; n – срок твердения бетона в сутках (при $n > 3$).

Таблица 12.8. Усредненные данные нарастания прочности бетона во времени

Возраст бетона, сутки	Относительная прочность при сжатии (R_n / R_{28})	Возраст бетона, года	Относительная прочность при сжатии (R_n / R_{28})
3	0,3	1	1,75
7	0,65	2	2
28	1	4...5	2,25
90	1,25		
180	1,5		

Уход за бетоном во время твердения и эксплуатации конструкций заключается в создании нормальных температурно-влажностных условий, способствующих процессам гидратации цемента, включая контроль за температурой и влажностью, особенно на ранних стадиях твердения, когда бетон интенсивно набирает прочность. Открытые поверхности конструкций из свежешелюженного бетона защищают от испарения влаги – покрывают пленками, песком, опилками, мешковиной и периодически увлажняя их. Продолжительность ухода зависит от типа цемента и климатических условий.

За бетонами на медленно твердеющих цементах продолжительность ухода должна составлять не менее 14 суток, на обычных портландцементях – до 7 суток, быстротвердеющих – 2...3 суток. В сухую погоду открытые поверхности поддерживают во влажном состоянии до достижения бетоном 50...70% проектной прочности.

Уход за бетоном в зимнее время заключается в создании положительной температуры твердения, исключающей замерзание бетона в раннем возрасте до достижения им к моменту замерзания 50 % проектной прочности. Для ускорения процессов твердения применяют цементы с повышенным выделением тепла, быстротвердеющие цементы, химические добавки (ускорители твердения, противоморозные), тепловую обработку – электропрогрев, контактный обогрев, метод термоса и др.

12.6. Свойства затвердевшего бетона

При проектировании бетонных и железобетонных конструкций основными расчетными характеристиками являются прочность на сжатие и растяжение, морозостойкость, водонепроницаемость и др. При этом немаловажными качественными

показателями, определяющими как прочность, так и долговечность конструкций из бетона, являются усадка, набухание, плотность, пористость и др.

Усадка и набухание. Процесс твердения большинства вяжущих, а, следовательно, и композиционных материалов на их основе – бетонов, сопровождается изменениями объема. Объемные изменения, в т. ч. линейные деформации сопровождаются сильными напряжениями в бетоне, которые становятся (особенно, в первые сроки твердения) больше предела прочности при растяжении и вызывают образование микро- и макротрещин.

Изменения объема вызываются физико-химическими процессами, происходящими в бетоне при твердении и изменении влажности и зависят от:

- состава бетона,
- свойств составляющих,
- условий твердения.

Усадка – это уменьшение размеров (со всех сторон) бетонного образца при потере влаги (воды) при твердении. Следовательно, усадка – это свойство бетона самопроизвольно уменьшаться в объеме (укорачиваться во всех направлениях) в процессе твердения и набора прочности в воздушной среде. Но усадке подвергается не весь бетон, а только цементный камень.

Уменьшаясь в объеме, он сжимает встречающиеся препятствия (крупный заполнитель, арматуру), от которых, в свою очередь, получает реакции противодействия. Следовательно, в препятствии возникают сжимающие, а в цементном камне растягивающие напряжения. Последние и приводят к появлению усадочных трещин. В основном усадка происходит в первые сроки (3...4 мес.) твердения бетона. Усадка поверхностных слоев бетона всегда выше, чем внутри конструкции. Массивный бетон вначале высыхает снаружи, а внутри он еще значительное время остается влажным.

Неравномерность высыхания слоев вызывает растягивающие напряжения в наружных слоях конструкции. Если бетон еще не набрал достаточной прочности, будут появляться так называемые усадочные трещины.

Усадочные трещины при твердении появляются, когда скорость испарения влаги с поверхности бетона превышает скорость выделения воды из массы бетона, что приводит в результате уменьшения объема поверхностного слоя к растрескиванию и образованию микротрещин.

Усадка цементного камня может вызвать появление трещин и внутри бетона (конструкции) – на контакте с заполнителем, в самом цементном камне.

Увеличения содержания заполнителя не только уменьшает количество цементного камня в единице объема, но и образует своеобразный каркас из зерен заполнителя, препятствующий усадке.

При твердении в воде или во влажных условиях уменьшение объема, как правило, не наблюдается, а в ряде случаев происходит его незначительное расширение, называемое набуханием. Набухание происходит вследствие поглощения воды и тоже сопровождается напряжениями, но меньшей интенсивности.

Плотность и пористость. Истинная плотность бетона составляет 2,6...2,7 г/см³, за исключением особо тяжелых бетонов. Средняя же плотность бетонов зависит от вида заполнителя, структуры бетона и может находиться в пределах 250...5 000 кг/м³ и даже более. Для некоторых видов бетонов устанавливают марку по плотности (таблица 12.9).

Марка бетона по средней плотности (D) (от англ. density — плотность) устанавливается, как правило, для бетонов, к которым предъявляются требования по теплоизоляции.

Таблица 12.9. Марки бетонов по плотности

Бетон	Марки по средней плотности
Легкий бетон	D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000
Ячеистый бетон	D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200
Поризованный бетон	D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400

Высокой плотности бетона можно достичь:

- рациональным подбором зернового состава заполнителей (с минимальной пустотностью),
- применением бетонных смесей с низким В/Ц отношением,
- интенсивным уплотнением,
- введением добавок и т.д.

С увеличением пористости прочность бетона резко снижается.

Прочность бетона. Различают прочность бетона на сжатие и растяжение, но, когда говорят о прочности, чаще всего подразумевают его прочность на сжатие, так как она является определяющей характеристикой качества.

Определяют прочность бетона по результатам испытаний стандартных образцов, твердеющих в нормальных условиях (при температуре 20 оС и относительной влажности не мене 95 %) в течение 28 суток (для отдельных видов бетона – в течение 180 суток).

По прочности на сжатие, растяжение и другим показателям бетоны подразделяются на классы. В нашей стране, наряду с классами, имеет хождение и прежняя характеристика прочности бетона на сжатие – марка.

На прочность бетона влияют различные факторы, рассмотрим некоторые из них.

Водоцементное отношение и водосодержание. С увеличением В/Ц увеличивается содержание воды в бетоне, а поскольку для химического взаимодействия цемента с водой требуется не более 20 % воды от массы цемента, то появляется избыточная вода, не вступившая в химическое взаимодействие с цементом, которая испаряется из бетона, образуя в нем капиллярные поры. А это ведет к снижению плотности и соответственно прочности бетона.

Однако зависимость прочности бетона от его водоцементного отношения выполняется лишь в определенных пределах. Для каждой бетонной смеси имеется оптимальное количество воды, которое позволяет получать при данном способе уплотнения бетон плотной структуры с минимальной пористостью и наибольшей прочностью.

Снижение В/Ц по сравнению с оптимальным до определенного предела может привести к увеличению прочности при усиленном уплотнении бетонной смеси. Однако излишнее снижение В/Ц может привести к получению очень жесткой не удобоукладываемой бетонной смеси. В результате плотно уложить такую бетонную смесь не представится возможным. В изделиях из такого бетона образуется множество крупных воздушных пустот и полостей и прочность резко понизится.

Расход цемента. Для каждого состава бетона имеется оптимальный (расчетный) расход цемента, обеспечивающий качественное обволакивание зерен заполнителя цементным тестом и полное заполнение межзерновой пустотности заполнителя. При снижении расхода цемента по отношению к расчетному, объема цементного теста окажется недостаточно для получения бетона плотной структуры и прочность бетона понизится. Увеличение расхода цемента сверх расчетного не должно привести к увеличению прочности бетона. Наоборот, при значительном увеличении расхода цемента объем цементного камня в бетоне увеличится, что приведет к усадке, трещинообразованию и снижению прочности.

Активность цемента. С повышением активности цемента прочность цементного камня увеличивается, а, следовательно, увеличивается и прочность бетона и наоборот.

Прочность заполнителей. Крупный заполнитель создает в бетоне каменный скелет (каркас) и поэтому играет существенную роль в формировании прочности. Мелкий заполнитель (песок), располагаясь между зернами крупного, оказывает меньшее влияние на поведение бетона под нагрузкой, а, следовательно, и на его прочность.

В целом же прочность заполнителей из плотных горных пород в определенных пределах оказывается, как правило, заведомо выше проектируемого класса бетона и прочности цементного камня и поэтому не оказывает существенного влияния на прочность бетона.

Если же применять низкопрочные заполнители, то это может существенно снизить прочность бетона и потребует увеличения расхода цемента.

Вид заполнителя. Важную роль в формировании прочности бетона играет внешний вид и шероховатость поверхности заполнителя. В отличие от гравия зерна щебня имеют развитую шероховатую поверхность, чем обеспечивается лучшее сцепление с цементным камнем, а, следовательно, бетон, приготовленный на щебне при прочих равных условиях, будет иметь большую прочность, чем бетон на гравии. При замене щебня гравием прочность бетона понижается примерно на 10-15 %. Аналогичное влияние на прочность бетона оказывает и мелкий заполнитель.

Значительное влияние на прочность бетона оказывают также качество приготовления бетонной смеси, степень уплотнения, продолжительность и условия твердения и другие факторы.

Марки и классы бетона. Марка бетона по прочности на сжатие оценивалась по среднему арифметическому значению без учета однородности результатов испытания образцов (кубов с ребром 150 мм) данного бетона в возрасте 28 суток нормально-влажностного твердения (при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности не менее 95 %) и являлась округленным значением прочности в кГс/см^2 (причем округление шло всегда в нижнюю сторону).

В зависимости от среднего значения прочности бетоны подразделялись на марки:

легкие – М5, М10...М35, М50, М100...М400 и М500;

тяжелые – М50, М100...М500...М800 и выше (через 100 кГс/см^2).

Например, марка бетона М350 означала, что его средняя прочность составляет не менее 35 и не более 40 МПа. Марка использовалась при подборе состава бетона, контроле его прочности на производстве и при проектировании железобетонных конструкций. Но с 01. 01. 1983 г. (СТ СЭВ 1406) марка бетона в старом понятии потеряла физический смысл, но в строительной практике по-прежнему имеет хождение.

Класс бетона назначается при статистическом методе контроля прочности бетона с учетом фактической однородности прочности, что не учитывала марка бетона (средняя прочность). В настоящее время при контроле прочности бетона различают кубиковую и призмную прочность.

Поскольку железобетонные конструкции по форме отличаются от кубов, то в расчетах их прочности не может быть использована непосредственно кубиковая прочность. Поэтому основной характеристикой прочности бетона сжатых элементов конструкций является призмная прочность. Определяют ее испытанием стандартных призм размерами 150x150x300 (450 и 600) мм.

Однако изготовление призм требует значительно большего расхода бетона, чем изготовление кубов, а их испытание – процесс достаточно трудоемкий. Поэтому в строительной практике призмы заменены кубами размерами $150 \times 150 \times 150$ мм, хотя их прочность \approx на 33...37 % выше, чем призмённая (вызвано это, главным образом, влиянием сил трения между плитами пресса и опорными гранями куба). Следовательно, прочность бетона на сжатие в конструкциях моделируется призмённой прочностью, которая учитывается в конструктивных расчетах и пропорциональна кубиковой. На основании опытных данных установлено, что для тяжелых и легких бетонов призмённая прочность колеблется от 0,78 для бетонов высоких классов до 0,83 для бетонов низких классов от кубиковой.

Так же следует учитывать, что характерной особенностью бетона является неоднородность его свойств, в том числе и прочности на сжатие. Объясняется это неоднородностью его составляющих (мелкого и крупного заполнителей и цемента), нарушением режимов приготовления, транспортирования, укладки (степени уплотнения) и условий твердения. Всего насчитывается более 50 факторов, от которых зависит прочность бетона, учесть которые при проектировании состава бетона и изготовлении образцов или конструкций практически невозможно. Все это и приводит к разбросу значений при определении прочности даже одного и того же состава и не позволяет достоверно оценить качество бетона только показателем его средней прочности (маркой). На практике всегда наблюдаются отклонения от средней прочности и часто очень существенные. Известно, что чем выше культура производства (лучше качество подготовки составляющих, приготовления и укладки), тем меньше будут возможные колебания прочности бетона.

Следовательно, для нормирования прочности необходимо использовать такую стандартную характеристику, которая гарантировала бы получение бетона заданной прочности с учетом возможных ее колебаний. Показателем, который учитывает возможные колебания качества бетона (однородность), является класс прочности бетона, соответствующий значениям гарантированной прочности с обеспеченностью не менее 95%. Для выполнения гарантированной обеспеченности требуемую прочность назначают в зависимости от значения фактического коэффициента вариации из условия получения обеспеченности нормативного сопротивления не ниже 95% и одновременно обеспеченности расчетного сопротивления не ниже 99,8%.

Коэффициент вариации определяется на основе данных статистического анализа и равен отношению среднеквадратического отклонения отдельных результатов испытаний к средней прочности бетона. Чем меньше значение коэффициента вариации, тем более однороден по свойствам бетон, а, следовательно, и выше его

качество. В идеальном случае коэффициент вариации может быть равен нулю. Считается, что если коэффициент вариации не превышает 10%, то бетон достаточно однороден.

Строительными нормами и действующими стандартами принят нормативный коэффициент вариации прочности бетона равный 13,5%, характеризующий технологию бетонных работ как удовлетворительную. При превышении значения в 16% следует останавливать производство и принимать меры по налаживанию его технологии.

В соответствии с ныне действующими нормативными документами в Республике Беларусь различают классы конструкционных бетонов и классы других видов бетона – специальных).

Класс конструкционного бетона по прочности на сжатие (СТБ 1544) – это количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой «С» и числами: перед чертой – выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона ($f_{c,cube}^G$, МПа), определяемой при испытании кубов с размером ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95.

Статистическую изменчивость прочности бетона учитывает коэффициенте вариации (v), обеспеченность 0,95 означает, что установленная классом прочность бетона при сжатии обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

В обозначении класса конструкционного бетона : f – прочность; c – бетон, сжатие; k – нормативное значение; G – гарантированное.

Нормативное сопротивление осевому сжатию (f_{ck} , МПа) устанавливается при испытании призм или цилиндров размером 150×300 мм с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95, которое допускается принимать равным $f_{ck} = 0,8 f_{c,cube}^G$. Гарантированная прочность бетона на осевое сжатие ($f_{c,cube}^G$, МПа) определяется при осевом сжатии кубов размером 150×150×150 мм, испытанных после 28 суток твердения при $t=20\pm 2$ °С и относительной влажности воздуха $> 60\%$ с соблюдений всех требований ГОСТ 10180, с учетом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95, гарантируемая производителем в соответствии с действующими стандартами.

В настоящее время соответствие требуемому классу бетона по прочности на сжатие устанавливают, определяя гарантированную прочность бетона $f_{c,cube}^G$ обработкой результатов испытаний по ГОСТ 18105. Точность вычисления составляет 0,1 МПа при испытании на сжатие и 0,01 МПа – на растяжение каждого образца.

Стандартами (СТБ 1544 и СТБ ЕН 206) нормированы классы конструкционного бетона по прочности при сжатии: С8/10, С12/15, С16/20, С20/25, С25/30,

C30/37, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C55/67, C60/75, C70/85, C80/95, C90/105, C100/115. В особых случаях допускается применение промежуточных значений классов прочности: C10/12,5; C18/22,5; C22/27,5; C28/35; C32/40.

Классы легких бетонов приняты от LC8/9 до LC80/88.

Класс по прочности на сжатие других видов бетона (например, для транспортного и гидротехнического строительства) обозначается латинской буквой «**B**», справа от которой записывают его прочность на сжатие в МПа. Определяется тоже при осевом сжатии кубов размером 150x150x150 мм с учётом статистической изменчивости при обеспеченности 0,95 (СТБ 2221).

Установлены следующие классы специальных бетонов по прочности на сжатие: B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B22,5; B25; B27,5; B30; B35; B40; B45; B50; B55; B60; B65; B70; B75; B80; B85; B90; B95; B100 и B105.

Для перехода от класса бетона (**B**) к средней прочности (**R**) при нормативном коэффициенте вариации (**v**) равном 13,5 % можно использовать формулу:

$$R = \frac{B}{(1 - tv)}$$

или

$$R = \frac{B}{0,778}$$

где **t** – коэффициент Стьюдента (равный 1,64), характеризующий принятую при проектировании обеспеченность 0,95; **v** – коэффициент вариации прочности бетона, который принимается равным 0,135.

Таким образом, класс бетона одной и той же марки будет выше, если снижать коэффициент вариации.

Например, при марке по прочности на сжатие М 300 и коэффициенте вариации 18% получают бетон класса B15 (или гарантированную прочность класса C12/15), а при коэффициенте вариации 5% - класса B20 (или гарантированную прочность класса C16/20), т.е. на целую ступень выше.

Установлены также и классы бетона по прочности:

на осевое растяжение - **B_t** 0,4; **B_t** 0,8; **B_t** 1,2; **B_t** 1,6; **B_t** 2,0; **B_t** 2,4; **B_t** 2,8; **B_t** 3,2; **B_t** 3,6; **B_t** 4,0.

растяжение при изгибе – **B_{tb}** 0,4; **B_{tb}** 0,8; **B_{tb}** 1,2; **B_{tb}** 1,6; **B_{tb}** 2,0; **B_{tb}** 2,4; **B_{tb}** 2,8; **B_{tb}** 3,2; **B_{tb}** 3,6; **B_{tb}** 4,0; **B_{tb}** 4,4; **B_{tb}** 4,8; **B_{tb}** 5,2; **B_{tb}** 5,6; **B_{tb}** 6,0; **B_{tb}** 6,4; **B_{tb}** 6,8; **B_{tb}** 7,2; **B_{tb}** 7,6; **B_{tb}** 8,0.

В таблице 12.10 приведено соотношение между классами и характеристиками бетона.

Таблица 12.10. Соотношение между классами и характеристиками бетона

Классы бетона		Нормативное сопротивление растяжению, МПа	Требуемая прочность бетона при подборе состава $f_{c,тр}$, МПа	
специальные	конструкционные		на сжатие	на растяжение
B10	C8/10	0,85	12,9	1,2
B12,5	C10/12,5	1,0	16,1	1,4
B15	C12/15	1,1	19,3	1,5
B20	C16/20	1,3	25,7	1,8
B22,5	C18/22,5	1,4	28,9	2,0
B25	C20/25	1,5	32,2	2,1
B27,5	C22/27,5	1,6	35,4	2,2
B30	C25/30	1,8	38,6	2,5
B35	C28/35	1,9	45,0	2,6
-	C30/37	2,0	47,6	2,8
B40	C32/40	2,1	51,4	2,9
B45	C35/45	2,2	57,8	3,0
B50	C40/50	2,5	64,3	3,5
B55	C45/55	2,7	70,7	3,7
B60	C50/60	2,9	77,1	4,0
-	C55/67	3,0	83,8	4,2
B75	C60/75	3,1	90,0	4,3
-	C70/85	3,2	102,5	4,4
-	C80/95	3,4	115,0	4,7
-	C90/105	3,5	127,5	4,8
-	C100/115	-	-	-

Прочность бетонов **при растяжении и изгибе** значительно меньше, чем прочность при сжатии.

Как правило, предел прочности при растяжении составляет $1/10 \dots 1/17$, а предел прочности при изгибе – $1/6 \dots 1/10$ предела прочности при сжатии.

Для повышения несущей способности, в особенности при изгибе и растяжении, бетон сочетают со стальной арматурой, изготавливая железобетонные конструкции.

Морозостойкость бетона - это способность бетона выдерживать агрессивные температурные перепады, а также количество циклов замораживания и оттаивания, которые непосредственно влияют на прочностные характеристики бетона или способность бетона сохранять свои физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании.

Регламентируется маркой по морозостойкости и обозначается буквой «**F**». Установлены следующие марки по морозостойкости: F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F250, F300, F400, F500, F600, F800, F1000.

Марка бетона по морозостойкости характеризуется количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы в условиях стандартных испытаний, сохраняя первоначальные физико-механические свойства

в нормированных пределах (допустимые потери массы и прочности), т.е. в соответствии с требованиями нормативных документов на конкретный вид бетона (ГОСТ 10060 и 26134).

Морозостойкость бетона зависит, главным образом, от его структуры и качества применяемых материалов. Морозостойкими оказываются, как правило, бетоны высокой плотности, а структура морозостойкого бетона должна содержать минимум капиллярных сообщающихся пор.

Повышению морозостойкости способствует сокращение водопотребности бетонной смеси, увеличение интенсивности уплотнения, применение пластифицирующих добавок.

Способствует повышению морозостойкости создание в бетоне с помощью воздухововлекающих добавок резервного объема воздушных пор, не заполняемых при обычном водонасыщении бетона, но доступных для проникновения воды под давлением, возникающем при замерзании.

Водопроницаемость бетона зависит от проницаемости цементного камня, заполнителя и контактной зоны, т.е. основными путями фильтрации воды через толщу бетона могут быть зоны контакта между заполнителем и цементным камнем, микротрещины в цементном камне, дефекты в зоне сцепления бетона со стальной арматурой.

Для бетонов конструкций, к которым предъявляются требования по ограничению проницаемости воды или повышенной плотности и коррозионной стойкости, установлены марки по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W10, W12, W14, W16, W18, W20.

Марка бетона по водонепроницаемости характеризуется максимальной величиной давления воды (в атмосферах или кгс/см²), при которой не наблюдается ее просачивания через образцы, изготовленные в соответствии с требованиями (образец-цилиндр высотой 15 см).

Повысить водонепроницаемость можно как на стадии приготовления, укладки и твердения бетонной смеси, так и уже затвердевшего бетона.

К первой группе способов повышения водонепроницаемости можно отнести: применение цементов более высокой активности, снижение В/Ц отношения, увеличение содержания растворной части в бетоне, создание водных условий твердения, применение химических добавок и др.

Основным способом повышения водонепроницаемости затвердевшего бетона является пропитка его мономером с последующей полимеризацией.

ТЕМА 13. РАЗНОВИДНОСТИ БЕТОНОВ И ДРУГИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

13.1. Общие сведения

Разновидности бетонов и их составы разрабатываются, в основном, применительно к конкретным условиям эксплуатации и наименования их, как правило, соответствуют определяющим классификационным признакам, в том числе эксплуатационным.

Поэтому наименования бетонов могут соответствовать:

- их назначению (гидротехнический, дорожный, теплоизоляционный, для защиты от радиоактивного воздействия),
- характеру структуры (плотные, ячеистые, крупнопористые),
- способу образования пористой структуры (пено- и газобетон),
- условиям твердения (автоклавный),
- виду вяжущего (силикатные, полимербетоны, асфальтобетоны),
- виду заполнителя (керамзитобетон, аглопоритобетон),
- свойствам (высокопрочные, лёгкие) и др.

Всего в настоящее время насчитывается более 1000 наименований различных видов бетона и процесс создания новых разновидностей бетона продолжается. Далее рассмотрим основные виды бетонов, наиболее широко применяемые в строительстве.

13.2. Бетоны плотной структуры (тяжелые)

К таким бетонам относят бетоны, у которых пространство между зернами заполнителя полностью заполнено затвердевшим вяжущим и порами вовлеченного воздуха, в т. ч. образующихся за счет применения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона (СТБ 1310).

Мелкозернистый бетон. Мелкозернистым (МЗБ) называют бетон, как правило, на цементном вяжущем с плотным мелким заполнителем.

Для приготовления такого бетона применяют природный чистый песок с модулем крупности до 2,5 и добавкой мелкой фракции крупного заполнителя 5..10 мм.

Свойства мелкозернистых бетонов в значительной степени определяются количеством и качеством вяжущего и заполнителя (крупностью и прочностью зёрен, гранулометрическим составом, качеством поверхности, пустотностью).

Для бетонов мелкозернистого строения характерны отсутствие жёсткого каменного скелета, более высокая удельная поверхность заполнителя, а иногда и повышенный объём межзерновой пустотности. Поэтому для мелкозернистых бетонов требуется повышенное содержание цементного теста (цемента) – на 20...40% по сравнению с обычным крупнозернистым бетоном. Для сокращения расхода цемента необходимо применять высококачественные пески, пластифицирующие добавки, производить хорошее уплотнение смеси.

С уменьшением крупности заполнителя и расхода цемента существенно снижается прочность мелкозернистого бетона. Если в крупнозернистом бетоне замена крупного песка мелким незначительно понижает прочность бетона (на 5...10%), то в мелкозернистом бетоне на 25...30% и более. Поэтому для приготовления мелкозернистых бетонов лучше использовать чистые и крупные пески или обогащать мелкий песок более крупными фракциями, в том числе фракцией 5...10 мм.

Вместе с тем мелкозернистый бетон отличается более однородным строением, повышенной прочностью на изгиб, хорошей водонепроницаемостью и морозостойкостью.

Армируя такой бетон стальными ткаными сетками получают армоцемент – высокопрочный материал для тонкостенных конструкций.

Применяют мелкозернистый бетон: при возведении монолитных зданий и сооружений, изготовления тротуарной плитки, укладки дорожного полотна, для изготовления густоармированных и тонкостенных армоцементных конструкций сложного очертания, при замоноличивании стыков сборных сооружений и др.

Высокопрочные бетоны (ГОСТ 31914) имеют прочность на сжатие не менее 60 МПа (по определению Международных организаций по строительству – с прочностью на сжатие в цилиндрах 60...130 МПа). По СТБ EN 206 к высокопрочным относят нормальные и тяжёлые бетоны прочностью класса C50/60 и выше и лёгкие – класса C50/55 и выше.

Однако пределы прочностных характеристик таких бетонов чисто условны, поскольку больше связаны с уровнем развития науки и техники в области производства цемента, бетона и химических добавок.

Условно различают:

- высокопрочный бетон (от 60 до 100 МПа),
- особо высокопрочный бетон (более 100 МПа),
- сверхпрочный бетоны (разработанный в соответствии со специальными высокими требованиями).

Высокой прочности таких бетонов можно достигнуть при выполнении ряда условий, вытекающих из физических основ структурообразования бетона. Основными из них (в т. ч. комплексными) являются:

- применение высокопрочных цементов, высокоактивных модифицированных вяжущих,
- предельно низкие В/Ц отношения (0,20...0,30) при достаточно высокой степени гидратации цемента,
- использование плотных высокопрочных заполнителей,
- применение добавок–пластификаторов, в частности, суперпластификаторов и гиперпластификаторов, комплексных добавок совместно с реакционноактивным микрокремнезёмом (МК) и др.

Для получения высокопрочных бетонов необходимы тщательное перемешивание и высокоинтенсивное уплотнение бетонной смеси (вибрирование с пригрузом, двойное вибрирование), создание наиболее благоприятных условий твердения и др.

Способствуют повышению прочности бетона:

- высокий предельно допустимый расход цемента (до 550...600 кг/м³),
- повышение плотности и прочности цементного камня (когезионный фактор)
- и прочности контактной зоны (адгезионный фактор).
- максимально возможное насыщение бетона крупным заполнителем за счёт подбора состава оптимального зернового состава (в т. ч. прерывистого зернового состава или из 2...3 фракций с минимальной зерновой пустотностью – менее 40%),
- создание высокоплотной упаковки мелкого и крупного заполнителя и оптимальное соотношение между содержанием щебня и растворной составляющей,
- дисперсное армирование короткой и тонкой высокопрочной арматурой и др.

Вместе с тем практика показывает, что расход цемента сверх 550...600 кг/м³ мало повышает прочность бетона и экономически не целесообразен.

Зерна заполнителя должны обладать высокой прочностью и высоким модулем упругости. Для этого необходимо применять заполнитель из диабазовых, базальтовых, габбровых и гранитных горных пород прочностью не менее 100 МПа.

В составе мелкого заполнителя должно быть по минимуму содержание мелкодисперсных частиц (<0,125 мм) и от 0,125 до 0,25 мм.

Высокая прочность бетонов часто достигается за счёт применения специальных или новейших технологических приёмов:

- сухого бетонирования,
- оптимизации гранулометрического состава вяжущих,
- каландрирования цементов в присутствии суперпластификаторов и гелеобразователей,
- за счёт регулирования процессов гидратации и кристаллообразования на наноуровне,

– особо тонкой гранулометрии заполнителей и многокомпонентности бетонной смеси, включающей различные добавки и присадки, формования смесей под высоким давлением и др.

Отличаются высокопрочные бетоны высокой плотностью микро- и макроструктуры, умеренным или низким тепловыделением при гидратации, не вызывающим деформации структуры бетона, повышенной долговечностью и стойкостью по отношению к атмосферным и другим агрессивным воздействиям и, как правило, быстрым твердением. Усадка таких бетонов, несмотря на высокий расход цемента, не больше, а в ряде случаев несколько меньше усадки обычного бетона, что объясняется низким значением В/Ц и высокой концентрацией крупного заполнителя в бетоне.

Высококачественные (высокофункциональные) – это бетоны с высокими эксплуатационными свойствами, которые применяются для ответственных сооружений и обладают прогнозируемой долговечностью более 200 лет.

В мировом научном сообществе такие бетоны получили название «High Performance Concrete – НРС» и требования к ним в разных странах определяются больше отечественным уровнем развития науки и технологий.

По составу они представляют собой многокомпонентные системы, в которых используются композиционные вяжущие вещества, химические модификаторы структуры и свойств, активные минеральные компоненты и расширяющие добавки. Многокомпонентность таких систем и позволяет управлять структурообразованием на всех этапах технологии.

Прочность таких бетонов в возрасте 28 суток составляет 60...120 МПа, морозостойкость – F400 и выше, водонепроницаемость – W12 и выше, водопоглощение – 1,0...2,5%, истираемость – не более 0,4 г/см², также у высококачественных бетонов высокий модуль упругости, химическая стойкость и другие показатели.

Применяются высококачественные бетоны при строительстве монолитных и сборно-монолитных специальных сооружений, взлётно-посадочных полос аэродромов, монолитных конструкций стартовых комплексов для космических систем.

Самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) получают из бетонных смесей, не требующих виброуплотнения, т. е. способных самостоятельно уплотняться без расслоения и обволакивать армирующие элементы без вибрирования или иного механического воздействия под действием собственной массы. Бетонная смесь такого состава полностью заполняет форму даже в густоармированных конструкциях с вытеснением вовлечённого воздуха. А затвердевшая бетонная смесь обладает такими же свойствами, в т. ч. прочностью, что и традиционный вибрированный бетон, а в ряде случаев и превосходит, например, по прочности, коррозионной стойкости, декоративным качествам.

СУБ относится к классу высокопрочных (60...100 МПа и более и морозостойкостью до F600) и высококачественных бетонов.

Основными качественными характеристиками самоуплотняющихся бетонных смесей являются:

- подвижность (растекаемость и текучесть),
- вязкость, устойчивость к расслоению (расслаиваемость),
- способность преодолевать препятствия – проходить через узкие места, например, между арматурными стержнями без расслоения и блокировки.

СТБ ЕН 206 предусматривает шесть классов бетонной смеси по растекаемости – от F1 (>340 мм) до F6 (>620 мм). На практике растекаемость таких бетонных смесей достигает 850 мм и более.

В самоуплотняющихся бетонах, помимо традиционных составляющих, используются мелкозернистые ингредиенты (наполнители), модификаторы вязкости, гиперпластификаторы (по количеству на порядок больше, чем у обычных бетонов), и, как правило, повышенный расход цемента.

Затвердевшие бетоны (СУБ) отличаются повышенной плотностью, однородностью, отсутствием в структуре крупных пор и капилляров, достаточно высокой прочностью и коррозионной стойкостью.

Применяются самоуплотняющиеся бетоны для бетонирования густоармированных и тонкостенных конструкций, устройства монолитных высокопрочных бесшовных полов, торкретбетонирования, реставрации и усиления конструкций.

Декоративные бетоны получают путем обработки окрашиванием, полировкой, текстурированием, тиснением, гравировкой, использованием топпингов и других приемов для достижения требуемых эстетических свойств (рисунок 13.1). В зависимости от состава и назначения декоративные бетоны подразделяют на цветные и имитирующие природные камни или сами по себе обладающие выразительной структурой. При необходимости поверхность таких бетонов подвергают специальной обработке или формируют изделия с рельефной поверхностью.

Для получения цветных бетонов красящие составляющие могут вводиться как в бетонную смесь на стадии её приготовления (объемное окрашивание), так и наноситься на поверхность уже готовых изделий (поверхностное окрашивание). В качестве цветных компонентов применяют различные щелочестойкие минеральные и органические пигменты, декоративные заполнители (молотый мрамор, молотое стекло).

Расход цемента в цветных бетонах по сравнению с обычными принимается несколько большим – 400...500 кг/м³. Это позволяет повысить плотность и улучшить цветовую выразительность поверхности бетона.

Расход воды в цветных бетонах определяется, как правило, предварительным испытанием и затем постоянно контролируется, поскольку даже небольшие изменения в расходе воды влекут за собой заметные изменения цвета бетона.



Рис. 13.1. Декоративный бетон

Для повышения художественной выразительности декоративных бетонов применяют специальные технологические приёмы, позволяющие обнажить заполнители и выявить структуру бетона. Для обнажения заполнителя используют различные замедлители твердения.

Выявление структуры бетона достигается также шлифовкой и полировкой поверхности, обработкой пневматическими молотками, пескоструйными аппаратами.

Для получения декоративной поверхности и достижения требуемых эстетических свойств используют тиснение, гравировку, специальные формы из полиуретановой резины, которые позволяют с микронной точностью воспроизводить мельчайшие детали рельефа поверхности и другие приемы.

Декоративные бетоны могут идеально воспроизводить или имитировать цвет и текстуру практически любого материала: керамики, песчаника, состаренного дерева и др.

Бетоны для защиты от радиоактивных излучений. Такие бетоны называют ещё **особо тяжёлые** (с плотностью более 2600 кг/м^3), **гидратные** – с высоким содержанием химически связанной воды (более 3 % по массе), радиационно-защитные, лученепроницаемые и др.

К искусственным источникам радиации относятся ядерные энергетические и исследовательские реакторы, отходы тепловых и атомных электростанций, продукты ядерных взрывов и др.

Из всех радиоактивных излучений наибольшей проникающей способностью обладают **γ -лучи и нейтроны**. Способность материалов поглощать γ -лучи пропорциональна их плотности. А для ослабления потока нейтронов в материале, наоборот, должны присутствовать элементы с малой атомной плотностью, как, например, водород.

Поэтому бетон является достаточно эффективным материалом для защиты от радиоактивного воздействия, поскольку в нем удачно сочетаются при сравнительно низкой стоимости высокая плотность и содержание достаточно большого количества водорода в воде, связанной с вяжущим.

Такой бетон должен соответствовать заданной прочности, иметь относительно низкий модуль упругости, что позволяет снизить величину растягивающих напряжений во внешней зоне защиты, вызываемых односторонним нагревом. Бетон, располагаемый у активного корпуса реактора, должен быть огнестойким и жаростойким даже при температурах, возможных при аварийном режиме реактора.

Для повышения плотности бетона в качестве заполнителей используют весьма тяжёлые (с высокой плотностью) железные руды (магнетит и гематит с содержанием железа не менее 60%), горные породы (минералы) – ильменит, серпентинит, колеманит, обрезки железа, стальные гранулы и т. п. Мелкий заполнитель обычно составляют дроблёный бурый железняк, баритовые руды (барит), кварцитовые «хвосты», чугунная и свинцовая дробь и др. При использовании горной породы ильменита (в качестве мелкого заполнителя плотностью 4620 кг/м^3 и крупного – 4760 кг/м^3) можно получить бетон плотностью более 4000 кг/м^3 . Плотность бетона на металлическом заполнителе достигает 6000 кг/м^3 .

Лучшими вяжущими в таких бетонах считаются те, которые связывают большее количество воды: алюмо-шлаковый, глинозёмистый, расширяющийся, пуццолановый и шлакопортландцемент, каустический магнезит.

Иногда в их состав вводят добавки, улучшающие защитные свойства бетона, например, карбид бора и тетрабора, хлористый литий, серноокислый кадмий и др.

Гидротехнический бетон (СТБ 2221) является разновидностью тяжёлых конструкционных бетонов и должен обеспечивать длительную эксплуатацию сооружений, постоянно или периодически омываемых водой. Такие бетоны применяются при возведении гидроэнергетических (плотины, шлюзы, туннели, каналы), гидромелиоративных, транспортных сооружений и гидросооружений водоснабжения и канализации и др.

По условиям эксплуатации различают бетон:

- подводный – постоянно находящийся в воде;
- надводный – подвергаемый лишь периодическому обмыванию (контактированию) водой;
- расположенный в зоне переменного уровня воды – находящийся в самых суровых условиях эксплуатации (многократно замерзает и оттаивает во влажном состоянии). Водопоглощение такого бетона не должно превышать 5%.

Кроме того, различают бетоны **наружной зоны**, подвергающиеся непосредственному влиянию среды, и **внутренней зоны**, защищённые наружным бетоном от воздействия среды. Поэтому требования к гидротехническому бетону предъявляются дифференцированно с учётом зонального распределения бетона в конструкции. Различают также **массивные и немассивные** гидротехнические бетоны.

Массивные сооружения (плотины) требуют специальных мер для регулирования температурных напряжений, возникающих при выделении теплоты в бетоне. Например, главное требование к массивному бетону и бетону внутренней зоны – минимальная величина тепловыделения при твердении, так как неравномерный разогрев массива может вызвать образование температурных трещин.

В зависимости от условий эксплуатации для приготовления гидротехнического бетона применяют портландцемент, гидрофобный, пластифицированный, пуццолановый, сульфатостойкий и шлакопортландцемент. Заполнителями служат песок, гравий и щебень крупностью до 150 мм из плотных горных пород. Для повышения качества гидротехнического бетона в его состав вводят различные добавки: – воздухововлекающие, пластифицирующие, уплотняющие и др.

По прочности на осевое сжатие их подразделяют на классы В10...В40, по водонепроницаемости на марки W2, W4, W6, W8, по морозостойкости – F50, F75, F100, F150, F200, F250, F300. Причём прочность на сжатие и водонепроницаемость определяются в возрасте 180 суток.

Помимо прочности к гидротехническому бетону предъявляются повышенные требования по плотности, водонепроницаемости, водо-, морозо- и коррозионной стойкости и др.

Силикатный бетон (ГОСТ 25214) получают тепловлажностной обработкой (в автоклавах (рисунок 13.2)) смесей, состоящих из известково-кремнезёмистого вяжущего, неорганического заполнителя и воды, т. е. это искусственный камневидный конгломерат, получаемый из уплотненной и отвердевшей в автоклаве увлажненной смеси из молотой извести (6...30 %), молотого кварцевого песка (8...15 %) и обычного кварцевого песка (60...80 %) или другого заполнителя.

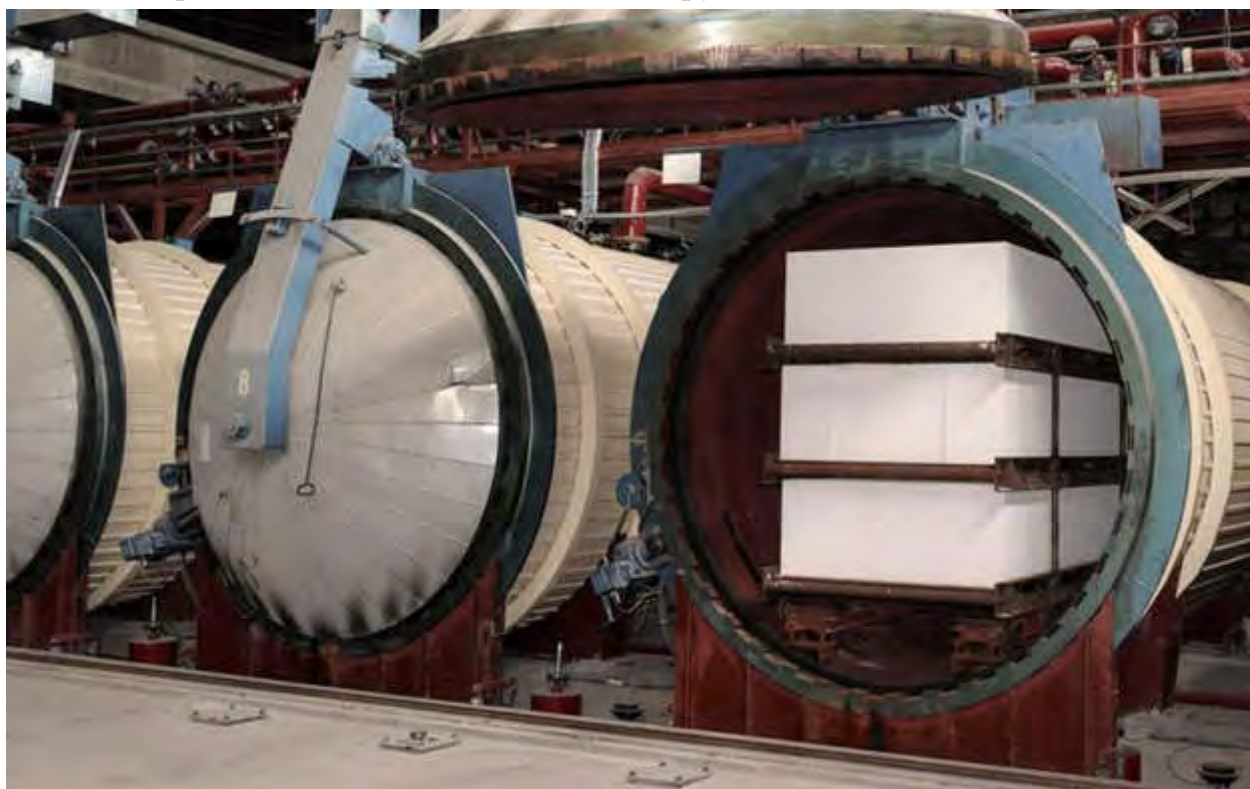


Рис. 13.2. Автоклав

В качестве вяжущего в силикатных бетонах используют тонкомолотые смеси воздушной или гидравлической извести с материалами, содержащими кремнезём (молотые кварцевые пески, золы ТЭС, вулканические горные породы, металлургические, топливные и другие шлаки).

Заполнителями в таких бетонах служат природные или искусственные пески и другие, более крупные фракции (плотные и пористые) размером, как правило, не более 20 мм.

Как правило, в состав силикатных бетонов входит 70...80 % кварцевого песка, 8...15 % молотого песка и 6...10 % извести.

В процессе обработки паром под давлением 0,9...1,5 МПа при температуре 175...200 °С смесь затвердевает в результате образования в ней гидросиликатов и других соединений кальция.

Качество силикатного бетона автоклавного твердения зависит:

- от состава и структуры новообразований, а, следовательно, от содержания вяжущего и молотого песка,
- однородности смеси,
- степени ее уплотнения,
- водосодержания,
- качества извести и песка,
- режима автоклавной обработки, т. е. от правильного управления физическими явлениями, возникающими на различных этапах автоклавной обработки.

Силикатные бетоны могут быть тяжелые (плотной структуры), легкие и ячеистые.

Плотность силикатных бетонов плотной структуры составляет 1800...2200 кг/м³, прочность – до 60 МПа и более (редко 60...80 МПа), морозостойкость – F75...F200. Плотность ячеистых силикатных бетонов колеблется в пределах от 150 до 1200 кг/м³ при прочности от 0,25 до 12,5 МПа.

Для получения легких силикатных бетонов применяют пористые заполнители – керамзит, аглопорит, вспученный перлит, шлаковую пемзу и другие пористые материалы в виде гравия и щебня.

Жаростойкие бетоны (ГОСТ 20910) – специальные бетоны, предназначенные для применения в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях, работающих в условиях воздействия высоких технологических температур (200...1700 °С и выше), т.е. они способны сохранять свои свойства при продолжительном воздействии высоких температур в тепловых агрегатах.

Обычный тяжелый бетон способен стабильно сохранять прочность до 100оС. Однако при температуре более 140...150 °С прочность снижается с ухудшением других свойств.

Предназначены жаростойкие бетоны для облицовки, футеровки промышленных агрегатов (котлов, печей), строительных конструкций, подверженных нагреванию, например, дымовых труб и др.

Следует различать жаростойкий (ГОСТ 20910) и огнеупорный бетоны (ГОСТ 34470).

Огнеупорный бетон (ГОСТ 34470) – огнеупор в твердом, жидком или сыпучем состоянии, состоящий из огнеупорного заполнителя, вяжущего и, при необходимости, жидкости затворения и добавок, предназначенный для изготовления огнеупорных бетонных изделий, ремонта огнеупорных футеровок, а также огнеупорные бетонные изделия и огнеупорные футеровки на разных стадиях затвердевания.

Для приготовления жаростойких бетонов в качестве вяжущих применяют портландцемент, быстротвердеющий портландцемент, шлакопортландцемент, глиноземистый и высокоглиноземистый цементы, жидкое стекло (силикат-глыбу).

В качестве заполнителей применяют шамотные, корундовые, магнезиальные, алюмосиликатные, керамзит и аглопорит, шлаковую пемзу, перлит и вермикулит, шлак (доменный, литой, отвальный и гранулированный) и др. с крупностью зерен до 20 мм.

Для бетонов на портландцементе и жидком стекле применяют тонкомолотые добавки устойчивые к воздействию высоких температур: шамотные, золошлаковые смеси ТЭС, керамзитовые, аглопоритовые, золу-уноса, глиноземистые, силикатные, алюмосиликатные и др.

При действии высокой температуры на цементный камень возможно разложение гидроксида кальция $Ca(OH)_2$ с образованием CaO . Поэтому жаростойкий бетон часто изготавливают на портландцементе с активной минеральной добавкой или вводят тонкоизмельченные материалы, содержащие активный кремнезем SiO_2 . Кремнезем SiO_2 реагирует с CaO при температурах 700...900 °С и связывают ее в устойчивое соединение.

Глиноземистый цемент можно применять без тонкомолотой добавки, поскольку при его твердении не образуется $Ca(OH)_2$.

Основными качественными характеристиками таких бетонов являются прочность на сжатие, предельно допустимая температура применения, термическая стойкость, средняя плотность, усадка и др.

Классы по предельно допустимой температуре применения – от И2 до И18 (с предельно допустимой температурой применения соответственно 200 и 1800 °С).

13.3. Бетоны пористой структуры (легкие)

По способу создания пористой структуры легкие бетоны подразделяют:

- на пористых заполнителях,
- ячеистые,
- крупнопористые (беспесчаные),
- поризованные.

Плотность их составляет от 150 до 2000 кг/м³ (СТБ 1187).

Снизить среднюю плотность бетона можно:

- применением пористых заполнителей вместо плотных;
- поризацией самой тяжелой части бетона цементного камня, т.е. созданием в нем мелких замкнутых пор. Для этого используют небольшое количество пено- или газообразующих веществ.

Мелкие и равномерно распределенные поры в цементном камне незначительно понижают прочность, но существенно уменьшают плотность и теплопроводность бетона.

По структуре легкие бетоны подразделяют на:

- плотные;
- поризованные;
- крупнопористые.

Легкий бетон плотной структуры (плотный) – бетон с мелким заполнителем, у которого все пространство между зернами крупного пористого заполнителя заполнено затвердевшим раствором и порами вовлеченного воздуха, образованными за счет применения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона.

По способу порообразования поризуемые:

- пеной;
- газом;
- воздухововлекающими добавками.

Качество лёгкого бетона оценивается классом по прочности на сжатие и марками по плотности, морозостойкости, водонепроницаемости и другими показателями.

По назначению, плотности и прочности легкие бетоны подразделяют на:

- теплоизоляционные, марки по плотности от D200 до D500 и классы по прочности на сжатие LC0,35; LC0,5; LC0,75; LC1 и LC2. Теплопроводность их в сухом состоянии должна быть не более 0,14 Вт/(м °К) (ГОСТ 25820-2014);
- конструкционно-теплоизоляционные – D600...D900 и классы по прочности на сжатие LC2,5; LC3,5; LC5; LC7,5 и LC8/9;
- конструкционные – D1000...D2000 и классы по прочности на сжатие LC8/9; LC12/13; LC16/18; LC20/22; LC25/28; LC30/33; LC35/38; LC40/44; LC45/50 и LC50/55;
- специальные.

Марка бетона по средней плотности (СТБ 1187) отвечает гарантированному значению средней плотности бетона в кг/м³, обозначается буквой **D** и числом, выражающим значение плотности бетона в сухом состоянии.

По СТБ EN 206 по средней плотности в сухом состоянии легкие бетоны плотной структуры подразделяют на классы (с диапазоном плотности, кг/м³) соответственно D1,0 (800...1000); D1,2 (1000...1200); D1,4 (1200...1400); D1,6 (1400...1600); D1,8 (1600...1800) и D2,0 (1800...2000).

Бетоны, используемые для изготовления сборных армированных изделий, подразделяются на классы по прочности на сжатие LAC 2... LAC 25;

По морозостойкости для легких бетонов установлены марки F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400 и F500; по водонепроницаемости – W2; W4; W6; W8; W10 и W12.

Бетоны на пористых заполнителях подразделяются по виду заполнителя. В качестве заполнителей для таких бетонов используются:

- природные пористые (пемза, вулканический туф, известняк-ракушечник и др.),
- искусственные (керамзит, аглопорит, перлит, вермикулит, шлаковая пемза, гранулированные металлургические и топливные шлаки, зола и др.).

К пористым заполнителям относят сыпучие материалы, имеющие насыпную плотность массы зерен размером 5...40 мм не более 1000 кг/м³ и зерен до 5 мм – не более 1200 кг/м³.

Заполнителями могут служить и органические материалы природного (измельчённая древесина, костра льна) и искусственного происхождения (гранулированный пенопласт и др.).

Следовательно, бетоны на пористых заполнителях – это бетоны на пористом крупном и пористом или плотном мелком заполнителе.

Названия такие бетоны получают, как правило, в зависимости от вида крупного пористого заполнителя:

- керамзитобетон,
- аглопоритобетон,
- шлкобетон,
- перлитобетон
- полистиролбетон и др.

Основные физико-механические показатели бетонов на пористых заполнителях зависят от многих факторов, важнейшими из которых являются:

- качество заполнителей и их зерновой состав,
- вид и количество вяжущего и добавок,
- содержание воды в смеси,
- способы и режимы укладки и уплотнения бетонной смеси и др.

Основными свойствами пористых заполнителей являются плотность, пористость и прочность, которые и определяют соответствующие свойства таких бетонов (таблица 13.1).

Таблица 13.1. Сравнительные характеристики лёгких заполнителей

Вид заполнителя	Насыпная плотность, кг/м ³	Водопоглощение, %	Прочность на сжатие, МПа	Теплопроводность, Вт/(м·К)
-----------------	---------------------------------------	-------------------	--------------------------	----------------------------

Керамзит	300...600	12...30	0,80...5,50	0,23...0,58
Аглопорит	700...900	16...30	0,65...1,60	0,26...0,70
Гранулированное пеностекло	140...200	5...10	0,30...1,10	0,070...0,079
Гранулы пенополистирола	10...35	до 3	0,05...0,15	0,027...0,040

Пористые заполнители вследствие особенностей своей структуры имеют невысокую плотность и прочность, обычно ниже прочности цементного камня (растворной части). Поэтому чем больше содержание в бетоне заполнителя и ниже его плотность, тем ниже средняя плотность и прочность бетона.

Для снижения плотности лёгкого бетона на пористых заполнителях без снижения его прочности целесообразно применять высокопрочные цементы. Особенностью таких бетонов является и то, что их прочность зависит не только от активности цемента, но и от его количества. С увеличением расхода цемента растут его плотность и прочность.

Ячеистый бетон – материал пористой структуры, изготовленный из вяжущего, тонкомолотого кремнеземистого компонента, порообразователя и воды (СТБ 1570). Мелкие воздушные ячейки (поры) размером 0,5...2 мм равномерно распределены по всей массе ячеистого бетона и разделены тонкими и прочными перегородками из отвердевшей композиции вяжущего вещества и наполнителя. В результате образуется достаточно прочный пространственный каркас.

В зависимости от способа образования пористой структуры (рисунок 13.3) такие бетоны подразделяют на:

- газобетоны, если в смесь вводится газообразователь и поры образуются в результате вспучивания массы в период ее схватывания выделяющимися газами;
- пенобетоны, если смесь смешивается с устойчивой технической пеной, т. е. образование пор является результатом вспенивания массы или смешивания ее с заранее изготовленной пеной;
- газопенобетоны, если поры образуются путём механического смешивания предварительно изготовленной устойчивой органической пены и газообразователя, т. е. поры образуются вспучиванием вспененной массы.

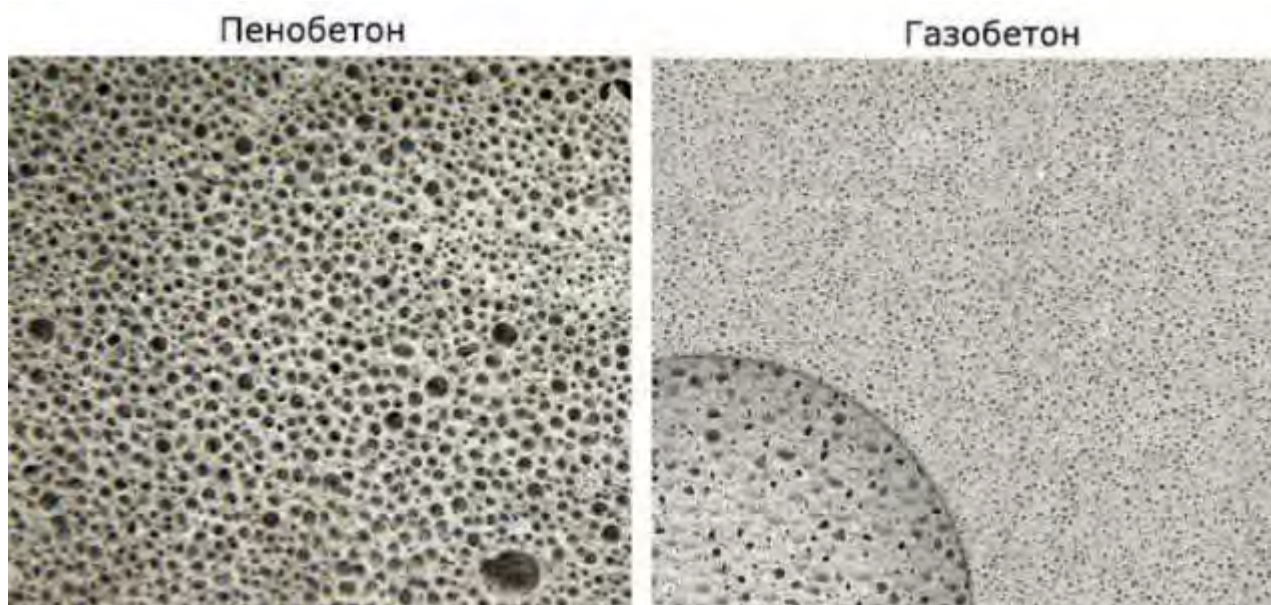


Рис. 13.3. Виды ячеистого бетона

В зависимости от **условий твердения** различают ячеистые бетоны:

- автоклавного твердения – твердеющий в среде насыщенного водяного пара при температуре 175...200 °С и давлении 0,8...1,3 МПа при общей продолжительности 10...17 ч. (т. е. это бетон, как правило заводского изготовления, твердеющий при давлении выше атмосферного);

- неавтоклавного твердения – твердеющий в естественных условиях, при электропрогреве или в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении.

В качестве **газообразователей** применяют преимущественно алюминиевый порошок (ПАП-1 или ПАП-2) с содержанием активного алюминия не менее 80% в виде водной суспензии либо пасты и другие газообразующие вещества.

Между алюминием и гидроксидом кальция происходит химическая реакция с выделением большого количества газа – водорода и тепла:



Благодаря водороду в газосиликатном бетоне (смеси) образуются сферические поры. Расход алюминиевой пудры для изготовления 1 м³ газобетона при плотности 600...700 кг/м³ составляет ≈0,4...0,5 кг. Технология производства газобетона позволяет получать изделия пониженной плотности и более стабильными свойствами.

Для получения пены используют **пенообразователи** на основе алкилсульфатов, сульфонов, производных карбоновых кислот и/или смоляных кислот, гидролизаты белков и другие пенообразователи.

При длительном взбивании эмульсии получается большой объем устойчивой пены. Расход пенообразователя – 6...12 % от расхода воды. К сожалению, пена не отличается стабильностью, что вызывает колебания плотности и прочности изделий.

В зависимости от требований к изделиям и технологии в качестве вяжущего могут использоваться цемент, известь, гипс или их композиции.

В качестве **кремнеземистого компонента** используются молотые кварцевый песок и гранулированный доменный шлак, зола-унос ТЭЦ и др.

Технология производства ячеистого бетона включает:

- подготовку сырьевых материалов,
- помол компонентов,
- смешивание компонентов и получение ячеистобетонной смеси,
- заполнение форм и вспучивание в них смеси,
- выдерживание,
- разрезание массивов,
- тепло-влажностная обработка (автоклавная),
- калибровка и отделка.

Изготавливают такой бетон как в стационарных условиях производственного цеха, так и непосредственно на строительной площадке с помощью современного мобильного оборудования.

Основными **показателями качества** ячеистых бетонов являются:

- плотность,
- прочность на сжатие,
- пористость,
- морозостойкость,
- теплопроводность,
- усадка при высыхании,
- паропроницаемость и др.

Плотность ячеистых бетонов колеблется в пределах от 150 до 1200 кг/м³ и косвенно характеризует пористость, которая составляет соответственно 85...60%.

Основное влияние на плотность и пористость ячеистых бетонов оказывают расход порообразователя и степень использования его порообразующей способности, также определённое влияние на эти показатели оказывают температура смеси и количество воды затворения.

По плотности ячеистые бетоны подразделяются на марки D150... D1200.

При определении марки средняя плотность бетона в сухом состоянии должна составлять ± 25 кг/м³ от численного показателя марки. Например, для марки D200 – 176...225 кг/м³, D800 – 776...825 кг/м³ и т. д.

На прочностные характеристики и другие технические свойства ячеистых бетонов наряду с общей пористостью влияют также характер распределения пористости и степень равномерности этого распределения по крупности.

По прочности ячеистые бетоны подразделяются на классы B0,25...B12,5.

В зависимости от **назначения** ячеистые бетоны подразделяют на:

- теплоизоляционный – класс прочности на сжатие не ниже В0,35 и марка по плотности – не выше D400;
- конструкционно-теплоизоляционный – соответственно не ниже В1,5 и не выше D700;
- конструкционный – не ниже В3,5 и D700 и выше.

Применяют ячеистые бетоны для изготовления тепло- и звукоизоляционных изделий, блоков, плит, перемычек, стеновых панелей, панелей перекрытий, лёгких железобетонных конструкций и в качестве отделочного материала. Из них изготавливают панели наружных стен и покрытий зданий, перемычки, неармированные стеновые блоки и теплоизоляционные плиты, камни для стен, и другие изделия.

В Республике Беларусь изделия из ячеистого бетона выпускают: ЗАО «Могилёвский КСИ», ООО «Газосиликат»; ОАО «Забудова», ОАО «Гродненский КСМ», «Гомельстройматериалы», «Сморгоньсиликатобетон», ОАО «Любаньский завод стеновых блоков», ОАО «Минский КСИ», «Оршастройматериалы» и ОАО «Березовский КСИ».

Крупнопористый бетон (бетон крупнопористой структуры, беспесчаный бетон), в котором крупный пористый заполнитель скреплен небольшим количеством цементного камня, который, обволакивая тонким слоем зерна крупного заполнителя, не заполняет межзерновую пустотность заполнителя.

Структура крупнопористого бетона характеризуется зернистым строением и открытой непрерывной (сквозной) пористостью. (СТБ 1187).

В состав крупнопористого бетона входят крупный заполнитель, вяжущее вещество и вода.

Поризованные лёгкие бетоны по своей структуре и свойствам занимают промежуточное положение между бетоном плотной структуры и ячеистым бетоном.

Поризация осуществляется с целью снижения плотности и улучшения теплофизических свойств бетонов и, как правило, на пористых заполнителях.

Следовательно, **поризованный** – это бетон без мелкого заполнителя, у которого все пространство между зёрнами крупного пористого заполнителя заполнено затвердевшим поризованным цементным камнем, образованным за счет применения добавок, регулирующих пористость бетонной смеси и бетона (СТБ 1187).

В качестве заполнителей чаще всего используют пористые заполнители, например, керамзит. Расход крупного пористого заполнителя в таких бетонах составляет не менее 0,85 м³ на м³ бетона.

В качестве **порообразователей** применяют либо предварительно приготовленную пену, газообразующие или воздухововлекающие добавки. Пенной поризуют

только беспесчаные смеси, воздухововлекающими добавками – только смеси с песком, газообразующими – с песком и без песка.

Поризованные легбетонные смеси обладают более высокой связностью и удобоукладываемостью, а затвердевшие бетоны имеют пониженную плотность (700...1400 кг/м³) и теплопроводность.

Прочность поризованного бетона зависит, прежде всего, от степени поризации, прочности растворной составляющей и заполнителя, его объёмной концентрации и составляет 5...10 МПа.

В зависимости от используемого заполнителя и способа поризации такие бетоны называют: керамзитопенобетон, керамзитобетон с воздухововлекающими добавками и т. д.

13.4. Армированные бетоны

Железобетон. Основной причиной, способствующей изобретению железобетона послужило то, что бетон, как и всякий хрупкий каменный материал, хорошо работает на сжатие, но плохо на растяжение и разрушается даже при сравнительно небольших изгибающих нагрузках. Предел прочности бетона при растяжении примерно в 10–18 раз меньше, чем при сжатии. Кроме того, бетон является хрупким материалом. Наглядно работу бетонной конструкции под нагрузкой можно проследить на примере балки, лежащей на двух опорах и воспринимающей изгибающую нагрузку (рисунок 13.4).

Из рисунка видно, что по высоте поперечного сечения балки под действием нагрузки F образуются две зоны напряжений, которые разделены нейтральной плоскостью (на рисунке осью $0 - 0$). Верхняя зона от оси $0 - 0$ балки испытывает сжатие, а нижняя – растяжение. Представим себе, что материал, из которого сделана балка, имеет одинаковые пределы прочности при сжатии ($R_{сж}$) и растяжении ($R_{раст}$). Тогда нижняя и верхняя зоны балки разрушились бы одновременно. Но, поскольку $R_{раст} < R_{сж}$, то разрушение нижней зоны произойдет значительно раньше, чем верхней. Разрушение происходит в результате образования в нижней зоне трещин, развитие которых под воздействием нагрузки очень быстро прогрессирует. Однако напряжения в сжатой зоне к моменту разрушения бетонной балки на много меньше предельной прочности бетона на сжатие. Следовательно, прочность бетонной балки определяется прочностью растянутой зоны, а прочность сжатой зоны используется не более чем на 5...7%.

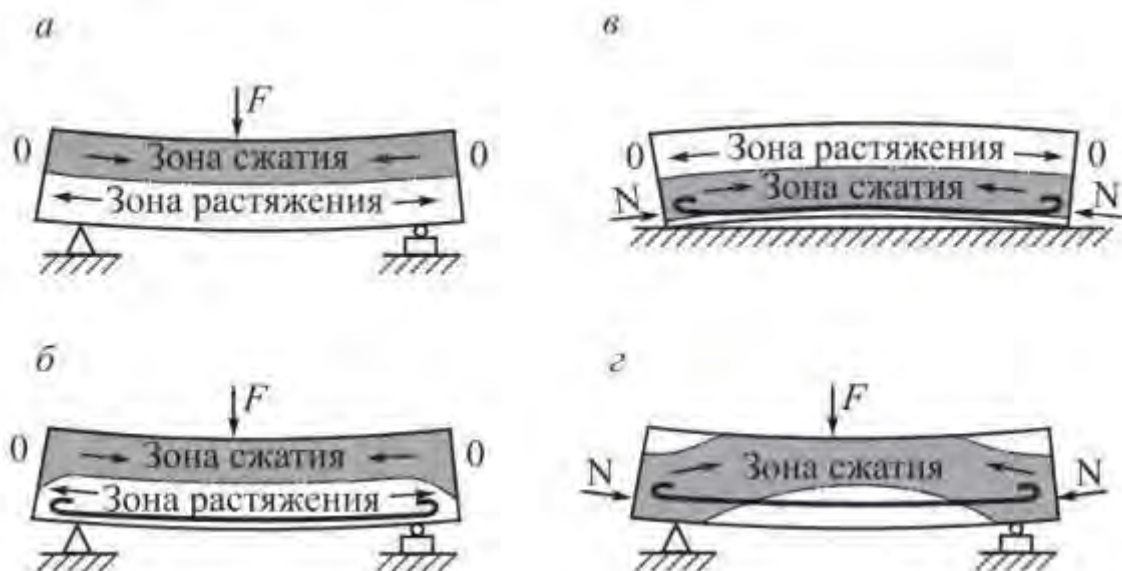


Рис. 13.4. Схема работы бетонной и железобетонной балок:

- а – бетонная балка под нагрузкой; б – железобетонная балка под нагрузкой;
- в – предварительно-напряженная железобетонная балка при изготовлении;
- г – предварительно-напряженная железобетонная балка под нагрузкой

Если бы можно было предотвратить образование или развитие трещин в нижней зоне балки, то она способна была бы выдержать нагрузку, равную $R_{сж}$. Это и достигается за счет укладки в нижнюю зону балки (в зону растяжения) стальной арматуры, т.е. для восприятия растягивающих усилий в бетон вводят стальную арматуру и называют такой материал железобетоном. Арматура – это металлические (стальные) элементы (стержни, канаты, пряди, пучки, проволока), размещаемые в бетоне в определенных местах по расчету и по конструктивным требованиям.

Сталь, обладая высоким пределом прочности при растяжении, воспринимает растягивающие усилия и препятствует образованию трещин, а бетон воспринимает сжимающие усилия, обеспечивает жесткость конструкции и защиту стальной арматуры от коррозии. Железобетонный элемент (конструкция) успешно противостоит изгибающим нагрузкам. Арматура при этом занимает не более 3% (0,05...3,0%) от площади поперечного сечения железобетонного элемента.

Разрушение армированной балки может наступить только в том случае, если напряжения в арматуре достигнут пластических деформаций или напряжения в сжатой зоне превысят прочность бетона на сжатие. Таким образом, железобетон представляет собой материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали.

Таким образом, **железобетон** представляет собой материал, в котором выгодно сочетается совместная работа бетона и стали.

При этом лицевая поверхность железобетонных изделий принадлежит бетону, а форму определяют арматурные каркасы.

Как известно бетон и сталь – это совершенно разные по свойствам материалы, и возможность их совместной работы определяется следующими факторами:

- бетон при затвердевании прочно сцепляется с арматурой, и под действием нагрузки они деформируются совместно;

- монолитность конструкции обеспечивается почти одинаковыми коэффициентами линейного температурного расширения бетона и стали (соответственно $10 \cdot 10^{-6}$ и $12 \cdot 10^{-6}$);

- бетон не только не оказывает вредного воздействия на арматуру, но и надёжно защищает её от коррозии, т. к. в процессе гидратации цемента образуется щелочная среда.

Однако при стечении некоторых неблагоприятных условий (повышении влажности, глубокая карбонизация бетона, приводящая к понижению рН до значений ниже 11,5, нарушение целостности защитного слоя бетона и др.) могут вызвать коррозию арматуры.

Нормы проектирования устанавливают минимальные величины защитного слоя бетона: не менее диаметра стержня (в ряде случаев не менее 2-х диаметров) и не менее 10...70 мм в зависимости от типа конструкции и условий эксплуатации.

В зависимости от способа армирования и состояния арматуры различают **железобетонные изделия с обычным армированием и предварительно напряжённые**.

При обычном армировании избежать образования трещин, в особенности, микротрещин в растянутой зоне конструкции практически не удаётся. Причиной этому является различная предельная растяжимость бетона и стали. Растяжимость бетона составляет 1...2 мм на 1 м, а стали – в 5...6 раз больше при одних и тех же нагрузках.

Следовательно, при таком армировании образование трещин в растянутой зоне бетона практически неизбежно. А при образовании трещин увеличивается прогиб конструкций, в трещины проникают газы, влага и в результате создаётся опасность коррозии арматуры. Раньше или позже, но целостность конструкции будет нарушена.

Однако избежать образования трещин в растянутой зоне конструкции можно, если предварительно обжечь бетон.

В предварительно сжатом бетоне трещины появятся только в том случае, если растягивающие напряжения превысят напряжения предварительного сжатия. А сжатие бетона можно достичь предварительным растяжением арматуры (подобно резиновому жгуту), которая в свою очередь обожмёт бетон. И чем сильнее будет растянута арматура, тем больше будет сжат бетон. Обычно достаточно осуществить предварительное обжатие бетона с напряжением 5...6 МПа.

Поэтому, когда в условиях эксплуатации к конструкции будет приложена нагрузка, напряжения от неё, возникающие в растянутой зоне бетона, будут частично компенсироваться предварительно созданными сжимающими напряжениями. Такой железобетон называется предварительно напряжённым.

Однако напрягать арматуру следует в пределах упругих деформаций, т.е. 85...90% от предела текучести стали.

Следовательно, **предварительно напряженный бетон** – это железобетон (элемент конструкции), в котором до приложения внешней нагрузки искусственно создаются внутренние напряжения и чаще всего противоположные по знаку тем напряжениям, которые будут возникать при действии внешней нагрузки в условиях эксплуатации конструкции.

Различают несколько способов предварительного напряжения железобетонных конструкций:

- напряжение арматуры осуществляется до затвердевания бетона (**«на упоры»**) – в этом случае арматуру укладывают в опалубку, растягивают и закрепляют в растянутом состоянии на упорах стенда или формы. Затем укладывают бетонную смесь, изделие формируют и после затвердевания бетона или приобретения бетоном определённой прочности (80% от проектной) арматуру освобождают от натяжения (отпускают с упоров). В результате упруго укорачиваясь, арматура обжимает бетон за счет сил сцепления (рисунок 13.5, а);

- если напряжение арматуры производится после затвердевания бетона (**«на бетон»**) (постнапряженный бетон – *post-tensioned concrete*). В этом случае в бетоне в процессе формирования изделия готовятся специальные полые каналы, в которые после приобретения им необходимой прочности укладывают арматуру (пучки из проволоки, канаты, стержни). Уложенную арматуру растягивают и закрепляют на торцах конструкции анкерными устройствами, используя в качестве опоры затвердевший бетон. Одновременно с натяжением арматуры происходит сжатие (обжатие) бетона. В результате в бетоне возникают сжимающие напряжения. После натяжения арматуры каналы заполняют инъекционным раствором или антикоррозионной мастикой (рисунок 13.5, б);

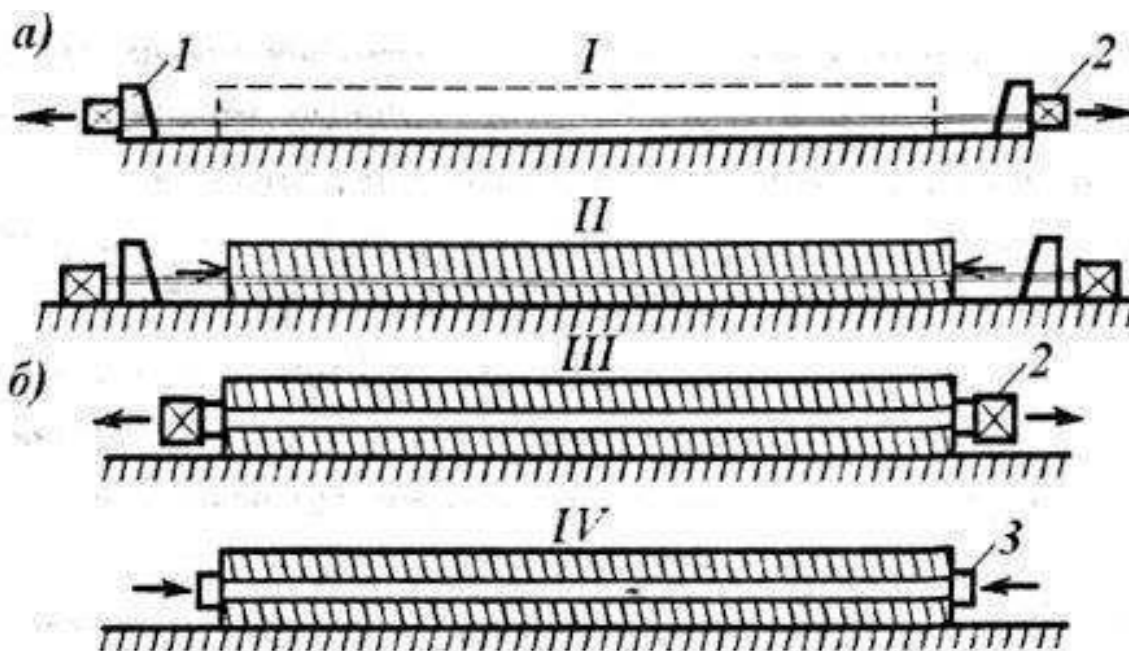


Рис. 13.5. Способы предварительного напряжения железобетонных конструкций: а – «на опоры», б – «на бетон»;

I — натяжение арматуры и бетонирование элемента; II, IV — готовый элемент; III — элемент во время натяжения арматуры;
1 — упор; 2 — домкрат; 3 — анкер

– напряжение арматуры может осуществляться и **в процессе затвердевания бетона**. В этом случае используются бетоны, приготовленные на напрягающем цементе, при твердении которого бетон не уменьшается, а увеличивается в объеме, удлиняя за собой и арматуру. В результате в арматуре возникают растягивающие напряжения, а сама она воздействует на бетон в виде сжимающих сил.

Натягивают арматуру механическим (гидродомкраты, грузы, рычаги) или электротермическим методами.

Предварительное напряжение арматуры не только предупреждает появление трещин в растянутой зоне бетона, но и позволяет снизить массу железобетонных конструкций, сократить расход арматуры, увеличить жёсткость, повысить долговечность и даже прочность.

Фибробетон (дисперсно армированный бетон) – это композиционный материал (бетон), содержащий по всему объему рассредоточенные, беспорядочно ориентированные волокна (фибры), имеющие сцепление с бетоном по их поверхности (рисунок 13.6).

Фибробетон является разновидностью мелкозернистого и армированного бетона – бетона-матрицы, в котором в качестве армирующего компонента используются короткие дисперсные волокна (фибры) с равномерным (хаотичным) или заданным распределением по всему объёму.

Под собирательным названием «*фибра*» подразумеваются волокна из металла, отрезки тонкой стальной проволоки, отходы гвоздевого производства и др., а также из стекла, полимеров (главным образом пропилена) и др.

Фибра добавляется в бетон на стадии его производства, выполняя функцию армирующего компонента, и способствует улучшению качества бетона, повышая его трещиностойкость, деформативность и другие свойства.

Известно, что существенным недостатком обычного бетона является низкая прочность на растяжение и изгиб. В фибробетоне же растягивающее напряжение принимают на себя волокна фибры.

Фибра улучшает механические характеристики бетона после набора им прочности, т.е. выполняет силовые функции.



Рис. 13.6. Фибробетон

Армирование бетона фиброй способствует увеличению его прочностных характеристик:

- предел прочности при растяжении увеличивается в 2,5 раза,
- при изгибе в 3,5 раза
- при сжатии в 1,5 раза.

Дисперсное армирование позволяет модифицировать бетон на двух уровнях: микроуровне — уровне цементной матрицы и макроуровне - уровне цементного бетона.

Содержание фибры в бетоне характеризуется коэффициентом фибрового армирования (относительное объемное содержание фибры в бетоне либо массовая доля фибр в объеме бетона). Например, стальная фибра вводится в бетонную смесь в количестве 1...2,5 % объема бетона (3...9% по массе или 70...200 кг/м³ смеси). Стекловолоконная фибра вводится \approx 1...4 % от объема бетона. Это обеспечивает повышение прочности бетона при растяжении на 10...30 %.

Для дисперсного армирования используются различные виды металлических и неметаллических волокон минерального или органического происхождения (см. тему 11).

В отличие от железобетона, где армирующий компонент в виде традиционной классической арматуры или проволочной сетки устанавливается только в одной плоскости и в определённую зону конструкции (зону растягивающих усилий), в дисперсно армированном бетоне невысокая прочность на растяжение матрицы эффективно компенсируется высокой прочностью фибры в любой плоскости сечения бетона.

В результате повышается трещиностойкость, ударная вязкость, деформативность, прочность бетона на растяжение во всех измерениях (трёхмерное упрочнение), что способствует и увеличению прочности на сжатие такого бетона и других показателей.

Однако фибробетон не сможет заменить железобетон в его классическом понимании. Скорее фибра помогает расширить границы применения как бетонных, так и железобетонных конструкций.

Вводят фибру в состав бетона различными способами – традиционным смешиванием при приготовлении сухой бетонной смеси или фибру добавляют в уже приготовленный раствор.

Для получения направленного расположения стальной фибры используют магниты, а фибру из других материалов укладывают в виде сетки или нитей.

Применяют фибробетон в сборных и монолитных конструкциях, работающих на знакопеременные нагрузки, а также в конструкциях, где требуется повышенная

трещиностойкость, ударная прочность, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, пониженные усадка и ползучесть.

Может быть использован также для возведения взломо- и взрывоустойчивых сооружений, так как не образует разлетающихся крупных обломков.

Армоцемент представляет собой мелкозернистый бетон, армированный по всему сечению равномерно расположенными в несколько рядов по толщине конструкции ткаными (сварными) металлическими или неметаллическими сетками (рисунок 13.7).



Рис. 13.7. Армоцемент

Сетки изготавливают, как правило, из тонкой проволоки диаметром 0,5...1 мм с мелкими ячейками 10x10 мм. Расстояние между сетками по толщине конструкции составляет 3...5 мм, что позволяет получать достаточно однородный по свойствам материал. Дополнительно такая система может армироваться стержневой или проволочной арматурой.

Армоцемент обладает достаточно высокой прочностью как на сжатие, так и на растяжение. Используется в весьма тонкостенных конструкциях сложного очертания. Для отдельных конструкций в растянутых зонах возможно комбинированное армирование – сетками и напрягаемой арматурой.

Из недостатков следует отметить несколько меньшую огнестойкость и коррозионную стойкость по сравнению с обычным бетоном.

Асбестоцемент (хризотилцемент) представляет собой затвердевший цементный камень (матрицу), армированный волокнами асбеста (15...20 % от массы цемента).

Асбест (горный лен) – это природная горная порода волокнистого строения или собирательное название тонковолокнистых минералов. Состоит из кристаллических минералов нитевидной формы, способных расщепляться на тонкие волокна. Наиболее полно волокнистое строение проявляется у хризотил-асбеста – водного силиката магния (рисунок 13.8).



Рис. 13.8. Хризотил-асбест

Волокна асбеста хорошо сцепляются с твердеющим цементом, и благодаря высокой прочности при растяжении армируют материал по всему объему, т. е. получается дисперсно-армированный бетон (фибробетон).

Лучшими для изготовления асбестоцементных изделий считаются волокна длиной 50...70 мм, но используются и меньших размеров (5...10 мм).

Иногда в состав асбестоцемента добавляют красящие пигменты или пластифицирующие, гидрофобизирующие и другие вещества.

Следовательно, асбестоцемент – это не механическая смесь асбеста и цемента, а единая система (микробетон), в которой протекающие сложные физико-химические процессы существенно влияют на свойства компонентов.

Плотность асбестоцемента составляет 1550...1950 кг/м², прочность при изгибе – до 30 МПа, прочность при сжатии – до 90 МПа.

К **недостаткам** асбестоцемента можно отнести:

- хрупкость (асбестоцемент не выдерживает сильных ударных нагрузок),
- набухание и усадку при изменении влажности, сопровождающиеся короблением изделий,
- сравнительно большую массу.

В настоящее время на основе асбестоцемента больше всего производится кровельных волнистых листов, плоских – для изготовления и облицовки различных конструкций, труб различных диаметров, фасонных и других изделий (рисунок 13.9). Весь ассортимент продукции из асбестоцемента насчитывает около 4 десятков наименований.



Рис. 13.9. Асбестоцементные изделия

13.5. Бетоны на органических вяжущих

Цементно-полимерные бетоны (ЦПБ) – это бетоны, модифицированные полимерными добавками или бетоны, в которых помимо цемента в качестве вяжущего используются специальные полимерные добавки в виде дисперсии.

Попадая в бетонную смесь, дисперсия разрушается: неусвоенная цементом вода выводится, а освободившийся полимер становится дополнительным вяжущим средством.

Получают такие бетоны, добавляя в бетонную смесь при её приготовлении водные дисперсии полимеров (поливинилацетатные, акриловые, латексы синтетических каучуков и др.). Обычно в ЦПБ цемента в несколько раз больше, чем полимерного связующего. Основным фактором, влияющим на свойства ЦПБ, является полимерцементное отношение.

Количество добавки в зависимости от вида полимера и цели модификации составляет от 1 до 30%, т.е. 0,02...0,30.

Но стоимость самого полимера от 10 до 100 раз выше, чем минерального вяжущего. Поэтому и стоимость цементнополимерных бетонов (растворов) значительно выше обычных, т.е. чем на одних минеральных вяжущих.

Следовательно, такие бетоны характеризуются наличием двух активных составляющих:

- минерального вяжущего (цемента),
- органического вещества (полимера).

Использование в бетоне полимеров позволяет изменять его структуру и физико-механические характеристики. Цемент с водой образуют цементный камень, склеивающий зерна заполнителя в монолит. Органическое вяжущее по мере удаления воды образует на поверхности пор, капилляров, зёрен цемента и заполнителя тонкую плёнку, обладающую хорошей адгезией, и способствует повышению сцепления заполнителя с цементным камнем.

Как правило, такие бетоны имеют:

- повышенную прочность на растяжение и изгиб (в некоторых случаях в 1,5...2 раза),
- повышенную водонепроницаемость,
- стойкость к действию морской воды,
- высокую морозостойкость,
- высокую износостойкость,
- хорошие адгезионные свойства (в том числе к старому бетону),
- меньшие усадку и деформации ползучести.

Однако полимерцементные бетоны имеют обычно меньшую водостойкость и их прочность снижается при высокой влажности в условиях эксплуатации.

Применяют их для покрытия полов промышленных зданий, устройства резервуаров для воды и нефтепродуктов, антикоррозионных покрытий, реставрации бетонных конструкций и ремонта аэродромных покрытий.

Полимербетоны (пластобетоны). У таких бетонов минеральное вяжущее полностью заменяется полимерным связующим (полимером или мономером). По сути это полимерные композиты (пластмассы) с минеральными наполнителями различной крупности.

Для экономии полимерных связующих и улучшения свойств бетонов в их состав могут вводить тонкомолотые наполнители, а также отвердители, пластификаторы и другие компоненты.

В качестве полимерных связующих используют преимущественно терморезистивные фурановые (ФА), эпоксидные (ЭД-5, ЭД-6), полиэфирные, карбамидные и др. смолы, в т. ч. термопластичные, или мономеры, например, фурфуролацетоновый, отверждаемые в бетоне с помощью специальных добавок.

Расход смолы в полимербетоне зависит от свойств заполнителя. Чем больше пустотность заполнителя и выше в нем содержание мелких фракций, а, следовательно, и большая их удельная поверхность, тем больше будет расход смолы. Слишком большое содержание смолы может увеличить усадку бетона, температурные деформации и снизить прочность бетона.

Свойства полимербетонов определяются:

- химической природой связующего,
- видом и фракционным составом заполнителя и наполнителя,
- их соотношением,
- качеством перемешивания и уплотнения,
- отверждения связующего др.

Набор прочности полимербетонов в естественных условиях (при температуре не ниже 15°C и влажности 60...70%) происходит в течение 28...30 суток. Для ускорения твердения изделия из полимербетонов подвергают сухому прогреву в течение 6...18 часов. Скорость подъема и снижения температуры при этом не должна превышать 0,5...1°C в минуту.

Полимербетоны в зависимости от вида полимера имеют прочность на сжатие до 160 МПа и более, пористость – 1...2%, водопоглощение – 0,01...0,3%, теплостойкость – 80...140°C, морозостойкость – 300...500 циклов.

Они позволяют имитировать различные натуральные камни, создавать всевозможные цветовые и фактурные композиции любой геометрии.

Изделия из них отличаются красивым внешним видом, химической и атмосферной стойкостью, низкой теплопроводностью и долговечностью.

К недостаткам полимербетонов относят их повышенную ползучесть, старение, и сравнительно высокую стоимость.

Полимербетоны применяются для изготовления несущих и ненесущих монолитных и сборных, химически стойких изделий и конструкций, а также для устройства полов (в жилых и промышленных зданиях) (рисунок 13.10), фундаментов, сливных лотков и др.

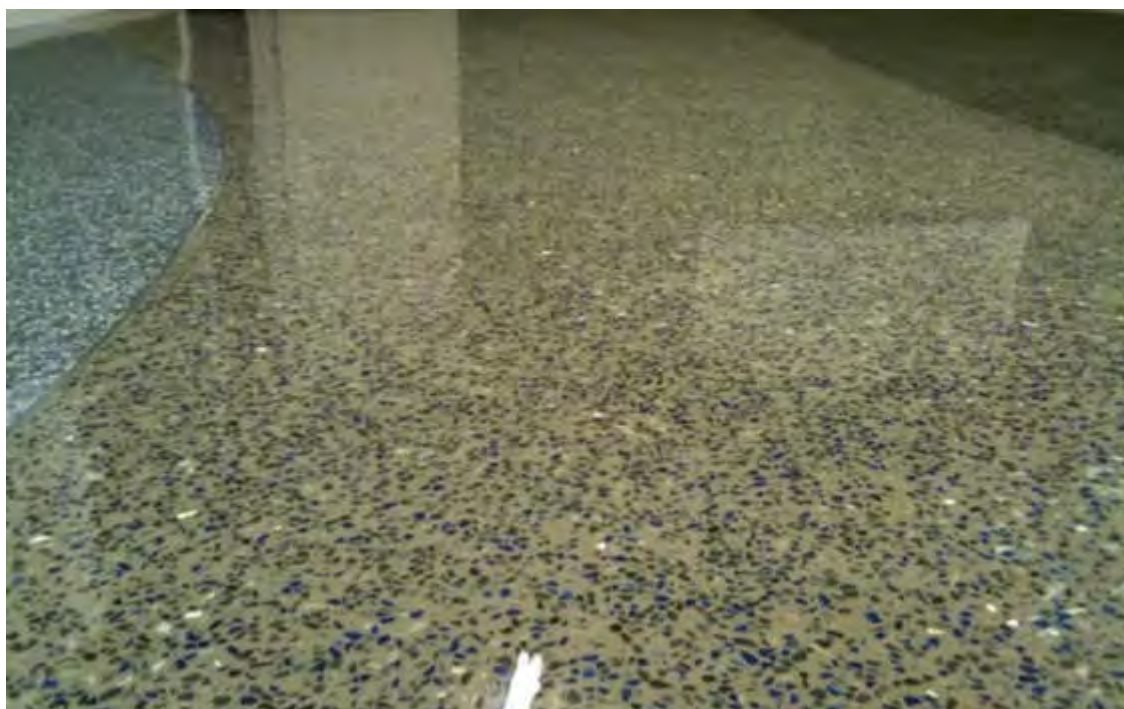


Рис. 13.10. Полимербетонный пол

Бетонополимеры представляют собой затвердевшие бетоны, пропитанные мономерами или жидкими олигомерами с последующей их полимеризацией (отверждением) в порах бетона, т. е. поровое пространство у таких бетонов полностью или частично заполнено отвердевшим полимером.

Для пропитки используют жидкие мономеры (метилметакрилат, стирол), полимеры (эпоксидные, полиэфирные смолы) и различные композиции на их основе.

Технологический процесс производства бетонополимеров включает:

- изготовление бетонных изделий;
- высушивание их при $t=110^{\circ}\text{C}$ в течение 10...20 ч до влажности не более 1%;
- вакуумирование изделий для удаления воздуха и паров воды;
- пропитку бетона полимером или мономером под давлением;
- отверждение (полимеризацию) их в порах бетона (тепловая обработка при $t = 70...90^{\circ}\text{C}$ в течение 1...5 ч).

Глубина пропитки таких бетонов зависит от структуры бетона, свойств пропитывающего состава и может достигать 10...20 см и более. Количество мономера для пропитки бетона зависит от его пористости.

В результате полимеризации жидкий мономер превращается в твёрдый полимер, плотно заполняя все поры и дефекты структуры бетона, т.е. в порах бетона образуется как бы пространственная сетка из затвердевшего полимера.

Образующуюся в структуре бетона сетку полимера можно рассматривать как своего рода дисперсное армирование. При пропитке бетона существенно изменяется его структура.

В значительной мере улучшаются физико-технические характеристики модифицированного таким образом бетона.

При этом у бетонов более низкой прочности более заметно возрастает прочность (таблица 13.2). Увеличивается также водонепроницаемость, морозостойкость до 5 тыс. циклов и более, трещиностойкость и другие показатели.

Таблица 13.2. Сравнительная характеристика свойств исходного бетона и бетонополимера

Показатели	Исходный бетон	Бетонополимер
Предел прочности, МПа на сжатие	30...50	100...200
на сжатие при изгибе	5...6	14...28
Предельная деформация при сжатии	0,001	0,002
Прочность сцепления с арматурой, МПа	1...2	10...18
Водопоглощение, %	3...5	1
Морозостойкость, циклов	200	5000

К недостаткам бетонополимеров можно отнести достаточно сложную технологию и высокую стоимость. Поэтому применяться они должны с учётом их специфических свойств и экономической целесообразности.

С применением полимеров производят и другие разновидности бетонов.

Асфальтобетоны (АС) представляют собой рационально подобранные, перемешанные в нагретом состоянии и уплотнённые смеси минеральных материалов (щебня или гравия, песка, минерального порошка), нефтяного дорожного битума и различных стабилизирующих добавок в слое дорожной конструкции (рисунок 13.11). Составы таких материалов до укладки и уплотнения называют асфальтобетонной смесью (СТБ EN 13108).



Рис. 13.11. Асфальтобетонные образцы

Асфальт определяется как смесь битумов с минеральными материалами (песком, гравием или щебнем в природном асфальте, или песком и минеральным порошком – в искусственном асфальте).

Асфальтобетонные смеси классифицируют в зависимости:

- от температуры укладки смеси:
 - горячие – с температурой укладки не ниже 120 °С;
 - тёплые – с температурой укладки не ниже 80 °С;
- наибольшего размера зёрен минеральных материалов – крупнозернистые (размер зерна до 40 мм), мелкозернистые (до 20 мм) и песчаные (до 5 мм);
- значения остаточной пористости – плотные (с остаточной пористостью от 1 до 5 % вкл.), пористые (св. 5 до 12 %) и высокопористые (св. 12 до 18 %).

Кроме того, смеси и асфальтобетоны подразделяют в зависимости от содержания в них мелкого и крупного заполнителя на типы и марки.

Плотные асфальтобетонные смеси применяются в верхнем слое покрытия, пористые – в нижнем слое и в основании покрытия.

К основным качественным характеристикам асфальтобетонных смесей и асфальтобетона относят:

- пористость минеральной части (20...22 % в зависимости от марки смеси) и остаточная пористость смеси (1...5 % в зависимости от марки смеси);
- водонасыщение (0,5...4 % по объему в зависимости от марки смеси);
- набухание (% по объему – не более 1 (2) % в зависимости от марки смеси);
- прочности на сжатие при температуре 50 °С (0,7...1,3 МПа в зависимости от марки смеси) и на растяжение при температуре 0 °С (1,5...3,5 МПа в зависимости от марки смеси);
- трещиностойкость (индекс трещиностойкости – не менее 0,5);
- водостойкость, при длительном водонасыщении в агрессивной среде;

- морозостойкость (оценивается по коэффициенту морозостойкости после 50 циклов замораживания и оттаивания);
- стекание вяжущего (% по массе – не более 0,15);
- однородность (по коэффициенту вариации значения предела прочности при сжатии – не более 0,16 и 0,18 в зависимости от марки смеси);
- прочность при сдвиге (сдвигоустойчивость) и сопротивление пластическим деформациям.

Прочность асфальтовых бетонов, как при сжатии, так и при растяжении сравнительно невелика и в значительной степени зависит от изменения температуры. С понижением температуры прочность резко возрастает, с повышением до 50°С – снижается до 0,7...1,3 МПа.

Независимо от состава и качества исходных материалов прочность асфальтобетона существенно зависит от степени уплотнения смеси в покрытии.

По сравнению с цементным бетоном асфальтовый бетон склонен к деформациям в покрытии (волны, трещины).

Причиной служат недостаточная прочность на сжатие, растяжение или сдвиг, а также малая пластичность при пониженных температурах и чрезмерная пластичность при повышенных температурах.

К недостаткам асфальтовых бетонов можно отнести относительно быстрое старение органических вяжущих, а, следовательно, и бетонов на их основе, зависимость свойств от температуры, сравнительно невысокую долговечность покрытия и зависимость выполнения работ от климатических условий.

Асфальтобетоны предназначены для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог, аэродромов, городских улиц, объектов благоустройства и полов промышленных зданий.

13.6. Бетоны на органических заполнителях

Бетоны на органических заполнителях – это бетоны на цементном вяжущем и органических заполнителях (измельченные древесина, стебли хлопчатника или рисовой соломы, костра конопли и льна и др.). Наибольшее распространение из них получили арболит, фибролит и др.

Арболит (от лат. *arbor* и фр. *arbre* – дерево и греч. *lithos* – камень) – лёгкий бетон на цементном или известковом вяжущем и заполнителях растительного происхождения, предварительно обработанных раствором минерализатора и химических добавках, в том числе регулирующих пористость (рисунок 13.12).



Рис. 13.12. Арболит

В качестве заполнителей используют дроблёную древесину нормированных размеров (щепу, дроблёнку хвойных (ели и сосны) и твердолиственных пород), стебли тростника, камыш, костру льна или конопли, дроблёную рисовую солому или стебли хлопчатника и т. п. Размеры частиц заполнителя: по длине около 25 мм (до 30 мм), ширине – до 10 мм и толщиной 3...5 мм.

В составе органических заполнителей находится много растворимых в воде веществ (сахара), которые негативно сказываются на процессе твердения цемента и прочности арболита. Для нейтрализации вредного воздействия органических веществ, прибегают к различным технологическим приёмам (выдержке заполнителя определённое время на воздухе, обработке известковыми растворами) или дополнительно вводят химические добавки в количестве 2...4%. В качестве таких добавок применяют хлористый кальций, сернокислый или хлористый алюминий, известь, растворимое стекло и др.

Вяжущим служит портландцемент класса не ниже СЕМ I 42,5. Расход цемента в арболите зависит от многих факторов и составляет от 250 до 450 кг/м³ бетона.

Состав арболита определяется расчётно-экспериментальным методом.

По структуре арболит может быть плотным, поризованным и крупнопористым.

В зависимости от плотности арболит подразделяется на марки – от D300 до D900 с интервалом 50 кг/м³.

Прочность арболита зависит от расхода цемента, вида заполнителя, породы древесины и составляет от 0,35 до 3,5 МПа (классы по прочности на сжатие – В0,35; В0,5; В0,75; В1,5; В2,5 и В3,5 либо марки – М2,5; М3,5; М5 и М10;).

К недостаткам арболита можно отнести сравнительно высокую влагопроницаемость и пониженную влагостойкость.

Поэтому наружные поверхности стен или конструкций из арболита необходимо защищать от атмосферной влаги с помощью защитного отделочного слоя.

По назначению арболит подразделяется на:

- теплоизоляционный (плотностью до 500 кг/м^3),
- конструкционно-теплоизоляционный,
- конструкционный (плотностью свыше 500 кг/м^3).

Применяют арболит в монолитном строительстве и в виде блоков, плит и панелей в малоэтажном строительстве зданий (до 3-х этажей) жилого, хозяйственного и производственного назначения с относительной влажностью воздуха помещений до 75%.

Ксилолит является разновидностью лёгкого бетона на магниальном вяжущем и органических заполнителях (древесные и другие целлюлозосодержащие измельчённые частицы) с добавлением при необходимости тонкодисперсных минеральных веществ (асбест, тальк, измельчённый кварцевый песок), в т. ч. щёлочестойких пигментов (рисунок 13.13).



Рис. 13.13. Ксилолит

В качестве заполнителей наибольшее применение находят частицы (опилки) крупностью от 2,5 до 8 мм еловых, пихтовых, осиновых, тополевых и других пород.

Выпускается в виде прессованных изделий (плит) и свободноформованным (монолитным).

Средняя плотность ксилолита составляет $1000 \dots 1500 \text{ кг/м}^3$, прочность на сжатие – $5 \dots 20 \text{ МПа}$, изгиб – $0,5 \dots 2 \text{ МПа}$ и растяжение – $2 \dots 6 \text{ МПа}$, теплопроводность – $0,45 \dots 0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Применяют ксилолит для устройства бесшовных полов (в т. ч. мозаичных) в жилых, общественных и производственных помещениях с сухим режимом эксплуатации, изготовления стеновых блоков и плит для наружной и внутренней отделки.

Фибролит (от лат. *fibra* волокно и греч. *lithos* камень) – теплоизоляционный материал (аналог арболита), получаемый формованием смеси древесной шерсти (лентовидного волокна), специально обработанной стружки из отходов древесины ($\approx 60\%$) с магнезиальным вяжущим или портландцементом ($\approx 40\%$) (рисунок 13.14).

Выпускается, как правило, в виде крупноразмерных плит длиной до 3 м, шириной – до 1,2 м и толщиной – до 10 см.



Рис. 13.14. Фибролит

Длинные волокна древесной шерсти, равномерно уложенные в плите в строго горизонтальной поверхности, позволяют получать фибролит разной плотности (от 300 до 1400 кг/м³).

Теплопроводность плит находится в пределах 0,09...0,24 Вт/(м·К), водопоглощение – 5...25%.

По огнестойкости фибролит относится к группе слабогорючих материалов.

Фибролит применяется для устройства систем тепло- и звукоизоляции, внутренней и наружной обшивки стен, вентилируемых фасадов, потолков, основания кровли, несъёмной опалубки и др.

Полистиролбетон (ПСБ) – особо легкий бетон поризованной структуры на цементном вяжущем и заполнителе из вспененного гранулированного полистирола с использованием воздухововлекающих добавок, поризующих цементный камень, и других добавок - модификаторов свойств полистиролбетона (рисунок 13.15).

Полистиролбетон



Рис. 13.14. Полистиролбетон

В качестве заполнителя для полистиролбетона следует применять полистирол вспененный гранулированный (ПВГ) крупностью для теплоизоляционного не более 20 мм, конструкционно-теплоизоляционного – до 5,5 мм.

Прочность полистиролбетона в проектном возрасте характеризуют классами по прочности на сжатие В0,35; В0,5; В0,75; В1; В 1,5; В2; В2,5.

По показателям средней плотности устанавливают следующие марки полистиролбетона в сухом состоянии: D150; D175; D200; D225; D250; D300; D350; D400; D450; D500; D550 и D600, по морозостойкости: F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200 и F300.

Фактическая средняя плотность полистиролбетона не должна превышать требуемого значения. Теплопроводность полистиролбетона в сухом состоянии находится в пределах от 0,052 для марки по плотности D150 до 0,145 для марки D600.

Применяется полистиролбетон в качестве теплоизоляционных плит, монолитной теплоизоляции чердаков и кровель, трехслойных панелей и других конструкций.

ТЕМА 14. СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ

14.1. Определение и классификация

К **строительным растворам** относят материалы, полученные в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего вещества, мелкого заполнителя, воды и, в необходимых случаях, добавок. Смесь этих материалов до затвердевания называют **растворной смесью**.

От бетонов раствор отличается не только меньшей крупностью заполнителя, более высоким водосодержанием, технологией укладки, назначением и др.

Строительные растворы предназначены в основном для соединения отдельных штучных элементов зданий (кирпича, камней, блоков) в единый монолит, а также для заполнения швов при монтаже крупнопанельных зданий, отделки стен и потолков, для изготовления декоративных и защитных штукатурок, для устройства полов и т. д.

Поскольку главной особенностью применения строительных растворов является укладка их тонкими слоями (1...2 см) и чаще всего на пористые основания без интенсивного механического уплотнения, то к раствору предъявляются повышенные требования по консистенции и водоудерживающей способности.

Растворная смесь должна не только обладать высокой подвижностью, но и не терять ее быстро из-за поглощения (отсоса) части воды затвердеванием пористым основанием, т.е. иметь достаточную водоудерживающую способность, обладать высокой адгезией с основанием и другими свойствами.

Строительные растворы классифицируют по:

- **основному назначению:**
 - кладочные,
 - монтажные, в т. ч. для устройства стяжек,
 - облицовочные,
 - штукатурные;
- **применяемым вяжущим:**
 - простые (на вяжущем одного вида),
 - сложные (на смешанных вяжущих);
- **средней плотности:**
 - тяжелые (более 1300 кг/м³),
 - легкие (менее 1300 кг/м³).

Кроме того, различают **растворные смеси по степени готовности:**

- готовая к применению (РСГП);

- предварительного изготовления (РСПИ) – это перемешанная и частично затворенная водой до подвижности 1...3 см смесь компонентов, дозатворяемая водой перед применением;
- сухая растворная смесь (РСС) – это перемешанная смесь сухих компонентов, затворяемая водой или водной дисперсией полимеров перед применением.

14.2. Составы, приготовление и транспортирование растворных смесей

Составы растворных смесей подбирают в зависимости от их назначения, требуемой марки, подвижности и условий производства работ по готовым таблицам (рецептурно-технологический) либо расчетным путем (расчетно-экспериментальный способ).

В обоих случаях они уточняются экспериментально и применительно к конкретным материалам (СП 82-101).

Расчетно-экспериментальный метод подбора состава раствора основан на выполнении предварительного расчета расхода составляющих (вяжущего, заполнителей, воды и добавок) или их соотношения на основе научно обоснованных и экспериментально проверенных зависимостей.

Выражают составы строительных растворов чаще всего в виде соотношения составляющих. Если растворы простые, то состав выражается двумя цифрами (например, 1:4), если сложные (смешанные) – тремя цифрами (например, 1:0,5:6)

Цифры показывают в долях единицы объемное (или по массе) соотношение между количеством вяжущего вещества и другими составляющими в следующей последовательности: за единицу принимается расход основного вяжущего, затем дополнительного и мелкого заполнителя.

Подобранные составы должны обеспечивать: необходимую подвижность растворной смеси (без расслоения и водоотделения при укладке) при минимальном расходе вяжущего, требуемую прочность и другие нормируемые показатели в затвердевшем состоянии.

В качестве вяжущих веществ в строительных растворах могут быть использованы:

- цемент для строительных растворов и его разновидности (как правило низких марок или классов),
- известь строительная (гидратная в виде пушонки, известкового теста или известкового молока),
- гипсовые вяжущие,
- известково-шлаковые,
- известково-пуццолановые и др.

Чисто цементные растворы применяются крайне редко и только в условиях повышенной влажности. Они очень прочные, но в тоже время очень жесткие, не обладают достаточной водоудерживающей способностью и плохо укладываются.

Вяжущие подбирают в зависимости от их назначения, вида конструкций и условий эксплуатации.

Вода для затворения растворных смесей применяется та же, что и для приготовления бетонных смесей.

Заполнителями в строительных растворах служат песок для строительных работ, пески формовочные, золошлаковые, пористые, из шлаков тепловых электростанций, черной и цветной металлургии и др.

Вид, крупность заполнителей и другие характеристики, как правило, нормируются и определяются назначением растворов.

Регулирование свойств строительных растворов достигается также применением разнообразных добавок, в т. ч. минеральных, химических и др.

Практически в растворах применяются те же добавки, что и в бетонах, но с учетом специфических условий их применения и назначения.

По составу растворы бывают жирные, нормальные и тощие.

Жирными называют растворы с избытком вяжущего вещества (обычно составы 1:1...1:3).

Такие смеси (жирные) очень пластичны, затвердевшие растворы прочные, но при твердении подвержены значительной усадке, трещинообразованию, что приводит часто к нарушению их сцепления с основанием и скрепляемыми изделиями.

Тощие растворы содержат относительно небольшое количество вяжущего вещества (составы 1:4...1:6 и т.д.).

Нормальными считаются – 1:3.

С увеличением доли заполнителя снижается усадка и способность к трещинообразованию, но при этом снижается подвижность растворной смеси и прочность раствора.

Готовят растворные смеси, как правило, централизованно на автоматизированных растворных заводах, а также в передвижных и стационарных растворосмесительных узлах и установках (рисунок 14.1) в виде готовых растворных смесей нужной подвижности или в виде сухих смесей, которые замешивают водой перед использованием.



Рис. 14.1. Растворосмеситель передвижной

Технологический процесс приготовления растворной смеси включает:

- подготовку заполнителя (удаление включений более 5 мм, пылевидных и глинистых примесей, фракционирование, сушка и подогрев при необходимости и др.),
- дозирование всех составляющих
- тщательное перемешивание до получения однородной смеси.

В случае значительного удаления строительного объекта от растворного узла необходимо применять сухие строительные смеси, которые затворяются водой на месте производства работ.

Транспортируют готовые растворные смеси к месту назначения автосамосвалами или специально оборудованным транспортом (авторастворовозы), оснащенные технологическим оборудованием для предотвращения потерь и сохранения качества смесей в пути следования.

В пределах строительного объекта растворные смеси подают, как правило, по трубам с помощью растворонасосов.

Время хранения приготовленной растворной смеси зависит от вида вяжущего и определяется сроками его схватывания.

14.3. Показатели качества растворных смесей

Для растворов в основном справедливы те же закономерности, которые определяют подвижность бетонных смесей и прочность затвердевших бетонов, однако с учетом их структуры, состава, технологии укладки и др.

Основными показателями качества растворных смесей являются:

- подвижность или консистенция (для смесей с размером зерна не более 0,63 мм) и является характеристикой удобоукладываемости раствора,
- водоудерживающая способность (для смесей с подвижностью более 4 см),
- расслаиваемость,
- растекаемость (для смесей самонивелирующихся стяжек),
- расчетная температура применения (при отрицательных температурах воздуха),
- срок годности (жизнеспособность, сохраняемость),
- плотность, в т. ч. насыпная плотность
- влажность (для сухих растворных смесей).

При необходимости могут быть установлены и другие показатели качества.

Удобоукладываемость – способность растворной смеси легко распределяться по поверхности сплошным тонким слоем, заполняя все впадины, плотно примыкая к основанию и хорошо сцепляясь с поверхностью основания. Оценивается подвижностью смеси.

Подвижность растворной смеси характеризуется глубиной погружения в нее металлического конуса массой 300 г стандартного прибора (рисунок 14.2) и выражается в см.

По степени подвижности растворные смеси подразделяются на 4 марки:

$P_{к1}$ (глубина погружения конуса в растворную смесь под действием собственной массы составляет 1...4 см),

$P_{к2}$ – (5...8 см),

$P_{к3}$ – (9...12 см)

$P_{к4}$ – (13...14 см).

Повысить подвижность растворной смеси можно: либо путем введения в состав пластифицирующих добавок, либо увеличением содержания воды.

Однако в случае увеличения содержания воды необходимо будет увеличить и расход вяжущего, чтобы сохранить марку раствора и водоудерживающую способность смеси.

В производственных условиях подвижность растворных смесей принимают в зависимости от их назначения, отсасывающей способности основания и способа производства работ.



Рис. 14.2. Прибор для определения подвижности растворной смеси

Водоудерживающая способность – это свойство растворной смеси удерживать в своем составе воду при укладке на пористое основание (или при транспортировании) с целью сохранения ее подвижности, предотвращения расслоения и обеспечения хорошего сцепления.

Растворные смеси с хорошей водоудерживающей способностью при укладке на пористое основание отдают затем лишнюю воду твердеющему раствору постепенно, становясь при этом плотнее и прочнее. Растворные смеси с недостаточной водоудерживающей способностью, как правило, способны к расслоению (особенно при транспортировании).

Водоудерживающую способность определяют путем испытания слоя растворной смеси толщиной 12 мм, уложенного на промокательную бумагу. Оценивается водоудерживающая способность отношением массы испытанной пробы растворной смеси после 10-минутного впитывания из нее воды 10 слоями промокательной бумаги к исходной массе и выражается в %. Водоудерживающая способность растворных смесей должна быть не менее 95 %.

Известковые и глиняные растворы удерживают до 200 % воды от массы извести или глины.

Увеличить водоудерживающую способность растворных смесей можно путем введения в ее состав неорганических дисперсных добавок и органических пластификаторов

Расслаиваемость растворной смеси характеризуется ее связностью при динамическом воздействии, т.е. способностью разделяться на твердую и жидкую фракции при транспортировании и перекачивании по трубам.

Определяют расслаиваемость растворной смеси путем сопоставления содержания массы заполнителя в нижней и верхней частях свежееотформованного образца размером 150x150x150 мм после вибрирования в течение 1 мин.

Количественной характеристикой расслаиваемости служит показатель расслоения, который выражается процентным соотношением разности и суммы относительных содержаний заполнителя в верхней и нижней частях слоя смеси в образце.

Что бы предупредить расслоение растворной смеси необходимо правильно подбирать состав, в котором вяжущее не только обволакивает равномерным слоем каждую частичку заполнителя, но и заполняет пустоты между ними.

Способствуют связности растворной смеси также пластифицирующие и другие виды добавок.

Растекаемость растворных смесей устанавливается для самонивелирующихся стяжек и определяется по диаметру расплыва смеси, вытекающей при поднятии цилиндра. Показатель растекаемости должен быть не менее 22 см.

Срок годности свежеприготовленной растворной смеси должен быть не ниже, указанной производителем.

14.4. Качественные показатели затвердевших растворов

Основными показателями качества затвердевших растворов являются:

- средняя плотность;
- прочность на сжатие и растяжение при изгибе (для растворов самонивелирующихся стяжек);
- прочность сцепления с основанием;

– паропроницаемость

При необходимости устанавливают и другие показатели.

За проектный возраст растворов принимают:

7 суток – без применения гидравлических вяжущих;

28 суток – с применением гидравлических вяжущих.

Плотность строительных растворов определяется в основном видом и плотностью используемого заполнителя.

В тяжелых растворах (плотностью более 1300 кг/м^3) используют плотные заполнители с насыпной плотностью не менее 1200 кг/м^3 . Легкие растворы (плотностью менее 1300 кг/м^3) готовят на пористых заполнителях с насыпной плотностью менее 1200 кг/м^3 (керамзитовый, перлитовый, туфовый пески).

Прочность растворов зависит, прежде всего, от активности вяжущего и его количества, водосодержания, качества заполнителя, длительности и условий твердения (температуры и влажности окружающей среды) и других факторов.

Определяется прочность, как правило, на образцах-кубах с длиной ребра $7,07 \text{ см}$ (площадь приложения нагрузки – 50 см^2) в возрасте, установленном стандартом (в проектном возрасте 28 сут), естественного твердения.

При определении прочности (марки) кладочных растворов с целью приближения условий твердения к реальным, образцы изготавливают в формах без дна, устанавливая их на водоотсасывающее основание (кирпич).

Прочность облицовочных и штукатурных растворов, а также для самонивелирующихся стяжек, определяют испытанием образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$.

Прочность на растяжение при изгибе растворов для самонивелирующихся стяжек должна быть не менее 4 МПа .

В зависимости от прочности на сжатие в проектном возрасте установлены марки: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200 или классы (М1; М2,5; М5; М10; М15; М20 и Мd, если d более 25 МПа) растворов.

В обозначении марки или класса растворов численное значение указывает на минимальную прочность на сжатие раствора данного класса в кгс/см^2 или МПа, Н/мм^2 (ГОСТ Р 57337-2).

Марку (класс) по прочности на сжатие назначают и контролируют для всех видов строительных растворов.

Растворы, как и бетоны, при твердении в нормальных условиях способны набирать прочность в течение длительного времени.

Прочность сцепления с основанием (между раствором и строительным блоком) устанавливают, как начальную прочность при сдвиге (адгезионную прочность при сдвиге) на основе испытаний или табличных значений.

Для стандартного и легкого раствора прочность сцепления должна быть не менее 0,15 МПа, для растворов, укладываемых тонкими слоями – не менее 0,3 МПа.

С момента вступления раствора в контакт с камнем раствор начинает терять влагу. Этот процесс сопровождается **усадкой** раствора (уменьшением линейных размеров и объема затвердевшего строительного раствора), которую принято называть начальной усадкой или осадкой. К моменту наступления влажностного равновесия в системе «раствор-камень» рост начальной усадки раствора прекращается.

Для растворов, подвергающихся в процессе эксплуатации попеременному замораживанию и оттаиванию, нормативным показателем является **морозостойкость**.

На величину морозостойкости влияют вид вяжущего, водовяжущее отношение, качество заполнителя, условия твердения, пористость слоя и основания.

Повысить морозостойкость растворов можно путем введения воздухововлекающих и других добавок.

По морозостойкости растворы подразделяются на марки: F10, F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200.

14.5. Разновидности растворов

Кладочные растворы и смеси предназначены для возведения каменной кладки из штучных кладочных изделий, т. е. для связывания и монтажа, уложенных в конструкцию каменных блоков и других изделий, и получения единой монолитной системы, противостоящей внешним и внутренним разрушающим нагрузкам (СТБ EN 998-2).

Монтажные растворы применяются при заделывании швов между боковыми панелями, блоками и другими элементами возводимых сооружений и их монтаже из готовых конструкций и сборке различных деталей.

Вид и составы таких растворов зависят главным образом от расчетных напряжений и условий эксплуатации кладки. Их изготавливают в основном трех видов: цементные, цементно-известковые и известковые.

В надземных конструкциях, работающих при небольших нагрузках можно использовать более дешевые местные вяжущие (известь, известково-пуццолановое вяжущее и др.). Для монтажа крупноблочных и крупнопанельных стен следует применять портландцемент, шлакопортландцемент и портландцементы с органическими добавками.

Цементные растворы применяют преимущественно для подземной кладки и кладки ниже гидроизоляционного слоя, когда грунт насыщен водой, т. е. в тех слу-

чаях, когда необходимо получить раствор высокой прочности и водостойкости. Цементно-известковые растворы применяют для возведения подземных и надземных частей зданий. Такие растворы обладают хорошей удобоукладываемостью, высокой прочностью и морозостойкостью.

В качестве заполнителя для тяжелых кладочных и монтажных растворов применяют кварцевый песок, легких – искусственные и природные пористые заполнители. При этом для кладки стен из камней правильной формы заполнитель должен быть крупностью до 2,5 мм, а модуль крупности находится в пределах 1,5...2,5.

Для монтажа несущих железобетонных конструкций класс цементного раствора должен быть не ниже класса бетона этой конструкции. Горизонтальные и вертикальные швы в стенах из крупных блоков и панелей расшивают растворами класса М5.

При производстве работ в зимних условиях используют раствор на 1 ... 2 класса выше. Подвижность растворной смеси выбирают в зависимости от ее назначения.

Так, например, при кладке стен из пустотелого кирпича или камней керамических подвижность назначается 7...8 см, из полнотелого кирпича и бетонных камней – 8...12 см, монтаже стен из панелей и крупных блоков – 5...7 см, для заливки пустот в кладке и подачи растворной смеси растворонасосом – 12...14 см. Для получения растворов необходимой подвижности и водоудерживающей способности в их состав вводят неорганические и органические пластификаторы.

Если работы выполняются в зимнее время, то применяют химические добавки, понижающие температуру замерзания раствора и ускоряющие набор его прочности.

Штукатурные растворы предназначены для выравнивания стен и потолков, защиты конструкций от внешних воздействий и придания декоративных свойств (СТБ EN 998-1).

По отечественной терминологии штукатурные растворы различают для:

- подготовительного слоя (обрызг или набрызг),
- основного (грунт),
- отделочного или накрывочного (накрывка, отделочный раствор).

Толщина подготовительного слоя составляет, как правило, 3...8 мм, основного – 5...12 мм и отделочного (накрывка) – около 2 мм (в декоративных – до 15 мм).

Для каждого слоя растворная смесь готовится отдельно.

В качестве заполнителя для штукатурных растворов применяют природный песок групп «очень мелкий», «мелкий» и «средний» с модулем крупности не более 2,0.

При этом крупность зерен не должна превышать:

- для подготовительного и основного слоев 2,5 мм,
- отделочного слоя (накрывки) – 1,25 мм.

Вязущими веществами служат цементы, известь и смешанные составы (цементно-известковые, известково-гипсовые и др.)

Свойства различных слоев штукатурной системы должны быть согласованы между собой таким образом, чтобы на поверхностях раздела между слоями и основанием не возникали напряжения вследствие усадки и температурного расширения. Для этого необходимо, чтобы прочность верхнего слоя была меньше прочности нижнего или оба слоя имели одинаковую прочность.

Качественными характеристиками штукатурных растворов являются:

- плотность,
- прочность при сжатии,
- прочность сцепления,
- водо- и паропроницаемость,
- капиллярное водопоглощение,
- теплопроводность,
- горючесть
- долговечность.

По СТБ ЕН 998-1 в зависимости от ряда показателей штукатурные растворы подразделяются на категории (таблица 14.1).

Таблица 14.1. Классификация показателей затвердевшего раствора

Показатели	Категории	Значения
Прочность при сжатии (28 сут), МПа	CSI	0,4...2,5
	CSII	1,5...5,0
	CSIII	3,5...7,5
	CSIV	≥6,0
Капиллярное водопоглощение, кг/м ² ·мин ^{0,5}	W0	–
	W1	c ≤ 0,40
	W2	c ≤ 0,20
Теплопроводность, Вт/м·К	T1	≤ 0,1
	T2	≤ 0,2

Декоративные растворы (штукатурки) предназначены для отделки лицевых поверхностей фасадов зданий и интерьеров помещений с целью создания художественно-декоративного эффекта на отделываемой поверхности и архитектурной выразительности зданий и сооружений.

Всего насчитывается до 200 вариантов цветового оформления декоративной штукатурки только в базовой палитре.

Декоративные растворы должны обладать не только ярко выраженными декоративными свойствами, но и необходимой степенью подвижности, иметь хорошее сцепление с отделяемой поверхностью, мало изменяться в объеме при твердении, чтобы не вызывать образования трещин, высокой светостойкостью. Кроме того, для фасадной отделки зданий и сооружений обладать повышенной водостойкостью и морозостойкостью.

В качестве вяжущих для изготовления декоративных растворов используют белый и цветные цементы, известь, гипсовые и полимерные вяжущие и др. Заполнителем служит чистый кварцевый песок и каменная крошка из декоративных горных пород. Цвет заполнителя характеризуется основным цветом и оттенком. Для придания отделочному слою блеска в состав раствора вводят в небольших количествах слюду, вермикулит или дробленое стекло. Красящие вещества или пигменты используются в основном природные или искусственные, отличающиеся повышенной щелочестойкостью и атмосферостойкостью (охра, умбра, сурик железный, мумия, графит, ультрамарин и др.).

Различают:

- каменные штукатурки – цвет отделки обеспечивается сочетанием цветов дробленого камня и декоративного раствора;

- штукатурка сграффито (от итал. sgraffito – выцарапанный). Технология такой штукатурки заключается в последовательном нанесении тонких цветных слоев «растворов-колеров» друг на друга, начиная с наиболее темных тонов. Толщина слоев составляет 0,2...10 мм.

- терразитовые штукатурные составы – отделяют стены монументальных и общественных зданий.

К другим интерьерным декоративным штукатуркам относят «венецианские штукатурки». Они по внешнему виду в основном имитируют ценные породы отделочных камней. Покрытая воском, венецианская штукатурка создает эффект глубины рисунка и полупрозрачности поверхности стен. Может быть выполнена в золотых, серебряных или перламутровых оттенках.

К **специальным** относятся растворы инъекционные, растворы для полов, гидроизоляционные, акустические, рентгенозащитные и др.

14.6. Сухие строительные смеси

Сухие строительные смеси (ССС) представляют собой мелкозернистые тщательно перемешанные в заводских условиях композиции сухих компонентов рационального состава, в которые входят минеральные вяжущие, фракционированные

заполнители строго определенного качества, минеральные наполнители, химические и полимерные добавки (ГОСТ 31189).

ССС – это материалы, которые изначально представляют порошок, в буквальном смысле «сухую смесь» из множества разных компонентов, которая обретает свои свойства только после затворения водой.

Для придания специальных свойств в состав сухих строительных смесей могут вводить дополнительно более 20 ингредиентов (пластифицирующие, стабилизирующие, ускоряющие и замедляющие схватывание и твердение, противоморозные, гидрофобизирующие, уплотняющие, бактерицидные, армирующие, воздухововлекающие и газообразующие и другие функционального назначения добавки).

Преимущественно ССС относятся к растворным строительным смесям. Однако в ряде случаев в их состав могут входить и крупные фракции заполнителя (более 5 мм), и тогда их относят к бетонным смесям, в т. ч. мелкозернистым.

Вид применяемого вяжущего выбирается в зависимости от условий твердения и требуемых эксплуатационных свойств смесей.

Минеральными вяжущими веществами в сухих строительных смесях являются:

- портландцемент (высокопрочный, быстротвердеющий и без добавок, белый и цветной),
- шлакопортландцемент,
- глиноземистый цемент,
- смешанные вяжущие,
- известь,
- гипсовые вяжущие,
- синтетические связующие.

Заполнителем служат чистые мытые кварцевые или полиминеральные пески определенного фракционного состава, минеральные или органические волокна, металлическая фибра. Для декоративных штукатурных растворов дополнительно используются декоративные фракции особого гранулометрического состава: кальцит, мрамор, известняк, слюда и пигменты.

Для уменьшения плотности сухих строительных смесей и усиления изолирующей способности дополнительно используются легкие заполнители – вспученные перлит и вермикулит, пеностекло и др.

Наполнитель для ССС получают тонким помолом, как правило, горных пород – известняка, доломита, мрамора, мела, диатомита, трепела, опоки, каолина и других до размера зерен не более 100 мкм.

Основным показателем качества таких смесей является – однородность. От того, насколько равномерно будут распределены отдельные компоненты в основной массе, напрямую зависят эксплуатационные характеристики смеси.

Поэтому наиболее ответственными звеньями технологического процесса являются смесительный узел (агрегат-смеситель) и режимы смешивания. Продолжительность перемешивания зависит от состава смеси и колеблется от 1 до 3 мин.

На место производства строительных работ ССС доставляются в расфасованном виде (в бумажных мешках по 5...50 кг или полипропиленовых биг-бэгах – 500...2000 кг).

При транспортировании и хранении нельзя допускать попадания в готовую продукцию атмосферных осадков, а также предохранять ее от воздействия прямых солнечных лучей.

Гарантийный срок хранения упакованных смесей 6...12 месяцев со дня изготовления.

При использовании сухих строительных смесей по назначению достаточно добавить необходимое количество воды согласно рекомендациям производителя и тщательно перемешать. Для перемешивания используются электросмесители (миксеры) или при небольших объемах работ – дрели с перемешивающей насадкой (скорость 400...800 об/мин) и др.

Основными характеристиками таких составов являются:

- в сухом состоянии:
 - состав,
 - влажность,
 - наибольшая крупность зерен заполнителя и их содержание,
 - насыпная плотность);
- готовых к применению смесей:
 - подвижность,
 - сохраняемость первоначальной подвижности,
 - водоудерживающая способность (в летний период не менее 95 %, в зимний не менее 95 %),
 - расслаиваемость (не более 10%),
 - объем вовлеченного воздуха (при необходимости);
- затвердевшего раствора:
 - прочность на сжатие,
 - прочность сцепления с основанием,
 - водопоглощение,
 - морозостойкость в том числе контактной зоны,
 - водонепроницаемость,

- истираемость.

Кроме того, для конкретных видов ССС и в соответствии с областью их применения могут быть установлены и другие качественные характеристики.

Номенклатура сухих строительных смесей в настоящее время довольно обширна – штукатурки, шпатлевки, клеи, затирки, грунтовки и др. (ГОСТ 31189).

Условно все сухие смеси можно разделить на следующие категории:

- кладочные,
- штукатурные,
- составы для полов,
- шпатлевки,
- плиточные клеи,
- гидроизоляционные составы.

В тоже время различают ССС по:

- функциональному назначению:

- кладочные (толстослойные, толщиной слоя более 5 мм и тонкослойные – менее 5 мм);
- штукатурные (легкие – средней плотностью менее 1300 кг/м³, тяжелые – более 1300 кг/м³ и особо тяжелые – более 2300 кг/м³);
- шпатлевочные (выравнивающие и финишные);
- клеевые (СТБ 1621), предназначенные для укладки облицовочной плитки и листовых материалов (гипсокартонных листов и т. п.);
- затирочные (СТБ 1503) или шовные (для узких швов – до 6 мм включительно и широких швов – более 6 мм);
- напольные (для стяжек, выравнивающих слоев (прослоек) и финишных покрытий);
- ремонтные (поверхностно-восстановительные, объемно-восстановительные конструкционные и инъекционные);
- изоляционные (гидроизоляционные, теплозвукоизоляционные, звукоизоляционные);
- специальные (защитные (огнезащитные, огнеупорные и жаростойкие, ингибирующие, коррозионно- и радиационно-защитные, биоцидные), реставрационные, saniрующие);
- для фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями для устройства: клеевого, армированного базового штукатурного, выравнивающего и декоративно-защитного финишного слоев и др.

Однако наиболее массово используемыми в строительстве являются кладочные, штукатурные, клеящие и выравнивающие (в основном для пола) сухие строительные смеси. На их долю приходится около 90 % всего производства и потребления. Выпускаются также цветные растворные смеси для кладки.

- виду вяжущего (цементные, известковые, гипсовые, полимерные, магнезиальные, смешанные, включая попутное сырье промышленности);
- наибольшей крупности зерен заполнителей (фракционной структуре):
 - растворные (тонкодисперсные – с зернами размером до 0,2 мм, мелкозернистые – до 1,25 мм, крупнозернистые – до 5 мм),
 - бетонные – с размером зерен более 5 мм;
- условиям применения (эксплуатации) – для наружных и внутренних работ;
- способу нанесения:
 - ручного,
 - механизированного.

ТЕМА 15. ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

15.1. Определение и классификация

Вяжущими веществами называют такие материалы, которые на определенной стадии переработки обладают вязкопластичными свойствами, при этом способны связывать рыхлые сыпучие материалы (песок, щебень) и постепенно переходить в твердое состояние.

Вяжущие вещества, как известно, (из раздела 8) по составу делятся на органические и неорганические (минеральные).

Они могут быть природными и искусственными,

Органические вещества — это почти все химические соединения, в состав которых входит углерод (за редким исключением).

К органическим относятся (**битумы, дёгти, животный клей, многие полимеры, эмульсии, мастики, пасты**).



Они переходят в рабочее состояние путем:

- нагреванием,
- расплавлением
- растворением в органических жидкостях.

Органические вяжущие вещества состоят, как правило,

- из смеси высокомолекулярных углеводов и их неметаллических производных (серы, азота, кислорода – битумы и дегти),
- либо из атомов углерода в сочетании с атомами водорода, азота, серы, кислорода и кремния (полимеры).

Органические вяжущие обладают такими свойствами:

- размягчаются при повышении температуры;
- способностью твердеть;
- способность растворяться в органических растворителях;
- содержание летучие вещества.

Эксплуатационные свойства органических вяжущих веществ:

- водонепроницаемость;
- востойкость;
- адгезия
- гидрофобность.

Природные применяют как в их естественном состоянии, так и после химической модификации, придающей им необходимые свойства.

Например, модифицированный битум, нитроцеллюлоза, метилцеллюлоза и др.

С течением времени они могут самопроизвольно или под действием определенных факторов (температуры, веществ-отвердителей и др.) переходить в твердое состояние.

Отрицательные свойства органических вяжущих:

горючесть;

при повышении температуры начинают размягчаться;

склонность к старению;

хрупкость при отрицательных температурах.

15.2. Нефтяные битумы

Битумы (от лат. bitumen – горная смола, нефть) применялись ещё в глубокой древности в качестве вяжущего и водоизолирующего материала.

К **битумным вяжущим** относят вещества содержащие битум.

Битумные вяжущие вещества по происхождению бывают:

• природные

(твердые или вязкие) образовались из нефти в верхних слоях земной коры в результате испарения летучих фракций и под влиянием окислительного процесса и полимеризации

они содержатся в осадочных горных породах – песках, песчаниках, карбонатных породах (известняках CaCO_3 , доломитах $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), глинистых грунтах.

искусственные.

нефтяные битумы.



Битумы – сложная смесь высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углерода С с кислородом О, серой S, азотом N).

Элементарный химический состав всех битумов достаточно близок:

углерода (С) - 70...80 %,

водорода (Н)- до 15 % ,

кислорода (О) -до 10 % ,

серы (S) - до 5 % ,

азота (N) до 3 % .

Искусственные нефтяные битумы получают из нефти путем переработки остатков, образовавшихся при ее фракционной перегонке.

Гудрон - остаток после отгонки из мазута масляных фракций: он является основным сырьем для получения нефтяных битумов.

Природный битум, так же как и нефтяной, является продуктом полимеризации и конденсации нефти под действием условий окружающей среды (температуры, давления).

Природные битумы (асфальты, окисленная нефть) образовались в результате естественного процесса окислительной полимеризации нефти и представляют собой буро-чёрные или чёрные вязкие, слегка эластичные или твёрдые аморфные вещества (рис. 15.1).



Рис. 15.1. Природный битум

Битумы встречаются в природе в виде битуминозных горных пород (асфальтовых, например, песка, пористого известняка, содержащих битума от 5 до 20 %) или битумных озёр в местах природных нефтяных месторождений.

В промышленности используют искусственные битумы, получаемые из остатков при переработке нефти (гудроны, асфальты деасфальтизации, экстракты селективной очистки масляных фракций и др.), каменного угля или сланцев.

Искусственные битумы, получаемые из различных видов нефти, отличающихся друг от друга химическим составом и свойствами, называют нефтяными.

В зависимости от технологии получения искусственные битумы подразделяют на:

- *остаточные*, получаемые в результате атмосферно-вакуумной (прямой) перегонки нефти после отбора из нее жидких нефтепродуктов.

При нормальной температуре это твердые или полутвердые продукты относительно малой вязкости;

- *окисленные* (продутые) получают при одновременном воздействии на нефтяные остатки кислородом воздуха и высокой температурой.

В результате нефтяные остатки окисляются и уплотняются за счет образования высокомолекулярных компонентов, их вязкость повышается.

Окисленные битумы более эластичные, термостабильные, погодоустойчивые, чем остаточные, и по долговечности не уступают природным битумам;

- *компаундированные*, получаемые смешением остаточных или окисленных битумов и различных тяжелых нефтяных остатков, с целью придания вяжущему требуемых физико-механических свойства и прежде всего пластичности и устойчивости к старению.

По составу и свойствам искусственные битумы (нефтяные) сходны с природными битумами.

Однако элементарный состав не дает представления о десятках химических соединений, содержащихся в битумах. Поэтому из битумов специальными методами выделяют группы углеводородов с более или менее сходными свойствами (так называемый групповой состав) В их состав входят: масла – 45...60%, смолы – 20...40%, асфальтены – 10...25%, карбены и карбоиды – 1...3% и другие составляющие – 1%.

Масла представляют собой жидкую при обычной температуре группу углеводородов плотностью менее единицы и молекулярной массой 100...500.

Они придают подвижность и текучесть битумам.

Смолы при обычной температуре являются вязкопластичными, твёрдыми или полутвёрдыми веществами плотностью близкой к единице и молекулярной массой 500...1000.

Они придают битумам вяжущие свойства и пластичность.

Асфальтены – твёрдые неплавкие соединения с плотностью более единицы и молекулярной массой 1000...5000 и более. Они придают битумам твёрдость и повышают температуру размягчения битума.

Карбены и карбоиды придают вязкость и хрупкость битумам.

По своему внутреннему строению битум представляет коллоидную систему, где дисперсионной средой служит раствор смол в маслах, а фазой – асфальтены, карбены и карбоиды, коллоиднорастворённые в виде макромолекул.

15.2.1. Свойство нефтяного битума

Свойства битумов во многом зависят от качества сырья (природы перерабатываемой нефти, компонентного состава), способов производства, параметров процесса термоллиза (температуры, давления, продолжительности) и последовательности проведения процесса.

Важнейшими свойствами являются:

- вязкость (твёрдость),
- пластичность (дуктильность),
- температура размягчения и др.

Вязкость битумов оценивается по глубине проникания в битум иглы пенетрометра (пенетрации) и выражается в условных единицах, соответствующих десятым долям миллиметра (единица шкалы прибора 0,1 мм) с округлением до целого числа (ГОСТ EN 1426, СТБ EN 1426) (рис. 15.2).

Пенетрация косвенно характеризует твердость битума.



Рис.15.2. Определение вязкости

Пластичность характеризуется растяжимостью (по абсолютному удлинению стандартного образца битума) в сантиметрах и определяется на приборе дуктилометре.



Рис.15.3. Растяжимость

Растяжимость косвенно характеризует также прилипаемость битума и связана с природой его компонентов.

Температура размягчения битума – это температура, при которой битумы из относительно твердого состояния переходят в жидкое.

Устанавливается на стандартном приборе «Кольцо и шар» (ГОСТ EN 1427, СТБ EN 1427).

Температурой размягчения считается температура, при которой шарик проваливается сквозь битум, заплавленный в кольцо.

При этом у битума, как у сложной коллоидной системы, нет определенной температуры плавления – он размягчается постепенно.



Рис.15.4. Определение температуры размягчения

Старение битума – это необратимое изменение свойств вследствие химических реакций под действием кислорода, озона, температуры, ультрафиолета, солнечной радиации и других факторов.

Под влиянием солнечной радиации, кислорода воздуха и высоких температур состав битума изменяется путём перехода масел в смолы, а смол – в асфальтены.

В результате теряются пластические свойства битума, увеличивается хрупкость.

Такой процесс в естественных условиях называется **старением** (рис.15.5).



Рис.15.5 Разрушение битума в процессе старения

Качественные битумы должны обладать:

- незначительным изменением пластичности при изменении температуры,
- высокой вязкостью и цементирующей способностью,
- стабильностью и долговечностью,
- теплостойкостью (высокой температурой размягчения), обеспечивающей сохранение необходимой прочности сооружений и изделий летом,
- упругостью, благодаря которой сохраняется достаточная пластичность и эластичность при низких температурах
- высокой устойчивостью к старению.

По назначению нефтяные битумы подразделяют на:

- **строительные**, предназначенные для выполнения различных строительных работ и получения твёрдых и тугоплавких асфальтовых мастик (БН 90/10, БН 70/30, БН 50/50);

- **кровельные** производят марок: БНК45/180 и БНК45/190 – для пропитки, БНК90/40 и БНК90/30 – для кровельного слоя;

- **дорожные** для дорожного строительства (БНД 70/100, 100/150 и т.д.)

Выпускают также дорожные жидкие, нефтяные хрупкие и др.

Нефтяные битумы применяются в промышленном и гражданском строительстве (для изготовления гидроизоляционных и кровельных материалов, изоляции трубопроводов, приготовления лакокрасочных материалов), в дорожном строительстве, при ремонте дорог, аэродромов и др.

Недостатки нефтяных битумов:

- низкие атмосферо- и химическая стойкость,

- долговечность,

- требуемые температурные режимы эксплуатации и др.

По комплексу показателей, основные из которых температура размягчения, твердость и растяжимость, битумы подразделяют на марки.

Строительные битумы производятся марок БН: 50/50; 70/30; 90/10

кровельные – марок БНК: 40/180; 45/190 и 90/30,

где «БН» — битум нефтяной, БНК – битум нефтяной кровельный,

Цифры числителя дроби соответствуют показателю температуры размягчения по «К и Ш» (кольцо и шар), знаменатель — указывают на средние значения пределов изменения пенетрации при 25°C.

15.2.2. Улучшение свойств битума

Для устранения имеющихся недостатков и получения органических вяжущих с заданными свойствами в их состав вводят специальные добавки (модификаторы) и называют такие вяжущие битумно-полимерными, модифицированными и др.



Рис.15.6. Битум модифицированный полимерами

Модифицированным битум называют, когда его реологические свойства при изготовлении изменены за счет применения одной или нескольких химических добавок.

В качестве добавок используют побочные продукты производства полиэтилена, полипропилена, полистирола и поливинилхлорида. Вводят побочные продукты производства синтетических смол и каучуков (в количестве 2...5 % от массы битума.) Позволяют повысить деформативность битума Результаты модификации зависят: от совместимости полимера и битума; их количественного соотношения; температурных режимов приготовления.

15.2.3. Битумные эмульсии

Недостаток вязкого битума это высокая их вязкость (поэтому требуется нагревание выше 100 С). Этот недостаток можно устранить при использовании битумных эмульсий.

Битумная эмульсия это однородная, маловязкая жидкость темно-коричневого цвета рационально подобранного состава, получаемая путем диспергирования битума (дисперсная фаза) в дисперсионной среде – водном растворе эмульгатора (поверхностно-активное вещество, активизирующее процесс диспергирования битума и обеспечивающее устойчивость образующейся эмульсии).

Приготовление включает :

- ▶ разогрев битума (90-120 °С),
- ▶ приготовление эмульгатора (ПАВ), диспергирование битума в воде с добавлением водного раствора эмульгатора.
- ▶ - Битум (30-80 % масс.).
- ▶ - Вода (15-70% масс.)
- ▶ - Эмульгатор. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) (0,15-3,0 % масс.).

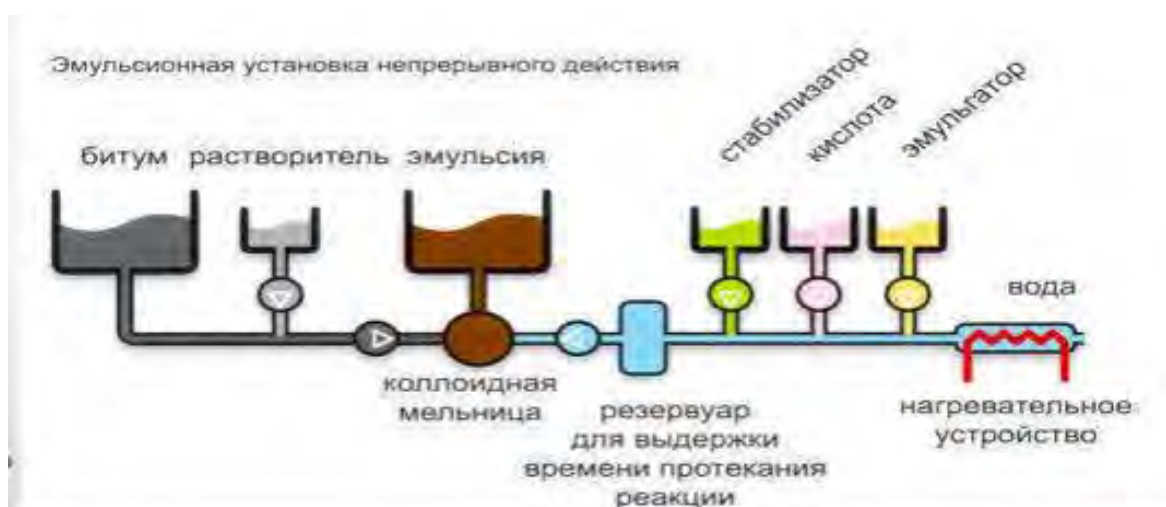


Рис.15.7. Приготовление битумной эмульсии

Битумные эмульсии применяются при строительстве автомобильных дорог, в промышленном и гражданском строительстве.

15.3. Деготь и дёгтевый вяжущие

Дегтевые вяжущие вещества — это сырые *дегти*, *дегтевые масла* и *пеки*.

Дёготь получают как побочный продукт при сухой (без доступа воздуха) перегонке твёрдого топлива (каменного и бурого угля, торфа, сланца, древесины) с целью получения кокса, полукокса и газообразного топлива.

Он представляет собой густую вязкую массу чернокоричневого цвета

Сырой деготь непосредственно для производства строительных материалов не применяется.

Из сырого дегтя отгоняют воду, все легкие масла и часть средних; получают так называемый отогнанный деготь.

По окончании процесса отгонки масел получают твердое (после остывания) вещество черного цвета, называемое *пеком*.



Лучшими свойствами обладают каменноугольные дегти.

Вырабатывают их на коксохимических заводах как побочный продукт при коксовании угля.

В их состав входят: масла – 60...80%, вязко-пластичные смолы – 10...15%, твёрдые смолы – 5...10%, свободный углерод – 5...25%, нафталин – до 7%, антрацен – до 10% и фенолы – до 5%.

Деготь представляет собой сложную дисперсную систему, средой в которой служат масла, а дисперсной фазой – свободный углерод и твёрдые смолы.

Характеризуются биостойкостью, токсичностью и старением.

Свойства дёгтей практически такие же, как у битумов и зависят в основном от состава и структуры.

Основными *качественными характеристиками* :

являются вязкость,
растяжимость (пластичность),
фракционный состав,
плотность,
температура размягчения,
хрупкость,
адгезия и др.

В зависимости от вязкости дёгти подразделяются на марки – от Д1 до Д6.

Истинная плотность их составляет от 1,08 до 1,35 г/см³, температура размягчения – обычно ниже, чем тугоплавких битумов.

По качеству дёгти уступают битумам. У них меньшая теплостойкость и худшая погодоустойчивость.

Однако адгезия (прилипание) дёгтей выше, чем у битумов.

Биостойкость материалов на основе дёгтей тоже выше.

Применяют дегти в производстве различных гидроизоляционных и кровельных материалов, в дорожном строительстве, при изготовлении лаков для окраски металлических конструкций.

Однако применение дегтевых вяжущих в строительной сфере во многих странах мира ограничивается из-за их канцерогенности.

Пек (нидерл. pek, от лат. pīx — смола) — это остаток перегонки дегтя и смолы, образующихся при термической переработке твердого топлива (каменного или бурого угля, торфа, горючих сланцев, древесины) или нефтяного сырья (ГОСТ 1038 и 9950).

Пек представляет собой твёрдую (иногда вязкую) аморфную массу чёрного цвета, состоящую из высокомолекулярных углеводородов, их производных и свободного углерода в виде тонкодисперсных частиц (8...30%).

При ударе пек раскалывается с раковистым изломом, под постоянной нагрузкой проявляет пластичность.

Плотность пека 1,1...1,26 г/см³.

Пеки нерастворимы в воде (торфяной и древесный содержат малые количества водорастворимых веществ), но растворяются во многих органических растворителях.

Применяется в основном как вяжущее вещество в мастиках.

15.4. Полимерные вяжущие вещества

Полимеры - это высокомолекулярные соединения, состоящие из гигантских молекул линейной, разветвленной или трехмерной сетчатой структуры (пространственные решетки).

Молекулы полимера содержат многократно повторяющиеся структурные элементарные звенья (группы атомов), соединенные силами химических связей.

По отношению к действию тепла могут быть термопластичными, так и термоактивными.

Термопластичные (обратимые) смолы при нагревании размягчаются и становятся пластичными, а при охлаждении снова отвердевают. Такой процесс может повторяться, не внося изменения в химические свойства смолы. К термопластичным смолам относится полиэтилен, полистирол, полиамид, полиоритан и ряд других.

Термоактивные (необратимые) смолы, будучи отформованы в процессе изготовления, переходят в неплавкое нерастворимое состояние и вновь формоваться уже не могут. Иначе говоря, термоактивные смолы переходят из вязко-текучего в твердое состояние только один раз.

К таким материалам относятся фенолоформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные и другие смолы.

Фенолформальдегидные смолы (от англ. Phenol formaldehyde resin) — синтетические смолы из группы феноло-альдегидных смол со свойствами реактопластов или терморектопластов.

Обладают механической устойчивостью, прочностью, коррозионной устойчивостью. Растворимы в водных растворах щелочей и полярных растворителях, после отверждения превращаются в густосшитые полимеры аморфной микрогетерогенной структуры.

Используются для получения в качестве связующего компонента в производстве наполненных пресс-композиций с различными наполнителями (целлюлоза, стекловолокно, древесная мука), древесно-волоконистых и древесно-стружечных плит, пропиточных и заливочных композиций (для фанеры, тканых и наполненных волокном материалов).

Эпоксидные смолы – олигомеры, относятся к низкомолекулярным полимерам.

Они могут иметь различную молекулярную массу (от нескольких сотен до нескольких тысяч) и в зависимости от марки и производителя находиться в виде прозрачной жидкости желто-оранжевого цвета или в виде коричневой твердой массы, напоминающей гудрон.

Чаще всего их выпускают в виде смолообразного олигомерного продукта, отверждаемого отвердителями.



Рис. 15.8. Эпоксидная смола

При определённых условиях они способны превращаться в неплавкие и нерастворимые продукты.

Плотность эпоксидных смол составляет $\approx 1,2$ г/см³.

Материалы на основе эпоксидных смол обладают разветвлённым пространственным строением, сшивка цепочек смолы и отвердителя происходит во всех направлениях.

Поэтому они обладают достаточно высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам, отличаются универсальной химической стойкостью, высокой прочностью, водостойкостью и водонепроницаемостью.

Используя различные отвердители можно изменять различные свойства эпоксидных полимеров и получать материалы от резиноподобных до высокомолекулярных.

Применяются такие смолы для устройства наливных бесшовных полов, в качестве высокопрочных конструкционных клеев для склеивания металлических листов, ферм, ремонта железобетонных конструкций, получения полимербетонов и в других специальных целях.

Кремнийорганические полимеры (силиконы, от лат. silicon, silex – кремний, полиорганосилоксаны) представляют собой большую группу высокомолекулярных соединений в виде жидкостей, каучуков и смол.

Все они содержат в своём составе кремний, связанный с органическим углеродом непосредственно или через кислород (полиорганосилоксаны).

Они могут быть, как термопластичными, так и термореактивными.

Наибольшее применение в строительных целях находят полиорганосилоксаны (полисилоксаны).

Используются в качестве связующих в стеклотекстолитах, для производства каучуков, лакокрасочных материалов, клеев, герметиков, гидрофобных составов.

Полиэфирная смола – это синтетический материал, который состоит из ряда компонентов: полиэфир (полиэфирный олигомер, составляет 70% рабочего рас-



твора), ингибитор, . растворитель, ускоритель, инициатор.

Рис. 15.9. Полиэфирная смола

Полиэфирная смола обладает стойкостью к воздействию агрессивных сред, слаба подвержена старению, обладает значительной усадкой.

В сфере строительства ее используют при изготовлении составов для герметизации швов и стыков в отделке и т.д.

Тема 16. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ПЛАСТМАССЫ)

16.1. Общая характеристика полимерных материалов (полимерных компози- тов, пластмасс)

Композиционными материалами (композитами) называют материалы, состоящие из двух и более компонентов.

Термин «полимерные материалы» является обобщающим и объединяет три группы материалов:

- полимеры,
- пластмассы,
- полимерные композиционные материалы (ПКМ).

При этом существует принципиальное различие между полимером и полимерным материалом.

Чтобы полимер стал материалом, в большинстве случаев в него необходимо вводить различные наполнители и другие компоненты.

При этом полимер в композиционных материалах (в качестве матрицы) может применяться в чистом виде (например, оргстекло), либо как полимерное связующее. Однако преимущественно полимерные материалы представляют собой многокомпонентные смеси.

В настоящее время полимерные материалы в абсолютном большинстве называют либо «пластмассами, пластиками», либо «полимерными композиционными материалами, полимерными композитами» (ГОСТ 24888).

Пластмасса (пластическая масса, пластик) представляет собой композицию полимера или олигомера с различными ингредиентами, находящуюся при формировании изделий в вязкотекучем или высокоэластичном состоянии, а при эксплуатации – в стеклообразном или кристаллическом.

Полимерный композит – материал, матрица которого образована из термопластичных или термореактивных полимеров или эластомеров (ГОСТ 32794).

Наполнитель – относительно инертный материал, выполняет армирующую роль и воспринимает основную долю нагрузки, определяет прочность, жесткость и деформируемость материала.

Наполнителями в полимерных материалах могут быть твердые, жидкие, газообразные вещества неорганического (минерального) и органического происхождения.

В качестве твердого наполнителя используются:

- различные порошки (мел, асбест, гидроксид алюминия), в т. ч. высокодисперсные твердые продукты, например, сажа, графит, мел, каолин, слюда,
- волокна (металлические, стеклянные, асбестовые, углеродные, керамические),
- пленки,
- листовой материал (бумага, древесный шпон, холсты, сетки, нетканые материалы) и др.

Содержание дисперсных наполнителей (размером частиц от 2 до 300 мкм) в ПКМ изменяется в широких пределах – от нескольких процентов до 70...80 %.

Путем подбора состава и свойств наполнителя и полимера (матрицы), их соотношения, ориентации наполнителя можно получать полимерные материалы (пластмассы) с требуемым сочетанием эксплуатационных и технологических свойств.

Следовательно, **полимерные материалы** (полимерные композиты, пластические массы, пластмассы, пластики) представляют собой, как правило, затвердевшие композиционные составы, матрицей в которых служат полимеры, олигомеры и сополимеры, которые выполняют роль связующего аналогично цементу в бетоне.

По назначению в строительстве пластмассы подразделяются на:

- конструкционные,
- кровельные,
- гидроизоляционные,
- герметизирующие,
- теплоизоляционные,
- звукоизоляционные;
- отделочные (покрытия полов и стен, лаки, краски, клеи и т. п.)

16.2. Классификация полимерных композитов

Единой общепринятой классификации полимерных композиционных материалов нет. Условно их можно классифицировать по следующим признакам:

- **количеству исходных компонентов** для их изготовления:
 - однокомпонентные,
 - поликомпонентные;
- **составу:**

- ненаполненные (полимерные), представленные только одним связующим либо незначительным количеством других компонентов (красителей, стабилизаторов, пластификаторов), например, органическое стекло, в большинстве случаев полиэтиленовая плёнка и др.;
 - наполненные, в состав которых могут входить наполнители, пластификаторы, стабилизаторы, отвердители, пигменты (стеклопластики, текстолит, напольные покрытия – линолеум и др.). Наполнители используются как для снижения стоимости материала, так и для придания ему специальных свойств;
 - газонаполненные – газо- и поропласты (пенополистирол, пенополиуретан и др.).
- **природе материала матрицы:**
- термопластичные – расплавляются для пропитки наполнителя, а затем охлаждаются (полиэтилен, полипропилен и др.),
 - термореактивные – получают отверждением эпоксидных, эфирных, кремнийорганических и других олигомеров в процессе изготовления композиций,
 - гибридные – сочетают термореактивные и термопластичные компоненты,
 - термоэластопласты – это полимеры синтетического происхождения, которые при невысокой температуре могут обладать свойствами резины, а при высокой температуре становятся размягченными, как термопласты. Термоэластопласты перерабатывают в различные резиновые изделия, не используя стадию вулканизации. Отходы от этого материала можно многократно перерабатывать.
- **природе, типу и форме армирующих компонентов;**
- **структуре:**
- волокнистые,
 - дисперсноупрочненные
 - слоистые.
- **способу изготовления:**
- прессованные,
 - литые,
 - формованные,
 - штампованные,
 - экструдированные,
 - комбинированные и др.

– **физического состояния при нормальной температуре и вязкоупругих свойств:**

- жёсткие – это твёрдые, упругие материалы аморфной структуры, имеющие модуль упругости более 1000 МПа (полиэфирный стеклопластик, винилпласт, сотовый поликарбонат и др.). Они хрупко разрушаются с незначительным удлинением при разрыве.
- полужёсткие – это твёрдые вязкоупругие материалы кристаллической структуры с высоким относительным удлинением при разрыве и модулем упругости 400...1000 МПа (полипропиленовые и полиамидные составы). Остаточные деформации их обратимы и полностью исчезают при нагревании;
- мягкие полимерные материалы имеют сравнительно высокое относительное удлинение при разрыве и модуль упругости 20...500 МПа (поливинилацетат, полиэтилен и др.). Остаточные деформации их тоже обратимы и медленно исчезают при нормальной температуре.
- эластичные (эластики) – это мягкие гибкие материалы, характеризующиеся большими обратимыми деформациями при растяжении и низким модулем упругости 20...100 МПа (каучуки, полиизобутилен и др.).

16.3. Свойства полимерных композитов

Плотность полимерных материалов (композитов) чаще всего находится в пределах 900...1800 кг/м³, т. е. они в два раза легче алюминия и в 5...6 раз легче стали. Причем плотность пористых полимерных материалов (пенопластов) может составлять 30...15 кг/м³, а некоторых плотных – превышать 2 000 кг/м³ (фторопласты).

Прочность полимерных композитов в большинстве случаев превосходит многие традиционные строительные материалы (бетон, кирпич, древесину) и составляет для материалов с порошкообразным наполнителем 100...150 МПа, стекловолоконистых – до 400 МПа.

Теплопроводность таких материалов зависит от их пористости и технологии производства. У пено- и поропластов теплопроводность составляет 0,03...0,04 Вт/(м·К), у остальных – 0,2...0,7 Вт/(м·К).

Полимерные материалы обладают высокой химической стойкостью, низкой истираемостью, легко окрашиваются в массу. У полимерных материалов более низкий модуль упругости, большая деформативность и хорошие адгезионные свойства. Они легко поддаются технологической переработке. Их можно легко обрабатывать – пилить, строгать, сверлить.

Недостатком многих полимерных материалов является **низкая теплостойкость**. У большинства из них (на основе полистирола, поливинилхлорида, полиэтилена и других полимеров) теплостойкость составляет всего 60...80°C. Но у полимерных композитов на основе фенолоформальдегидных смол теплостойкость может достигать 200°C, а кремнийорганических – 350°C и выше.

Являясь углеводородными соединениями, многие полимерные материалы сгораемы или имеют **низкую огнестойкость**. Негорючими являются полимерные материалы с большим содержанием хлора, фтора или кремния. Многие полимерные материалы при переработке, горении и даже нагревании выделяют опасные для здоровья вещества, такие как угарный газ, фенол, формальдегид, фосген, соляную кислоту и др.

Значительным недостатком пластмасс является также **высокий коэффициент термического расширения** – от 2 до 10 раз выше, чем у стали.

При затвердевании полимерные материалы дают **усадку**, достигающую 5...8%. При длительных нагрузках они обладают большой **ползучестью**. Причем с повышением температуры ползучесть ещё больше возрастает, что приводит к нежелательным деформациям.

В процессе эксплуатации полимерам свойственно **старение** – самопроизвольное, необратимое изменение свойств, под действием тепла, кислорода, солнечного света, озона, ионизирующих излучений и др. Старение происходит при хранении полимеров и их переработке, а также при хранении и эксплуатации изделий из них. При старении уменьшается эластичность, увеличивается жесткость и хрупкость, изменяется цвет, появляются трещины, выделяются вредные вещества. Для замедления процессов старения в состав полимерных материалов вводят стабилизаторы.

Кроме того, большинство из них имеют высокую стоимость и дефицитность.

Широкое использование в нашей жизни пластмасс породило новую экологическую проблему. Готовые полимеры и пластмассы на их основе при условии правильно проведенного синтеза и переработки в большинстве своем безвредны. Однако отслужившие свой срок пластмассовые изделия не вписываются в природный цикл: они не гниют и не разлагаются под действием природных агентов, поэтому их количество постоянно увеличивается. Время разложения полимеров – 100...200 лет, а некоторые практически и не разлагаются. Многие при сжигании выделяют токсичные вещества. Прогрессивным решением вопроса с отходами является создание биоразлагаемых полимеров.

16.4. Способы получения полимерных композиционных материалов

Переработка полимеров в материалы и изделия исчисляется многими десятками способов.

Общая схема производства пластмасс включает дозировку и приготовление полимерной композиции, формование изделий и стабилизация их формы и физико-механических свойств. Выбор способа зависит от используемого вида полимера, его физического состояния при формовании и других факторов. Так, листовые материалы формуются обычно на каландрах, трубы и погонажные профильные изделия экструдировать, штучные изделия в основном формуют литьем под давлением.

Каландрование – это формование термопластических масс между двумя или несколькими валками и превращение их в бесконечную ленту (рисунок 16.1). Каландрованием производят полимерные пленки. Чаще всего линолеумы изготавливают вальцево-каландровым способом.

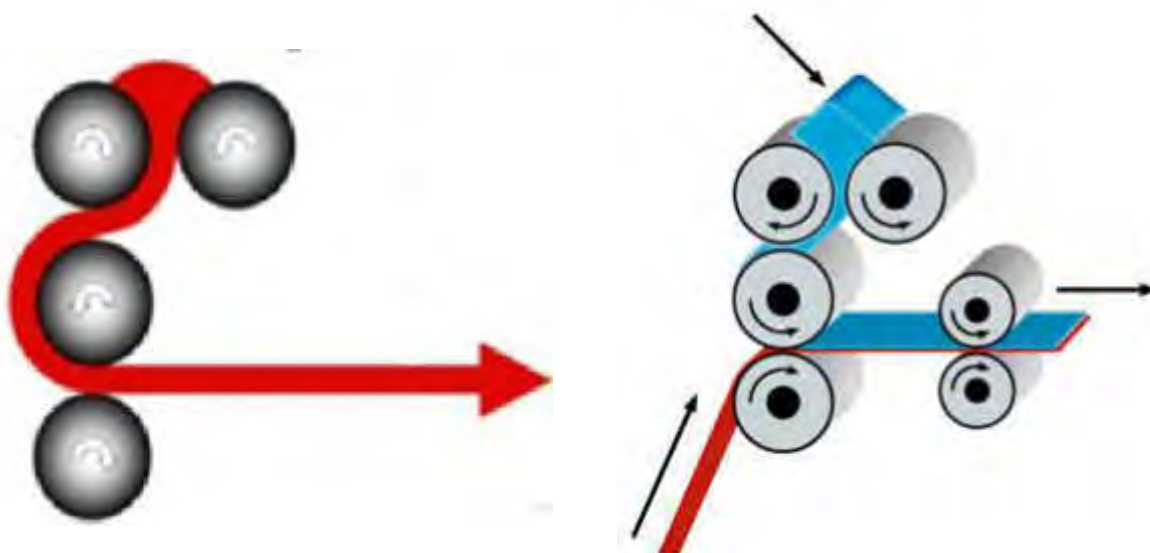


Рис.16.1. Каландрование

Экструзия – процесс получения профилированных изделий способом непрерывного выдавливания размягченной массы через формообразующее отверстие (мундштук). Экструзией производят трубы и погонажные изделия (плинтусы, раскладки, «сайдинг», оконные профили и т. п.).

Термопластичные полимеры, чаще всего перерабатывают способами пластической деформации (экструзии, литья под давлением, каландрования, центробежного литья, механической штамповки, прессования) путём нагревания выше температуры текучести, последующего приложения давления и фиксации полученной формы.

Термореактивные полимеры перерабатывают, сочетая физический процесс собственно формования с химическим процессом образования трёхмерных полимеров (отверждением или вулканизацией).

Основными способами переработки порошкообразных и волоконистых реактопластов являются прессование и литьё под давлением.

Стеклопластики и базальтопластики, например, получают различными методами: протяжки, пропитки, прокатки, намотки, прессования и др.

Однако основными способами переработки полимеров являются экструзия, прессование, литьё под давлением, вакуум- и пневмоформование, на долю которых приходится более 85% всей строительной продукции.

К способам механической обработки полимеров и пластмасс относят: фрезеровку, резку, расточку, шлифовку и др.

16.5. Стеновые материалы и изделия

Стеновые материалы и изделия из полимеров **по назначению** можно условно подразделить на:

- конструкционные (древеснослоистые и стекловолоконистые пластики),
- отделочные,
- конструкционно-отделочные

По **форме** они могут быть:

- рулонные,
- листовые,
- плиточные,
- профильно-погонажные.

Древеснослоистые пластики получают склеиванием между собой в специальных пресс-формах при высоких температуре и давлении листов берёзового, липового или букowego шпона, пропитанных синтетическими смолами.

В **стеклопластиках** армирующим компонентом служит стеклянное волокно в виде нитей, жгутов (ровингов), тканей, матов и рубленых волокон. Если в качестве армирующего компонента используется стеклоткань, то такой материал называют стеклотекстолитом.

В качестве синтетических связующих для производства конструкционных пластмасс используют полиэфирные, эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиамидные, поликарбонатные и другие полимеры.

Наиболее массовый ассортимент отделочных рулонных материалов выпускается из поливинилхлоридных смол и их композиций. По структуре они могут быть сдублированы с какой-либо основой (основные) и без подосновы. К таким материалам относят различные плёнки, мембраны, ленты плотной и пористой внутренней структуры, искусственные кожи и замши и др.

Акриловый камень – листовый композиционный материал, состоящий из связующего компонента (акриловой смолы), минерального наполнителя (тригидрата алюминия) и цветных пигментов (например, диоксида титана) (рисунок 16.2).

Для получения полуфабрикатов компоненты смешивают, помещают на ленту конвейера, придают определённую форму, подвергают термообработке и режут на отдельные листы толщиной, как правило, 6, 13 и 19 мм.

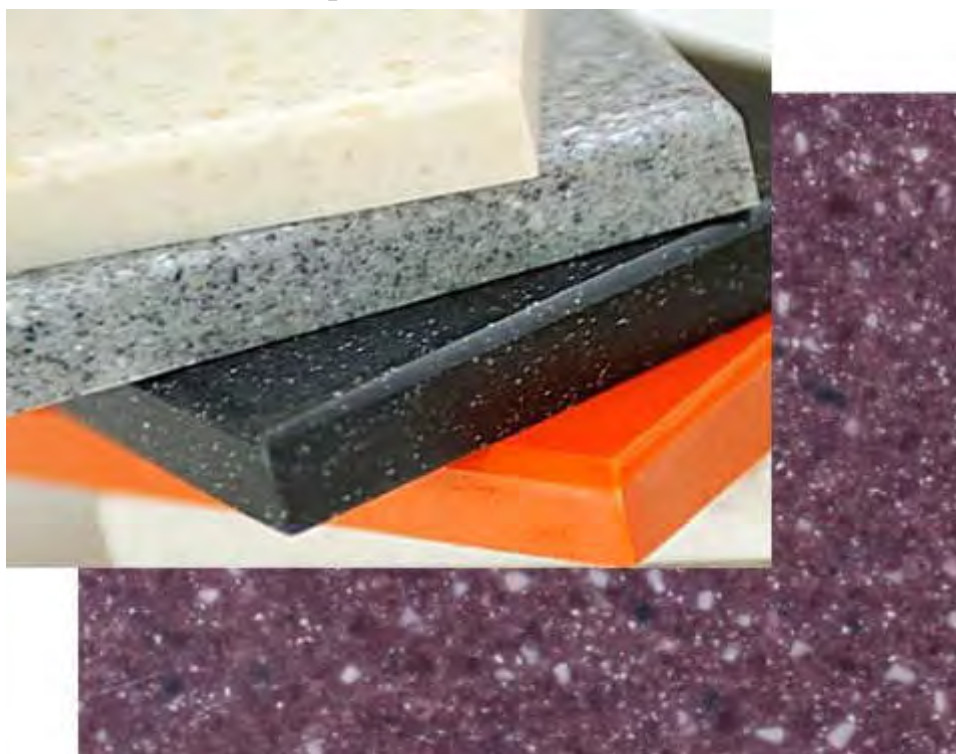


Рис. 16.2. Образцы акрилового камня

Листы толщиной 6 мм используются как облицовочный материал, а 13 и 19 мм – для изготовления весьма разнообразных изделий (двери, всевозможная мебель и фурнитура, сантехпосуда и др.).

Акриловый камень – материал лёгкий, пластичный, вместе с тем плотный и очень прочный, не бьётся, экологически чистый (гигиеничный).

По цвету изделия могут быть однотонными или имитировать натуральный камень (мрамор, гранит и др.). Всего в спектре акрилового камня более 100 цветов и оттенков.

Кроме того, из полимеров (полиэтилена, поливинилхлорида, полипропилена, полистирола и других) методом экструзии выпускают **ряд листовых и рулонных материалов**. Толщина их составляет 0,8...10 мм, ширина, как правило, 1500 мм и длина в зависимости от толщины 10...20 м, либо по желанию заказчика. Размеры стандартных листов – 1500х3000 мм.

По внешним показателям такие изделия могут быть матовыми, прозрачными, белыми и других цветов.

Они лёгкие, достаточно прочные, гибкие, обладают сравнительно высокой химической стойкостью.

Огромный ассортимент отделочных материалов составляют изделия, выпускаемые различными производителями под названиями декоративные стеновые панели, вагонка ПВХ, пластиковые панели, наборные пластиковые или реечные панели и др. (рисунок 16.3).

Все они по своим характеристикам практически идентичны друг другу и представляют собой, как правило, объёмные пластины с сотовой продольной внутренней структурой. С лицевой стороны на гладкую поверхность специальными методами печати наносится декоративный рисунок. Окраска чаще всего однотонная под дерево или натуральный камень. Между собой панели соединяются в «паз-гребень» или «паз-паз». Стандартные размеры их: длина от 2500 до 6000 мм, ширина – 100...300 мм и толщина – 8...12 мм.

В зависимости от вида полимера, состава исходных компонентов и технологии производства могут применяться как для внутренней, так и наружной декоративной отделки стен и потолков зданий самого различного назначения.

Сайдинг (от англ. siding – процесс обшивки фасада или дословный перевод «наружная обшивка») изготавливают методом экструзии (моноэкструзии и коэкструзии) из поливинилхлорида (виниловый сайдинг) в виде полос (панелей) (рисунок 16.4).

Для изготовления используется расплавленный состав (компаунд), смешанный с набором присадок, которые во многом и определяют его качественные характеристики.

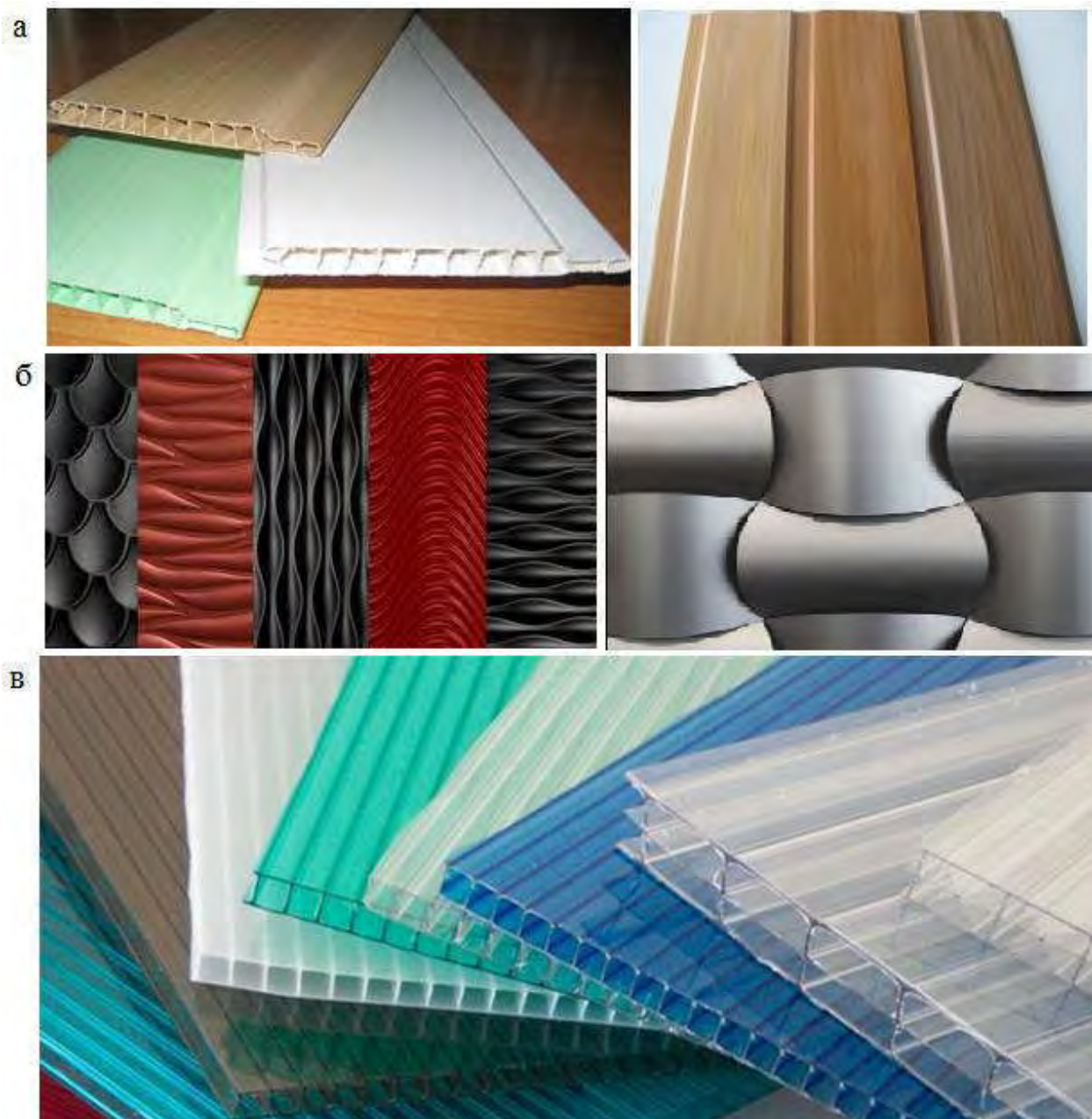


Рис. 16.3. Листовые полимерные материалы: а – вагонка ПВХ, б – пластиковые панели, в – сотовый поликарбонат



Рис.16.4. Разновидности сайдинга и фрагмент облицовки

Каждая полоса сайдинга – это монолитный (гомогенный) лист, которому придана определённая форма с замком-защёлкой и перфорированной кромкой для гвоздей.

Лицевая поверхность может быть гладкой либо фактурной, например имитирующей текстуру древесины (вагонку), природный камень, кирпич.

Размеры сайдинга, выпускаемого различными фирмами, составляют: длина $\approx 2 \dots 6$ м, ширина $\approx 100 \dots 300$ мм, толщина $\approx 0,96 \dots 1,2$ мм.

В зависимости от конкретных условий применения различают стеновой и цокольный сайдинг. Срок службы – до 50 лет. Применяется как в промышленном, так и гражданском строительстве.

Сайдинг может быть также металлический, деревянный, из фиброцемента и др.

Слоистые пластики представляют собой листовые композиционные материалы, получаемые горячим прессованием предварительно пропитанных листовых или волокнистых наполнителей. Сочетание определённого типа наполнителя и связующего определяют разнообразие их свойств и названий (гетинакс, текстолит,

стеклотекстолит, стеклопластик и др.). Толщина листов составляет от 0,5 до 110 мм. Используются как отделочные, конструкционные и в других целях материалы.

Декоративный бумажно-слоистый пластик (гетинакс) получают путём горячего прессования нескольких слоёв (15...20) специальных видов бумаги, предварительно пропитанных синтетическими термореактивными смолами (рисунок 16.5).

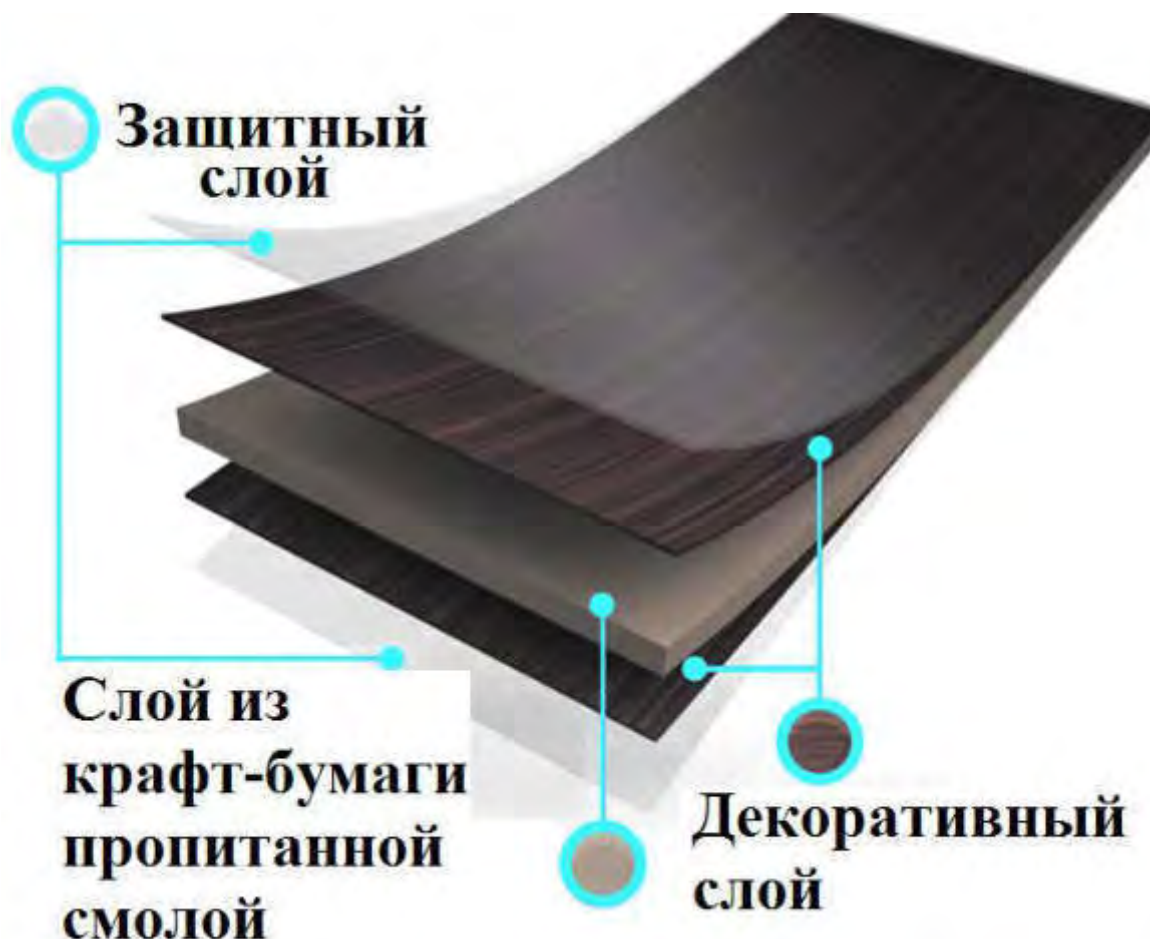


Рис.16.5. Декоративный бумажно-слоистый пластик

Для нижнего и среднего слоёв применяют крафт-бумагу, для верхнего лицевого слоя – одно- или многоцветную текстурную бумагу или же бумагу с рисунком. Рисунок может имитировать ценные породы дерева (ореха, дуба и др.) или камня (малахита, мрамора и др.).

Применяется чаще всего в виде защитно-декоративного (ламинированного покрытия) по несущей основе – ДСП, МДФ, ДВП и др.

Современной разновидностью такого материала является пластик (ламинат) HPL (high pressure laminate – ламинат высокого давления), состоящий из несущей основы, верхнего декоративного слоя и защитного (оверлей) – практически прозрачного.

Выпускается в листах (плитах, панелях) различного формата, например, 1320x3650 мм и более при толщине от 0,2 до 16 мм и более.

Разновидностью декоративного пластика является **постформинг**, который способен к последующей температурной формовке (выпуклой или вогнутой) в соответствии с выбранной технологией и требуемым радиусом. Это позволяет делать закруглённые края и профили различных изделий (скинали), не содержащие креплений (рисунок 16.6).



Рис. 16.6. Постформинг

Сэндвич-панели состоят, как правило, из трёх основных слоёв: два наружных профилированных листа из твёрдого поливинилхлорида, между которыми находится теплоизоляционный материал.

Наружные профильные слои могут быть также металлическими. В качестве теплоизоляционного материала применяют минеральную вату (базальтовое волокно), пенополистирол, пенополиуретан и др.

Выпускают двух видов – стеновые и кровельные.

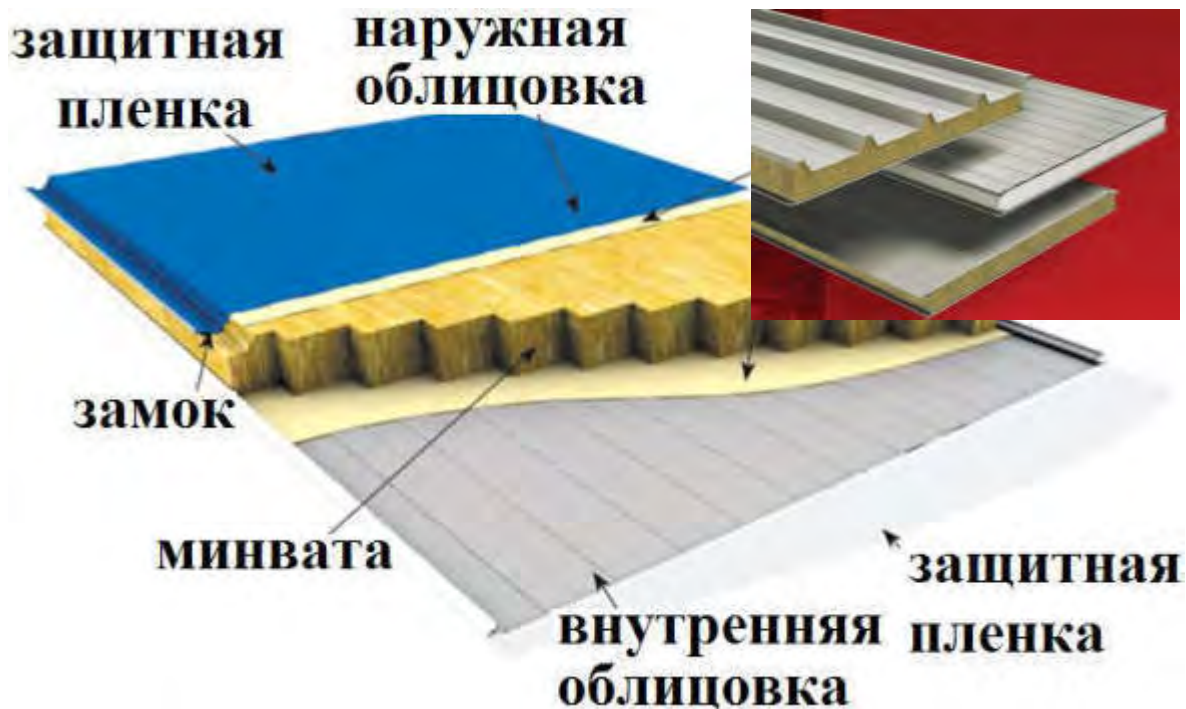


Рис. 16.7. Структура сэндвич-панели

К профильно-погонажным отделочным материалам и изделиям, изготовленным на основе полимеров, относят длинномерные элементы разнообразных профилей, окраски и назначения:

- профиль для оконных и дверных блоков (стеклопакетов);
- плинтусы;
- поручни для лестниц, балконов и других ограждений;
- защитные и декоративные накладки;
- раскладки для крепления и обработки швов листовых и рулонных облицовочных материалов;
- рейки для облицовки стен;
- наличники дверные и оконные;
- герметизирующие и уплотняющие прокладки для окон, дверей и стыков в крупнопанельных зданиях и др.

Профиль – изделие, изготовленное способом экструзии, с заданными размерами и формой сечения.

Погонажные изделия получают в основном экструзионным методом из композиций на основе поливинилхлоридной смолы.

Эти изделия характеризуются достаточной эластичностью, теплостойкостью, малой горючестью, химической стойкостью, водонепроницаемостью, гигиеничностью и рядом других ценных свойств.

Материалы для **натяжных потолков** получают преимущественно из поливинилхлоридной плёнки и полиэфирной ткани.

Для получения цельного потолка плёнка сваривается высокочастотной сваркой с образованием едва заметного шва. Для устройства потолка по периметру плёнки крепится специальный пластиковый профиль – гарпун. Растяжка полотна плёнки производится с помощью тепловой пушки при температуре 50...60°C. После снижения температуры полотно плёнки натягивается и становится ровным.

16.6. Материалы и изделия для устройства пола

Полом называется строительная конструкция, на которой осуществляется весь производственный и жизнедеятельный процесс и от состояния которой зависит здоровье людей и качество производимой продукции.

Конструкция пола состоит, как правило, из нескольких слоев: покрытие, прослойка, гидроизоляция, стяжка, теплоизоляция, звукоизоляция, подстилающий слой и грунтовое основание. Рассмотрим верхний слой пола, непосредственно подвергающийся эксплуатационным воздействиям – покрытие.

Материалы для покрытия пола должны без деформаций и разрушения воспринимать нагрузки от людей, мебели, оборудования, машин; сопротивляться воздействию воды и растворов, абразивов, динамических нагрузок, температур, излучения различной природы, статического электричества.

Кроме того, полы из таких материалов должны быть

- максимально ровными,
- не скользящими,
- пожаробезопасными,
- выглядеть эстетично.

Напольные полимерные покрытия можно подразделить на:

- монолитные бесшовные,
- рулонные,
- листовые (плиточные).

Из **монолитных бесшовных покрытий** наиболее распространёнными и перспективными являются **полимерные наливные покрытия**. Они представляют собой полимерную мембрану, нанесённую, как правило, на бетонное основание. Внешне наливные полимерные покрытия очень похожи на линолеум, керамогранит, гранит, мрамор, но без швов и зазоров. Цвета самые разнообразные: салатовый, серый, бежевый, светло-коричневый и др.

Различаются такие покрытия как по типу связующего и наполнителя (составу), так и по толщине и степени наполнения.

По типу используемого состава различают эпоксидные, метилметакрилатные, полиуретановые, цементно-акриловые и др.

Связующими в них служат жидко-вязкие олигомеры: эпоксидные, полиэфирные, полиуретановые и др. Самыми распространенными являются эпоксидные полы, затем полиуретановые и метилметакрилатные.

Наполнителями являются фракционированный кварцевый песок и другие порошкообразные и чешуйчатые материалы из горных пород.

К **рулонным** напольным полимерным материалам относят:

- «линолеумы»,
- ковролины.

Их **классифицируют** по:

- виду исходного сырья (поливинилхлоридный, алкидный, резиновый, кллоксилиновый, на основе синтетических волокон),
- структуре (с подосновой и без основы, однослойный и многослойный),
- форме (полосовой, прямоугольный и квадратный),
- цвету (одно- и многоцветный),
- фактуре лицевой поверхности,
- области применения (бытовой, полукommerческий, коммерческий и специальный).

Линолеум (*лат. «oleum lini»* – льняное масло) – напольные покрытия, выполненные как из натуральных, так и синтетических связующих.

Самым распространённым таким линолеумом является **поливинилхлоридный** (ПВХ). На его долю приходится более 70% мирового выпуска аналогичных напольных покрытий. Выпускается также глифталевый (алкидный), коллоксилиновый (нитроцеллюлозный) и резиновый (релин) линолеумы.

По составу линолеумы подразделяется на гомогенный и гетерогенный.

Гомогенный линолеум (однослойный) представляет собой покрытие без основы и является однородным тонким материалом. Толщина его, как правило, 1,5...3,0 мм, и рисунок расположен по всей толщине.

Благодаря однородности структуры на гомогенном линолеуме практически не заметны потёртости рисунка, что делает возможным его применение в местах с большой интенсивностью движения. Срок службы таких линолеумов невелик и составляет 5...7 лет. Для продления срока службы иногда наносят специальные защитные слои, например, из полиуретана.

Гетерогенный линолеум (многослойный) имеет сложную структуру и состоит из нескольких слоёв, общая толщина которых составляет от 2 до 6 мм (рисунок 16.8).



Рис. 16.8. Структура гетерогенного линолеума

Он дороже и сложнее в производстве, но отличается богатым выбором рисунка.

В качестве основы (подложки) таких линолеумов используются полиэстер, войлок, джут, поливинилхлорид, полиуретан, кора пробкового дуба и др. Основа может быть, как вспененной, так и плотной. Вспененная основа является прекрасным электро-, тепло- и звукоизоляционным материалом.

Наполнителями в таких линолеумах служат обычно тонкоизмельчённые минеральные порошки: каолин, мел, тальк, барит, либо органические – древесная мука.

Так же на рынке присутствует так называемый «натуральный линолеум», полимеризация которого происходит за счёт окисления натурального масляного связующего, например, льняного или соевого, а основой служит джутовая ткань. Современный натуральный линолеум производится из особой массы, включающей льняное масло, древесную муку, смолу хвойных деревьев, измельченный известняк и минеральные красители. Он формируется посредством прессования без применения химических связующих веществ.

Линолеум выпускают в рулонах шириной 1200...4000 мм, а по спецзаказам – до 5000 мм и длиной – 12...27 м (длина промышленных рулонов может достигать 100 м).

Основными качественными характеристиками линолеума являются:

- износостойкость,
- тепло- и звукоизоляция,
- абсолютная остаточная деформация,

- изменение линейных размеров,
- прочность связи между лицевым защитным слоем из плёнки и следующим слоем,
- удельное поверхностное электрическое сопротивление и др.

Напольные покрытия в зависимости от **интенсивности эксплуатационной нагрузки** подразделяют **на классы и группы**.

Различают напольные покрытия для жилых, производственных и офисных помещений.

В нашей стране линолеумы в зависимости от области применения подразделяют ещё на бытовой, коммерческий и полукоммерческий.

Бытовой линолеум – это, как правило, гетерогенное покрытие с подложкой, относительно невысокими эксплуатационными характеристиками и сравнительно низкой себестоимостью. Толщина такого линолеума 1,5...3,0 мм при ширине рулонов 1,5...4 м. Остаточные деформации не превышают 0,2 мм, слой износа составляет 0,15...0,35 мм, либо отсутствует.

Коммерческий линолеум (контрактный) представляет собой покрытие повышенной износостойкости. Он прокрашивается по всей массе, имеет большую толщину, более прочный и более толстый защитный слой (порядка 0,7 мм) из полиуретана, полиакрила или прозрачного ПВХ.

При действии прямых солнечных лучей не выцветает, не оставляет следов при достаточно высоких точечных нагрузках, например, каблуков или ножек мебели.

К коммерческим видам линолеума относятся и специальные покрытия, у которых улучшены отдельные характеристики (акустические или шумопоглощающие (с повышенными качествами шумоизоляции), противоскользящие (предназначены в основном для влажных помещений), антистатические (позволяют обеспечить отсутствие статического напряжения), спортивные (заметно снижают риск травматизма и не оставляют следов от спортивной обуви) и др.

Полукоммерческий линолеум гораздо прочнее, чем бытовой, но уступает по своим техническим характеристикам коммерческому.

Рулоны линолеума хранят в вертикальном положении в сухом помещении при температуре не ниже 10°C.

Линолеумы производятся не только рулонным материалом, но и в виде листов, плиток (модульные покрытия, дизайн-плитки). Они могут иметь различную форму, размеры и текстуру лицевой поверхности. Области применения модульных покрытий самые разнообразные – от представительских помещений класса «люкс» до обычных квартир.

Ковролины (ковровые покрытия) в отличие от традиционных ковров, имеющих «территориальные ограничения», представляют собой рулонные материалы с необработанными кромками и предназначены для сплошного (несъёмного) покрытия пола по всей площади помещения.

Кроме того, от обыкновенных ковров они отличаются более высокими износостойкостью, теплоизоляционными и шумопоглощающими свойствами.

При этом каждый вид коврового покрытия имеет своё целевое назначение – жилой дом, офис, спальня, холл и т. д.

Главными недостатками таких покрытий являются необходимость регулярной чистки пылесосом и выгорание на солнце.

Ковровые покрытия, как и штучные ковры, состоят из основы и ворса (рисунок 16.9).



Рис. 16.9. Структура коврового покрытия

Основа по виду материала может быть изготовлена из резины, джута (натурального или искусственного), войлока, ткани, стекловолокна, полиэфира, поливинилхлорида, флизелина и может быть комбинированной.

По структуре (количеству слоев) может быть однослойной и двухслойной.

Наиболее важным элементом ковровина, определяющим его качество, является ворс. Различают волокна ворса – натуральные, искусственные, синтетические и смесовые.

Синтетические волокна получают из полиамида РА (нейлон, перлон, антрон, диатрон, капрон), полипропилена РР (олефин, терклон, суприм), полиакрила – РАС, полиэфира PES (полиэстер) и др.

Полиамидные волокна являются самыми дорогими из синтетических материалов, но вместе с тем и самыми распространёнными.

Срок их службы их 10...15 лет. Недостаток – низкая пятнустойкость.

Смесовые волокна состоят из синтетических полимеров и от 10 до 30% шерсти.

По **способу производства** различают тканые, тафтинговые, иглопробивные и флокированные ковровые покрытия (рисунок 16.10).

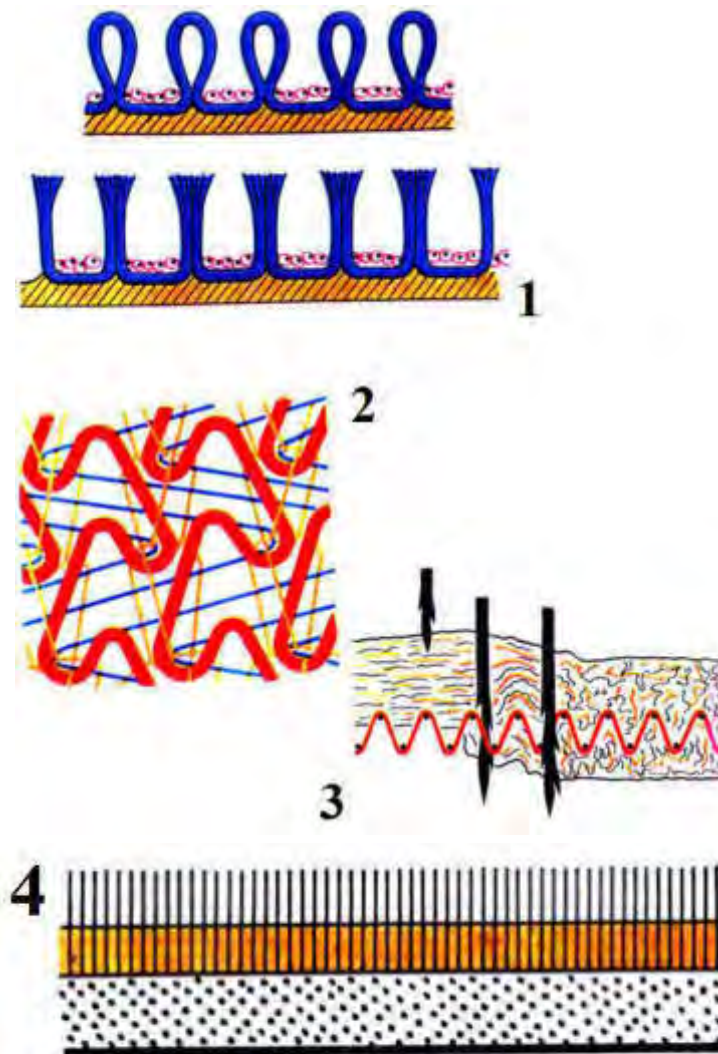


Рис. 16.10. Формирование структуры ковра: 1 – нетканого тафтингового, 2 – трикотажного, 3 – иглопробивного войлочного, 4 – флокированного ворсового

При тканом способе ворс образуется путём переплетения однотонной и разноцветной пряжи и завязывания узелков на прочной основе, концы которых затем подстригают. Тканый ковролин самый прочный и дорогой.

При тафтинговом (иглопробивном) способе изготовления ковролина нить вкалывают иглой в основу, с лицевой стороны оставляют петли заданной высоты и с изнанки закрепляют клеевым составом. После этого наносится вторичная основа. Получается менее прочно, но зато больше возможностей для получения разнообразных конструкций коврового покрытия: петлевой (верх петельками), ворсовый (верх ворсинками) и их разновидности.

Кроме того, тафтинговый способ более производительный, менее трудоёмкий и наиболее распространённый.

Иглопробивной способ заключается во множественном прокалывании волокнистой основы иглами со специальными зазубринами (не имеют ушек).

Волокна, захваченные зазубринами, причудливо переплетаются, придавая изделию вид войлочного (валенка). С изнанки их также закрепляют вторичной основой.

При флокировании ворсинки длиной 3 мм с помощью электростатического поля плотно «выстраиваются» на полихлорвиниловой основе и затем закрепляются специальными вяжущими средствами.

Ковролин может быть петлевой (с количеством петель от 72 тыс. до 200 тыс. на квадратный метр), беспетлевой, с разрезным ворсом и комбинированный. Однако с точки зрения качества важна не столько высота ворса, сколько его плотность (масса ворса на единицу площади – г/м²). Как правило, она составляет от 360 до 3700 г/м².

По высоте ворса ковровые покрытия могут быть одноуровневые и многоуровневые (берберы).

Внешний вид ковролина и стойкость цвета к истиранию во многом определяются способами его окрашивания. Можно окрашивать синтетический полимер, из которого производят будущее волокно, либо само волокно, а можно также нанести краску на уже готовое ковровое покрытие.

Самым лучшим считается ковролин, вытканый из нитей, произведённых из цветной синтетической массы.

Чаще всего ковролин выпускается в рулонах, однако существуют коммерческие покрытия в виде отдельных квадратов (модульной плитки), что существенно упрощает замену отдельных фрагментов на местах самых активных перемещений.

Срок службы до 15 лет.

16.7. Трубы и фитинги

Трубы представляют собой полые (пустотелые) цилиндрические или профильные изделия, имеющие большую по сравнению с сечением длину.

В строительстве трубы используют для транспортирования жидкостей, газов, пара, сыпучих материалов, прокладки коммуникаций или в качестве элементов строительных конструкций.

Трубы подразделяются по многим показателям.

В зависимости от материала изготовления трубы могут быть:

- металлические (чугунные, стальные, из цветных металлов),

- неметаллические (полимерные, керамические, стеклянные, асбестоцементные, бетонные),

- композиционные (металлополимерные, железобетонные и др.).

По однородности материала в поперечном сечении различают:

- однослойные,

- многослойные трубы (например, металлопластиковые) и др.

По форме поперечного сечения трубы подразделяют на:

- обычные (кольцевого сечения),

- профильные (квадратные, прямоугольные, овальные, плоскоовальные).

По назначению и условиям применения различают трубы:

- общего,

- целевого назначения.

Полимерные трубы классифицируют по:

- виду полимера, из которого они изготовлены и которым определяются их качественные характеристики;

- методу изготовления (например, экструзии или литья под давлением);

- конструктивными особенностями: с гладкой или гофрированной поверхностью, однослойные и многослойные, армированные, из разнородных материалов, с гладким или раструбным концом и др.

Полимерами для изготовления труб и соединительных деталей служат:

- полиэтилен (низкого и высокого давления, сшитый, повышенной термостойкости и др.),

- поливинилхлорид,

- полибутилен,

- полипропилен,

- композиты на основе полиэтилена и полипропилена и др.

Основными техническими характеристиками труб и трубопроводных систем в зависимости от их назначения являются:

- внешний вид (качество внешней и внутренней поверхности, цвет),

- геометрические параметры,

- стойкость к агрессивным средам,

- термическая стабильность,

- температурное расширение,

- относительное удлинение при разрыве,

- предел текучести при растяжении,

- ударная прочность,

- температура размягчения,
- наименьший радиус изгиба,
- характеристики соединений труб и др.

При обозначении труб указывается только наружный диаметр, который при изменении толщины стенки остается постоянным, а внутренний соответственно изменяется. Полный ряд номинальных наружных диаметров полимерных труб следующий (мм): 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 75; 90; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 225; 250; 280; 315; 355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800 и 2000.

В зависимости от диаметра и вида полимера трубы выпускаются в виде прямых отрезков, в бухтах и на катушках.

В исходное сырье, из которого изготавливают пластмассовые трубы и соединительные изделия к ним, вводят пигменты для придания материалу определённого цвета:

- чёрный – полиэтилену (рисунок 16.11),
- серый или белый – полипропилену,
- розово-жёлтый – поливинилхлориду и т. д.

Цвет труб характеризует также их функциональное назначение:

- голубой и синий цвет труб или продольные полосы такого же цвета на внешней поверхности труб — для систем холодного водоснабжения (рисунок 16.11),
- белый — для систем горячего водоснабжения и отопления,
- красный — для систем напольного отопления.
- жёлтый цвет применяют для труб и соединений деталей систем газоснабжения.

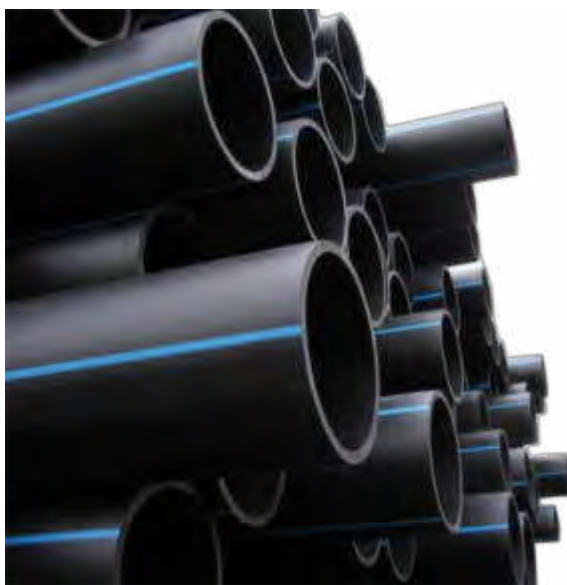


Рис. 16.11. Полиэтиленовые трубы для холодного водоснабжения

Трубы из полимерных материалов и соединительные детали к ним (фитинги) применяются во внутренних санитарно-технических системах холодного и горячего водоснабжения, водоотведения, для оборудования центрального и внутреннего отопления зданий, устройства тёплых полов, технологических трубопроводов и газопроводов и для других технических целей.

Из полимеров изготавливают также большинство изделий санитарно-технического назначения – ванны, умывальники, раковины, душевые кабины, вентиляционные и радиаторные решётки и другие изделия для санитарных и моечных помещений.

ТЕМА 17. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

17.1. Определение и классификация

Теплоизоляционными (ТИМ) называют строительные материалы и изделия, предназначенные для тепловой изоляции зданий и сооружений и уменьшения теплообмена с окружающей средой.

По СТБ ISO 9229 ТИМ – материал, предназначенный для уменьшения теплопереноса, теплоизоляционные свойства которого зависят от его химического состава и/или физической структуры.

Основное их назначение – ограничить количество передаваемого тепла от нагретой среды к холодной, т. е. сохранять в помещении внутреннее тепло зимой и защищать от жары летом.

Отличительной особенностью теплоизоляционных материалов является:

- их высокая пористость,
- малая средняя плотность
- низкая теплопроводность.

Известно, что передача тепла внутри материала или от одного элемента конструкции к другому (теплообмен) обусловлена разностью температур.

Существуют три простых способа миграции (передачи) тепла в зданиях и сооружениях (рисунок 17.1):

- теплопроводность,
- конвективная теплопередача (конвекция),
- тепловое излучение (лучистый теплоперенос).



Рис. 17.1. Способы передачи тепла

Теплопроводность. Если внутри тела имеется разность температур, то тепловая энергия переходит от более горячей его части к более холодной.

Такой вид теплопередачи, обусловленный тепловыми движениями и столкновениями молекул, и называется теплопроводностью.

Теплопроводностью можно назвать молекулярный перенос теплоты в сплошных средах (твердых телах, капельных жидкостях и газах). Передача тепла в этом случае обусловлена движением молекул, которое остановить полностью практически невозможно, но снизить вполне реально. В неподвижном сухом воздухе молекулы движутся медленнее всего.

Следовательно, наименьшей теплопроводностью обладает воздух [$\lambda = 0,0226$ Вт/(м·К)] $\approx 0,023$. Для металлов значения λ лежат в пределах 20–418 Вт/(м·К). Наибольшее значение теплопроводности у серебра и меди.

Большинство теплоизоляционных материалов имеют пористое строение, что не позволяет рассматривать их как сплошную среду.

Поэтому теплопроводность пористых материалов – величина условная и характеризует перенос теплоты как теплопроводностью, так конвекцией и излучением через заполненные газом поры.

Следовательно, теплопроводность строительных материалов в первую очередь зависит от объема пор и характера пористой структуры.

Конвекция (от лат. *con* – принесение, доставка) характерна для жидких и газообразных веществ, где перенос тепла происходит в результате движения молекул, потоками вещества и свойственен движущимся жидкостям и газам.

Конвективный теплообмен увеличивается по мере роста размеров пор и воздушных прослоек, связывающих эти поры.

Тепловое излучение представляет собой процесс превращения тепла в лучистую энергию и передачи ее в окружающее пространство.

Тепловое излучение – это процесс распространения электромагнитных колебаний с различной длиной волн, обусловленный тепловым движением атомов или молекул излучающего тела.

Все тела способны излучать энергию, которая поглощается другими телами и снова превращается в тепло. При тепловом излучении передача тепла происходит с поверхности материала через пространство в виде лучистой энергии. На лучистый теплообмен решающее влияние оказывает температура эксплуатации.

Основные потери тепла здания складываются из потерь тепла всеми ограждающими конструкциями (пол, стены, окна, двери и крыша) (рисунок 17.2).



Рис. 17.2. Потери тепла через ограждающие конструкции

Следовательно, потери тепла зависят от уровня их теплоизоляции.

Любое ограждение способствует сопротивлению передачи тепла от нагретой среды к холодной.

Для достижения требуемого сопротивления необходимо либо увеличивать толщину ограждения, либо применять теплоизоляционные материалы, позволяющие снижать толщину ограждения.

Основными качественными характеристиками теплоизоляционных материалов являются их пористость, плотность и теплопроводность (ГОСТ 17177).

К теплоизоляционным относят материалы и изделия, имеющие численное значение теплопроводности не более $0,175 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ и среднюю плотность в сухом состоянии до $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ (в соответствии с ГОСТ 16381 теплопроводность до $0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, средняя плотность до $300 \text{ кг}/\text{м}^3$). Материалы, имеющие теплопроводность менее $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$, принято называть эффективными теплоизоляционными материалами (в среднем $\rho = 100\dots 200 \text{ кг}/\text{м}^3$ и $\lambda = 0,05\dots 0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$).

Следовательно, самым характерным признаком таких материалов является **низкая плотность и высокая пористость**, так как воздух, находящийся в порах материала, обладает гораздо **меньшей теплопроводностью** ($0,023 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$), чем окружающее его вещество.

Чем ниже средняя плотность материала, тем больше в нем пор и тем ниже его теплопроводность.

Поэтому теплоизоляционные материалы принято подразделять **на марки** в зависимости от **плотности** ($\text{кг}/\text{м}^3$): D15, D25, D35, D50, D75, D100, D125, D150,

D200, D250, D300, D350, D400, D500. Марка теплоизоляционного материала обозначает верхний предел его средней плотности. Например, изделия марки 75 могут иметь плотность равную $51 \dots 75 \text{ кг/м}^3$.

В условиях эксплуатации теплопроводность материалов зависит не только от его плотности и пористости. Она зависит также от структуры пористости, влажности, температуры окружающей среды и других факторов.

Не менее важными, качественными характеристиками теплоизоляционных материалов также являются:

- сжимаемость и упругость,
- прочность,
- водопоглощение,
- сорбционная влажность,
- гидрофобность,
- паропроницаемость,
- водостойкость,
- морозостойкость,
- огнестойкость,
- надёжность и долговечность,
- возможность проведения монтажных работ вне зависимости от сезона и др.

(ГОСТ 17177).

По теплопроводности λ теплоизоляционные материалы делят на три класса:

- А – низкой теплопроводности (до $0,06 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$);
- Б – средней – ($0,06 \dots 0,115 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$);
- В – повышенной теплопроводности ($0,115 \dots 0,175 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

Для оценки теплозащитных свойств материалов (ограждающих конструкций) важной характеристикой является также тепловое сопротивление (R_T , $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$) – величина обратная коэффициенту теплопроводности:

$$R_T = \frac{a}{\lambda}$$

где a – толщина слоя, м, λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot\text{К}$.

Термическое сопротивление (тепловое сопротивление) — способность конструкции (его поверхности или какого-либо слоя) препятствовать распространению теплового движения молекул. Если конструкция хорошо проводит тепло – значит, слабо теплу сопротивляется.

Термическое сопротивление – величина, нормируемая в каждом регионе (в зависимости от температурной зоны эксплуатации), характеризует все типы ограждающих конструкций с точки зрения их теплозащитных свойств.

В настоящее время в Республике Беларусь термическое сопротивление принято: для наружных стен – 3,2 (м²·К)/Вт (таблица 17.1), совмещённых покрытий и чердачных перекрытий – 6,0 (м²·К)/Вт, световых проёмов – 1,0 (м²·К)/Вт.

Таблица 17.1. Необходимая толщина наружной стены для обеспечения требуемого термического сопротивления

Материал	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К	Необходимая толщина наружной стены для обеспечения термического сопротивления $R_T=3,2$ (м ² · К)/Вт, см
Алюминий	230	73600
Сталь	52	16640
Бетон тяжелый	1,5	480
Гранит, базальт	3,5	1120
Стекло	1,15	368
Грунт 20% воды	2,1	672
Грунт сухой	0,4	128
Кирпич керамический пустотелый	0,44	140,8
Кирпич силикатный	0,7	224
Сосна, ель поперек волокон	0,14	44,8
Сосна, ель вдоль волокон	0,29	92,8
Керамзитобетон	0,15	48
Газосиликат	0,07	22,4
ПВХ	0,19	60,8
Пенополистирол	0,031	9,92
Пенополиуретан	0,025	8
Пеностекло	0,06	19,2
Минеральная вата	0,045	14,4

Теплоизоляционные материалы и изделия подразделяются по следующим основным признакам (ГОСТ 16381):

- виду основного исходного сырья;
- структуре;
- форме;
- возгораемости (горючести);
- содержанию связующего вещества и др.

По виду исходного сырья теплоизоляционные материалы подразделяют на:

- органические,
- неорганические
- комбинированные (композиционные).

В зависимости от внешнего вида и формы они могут быть:

- рыхлые (минеральная вата) и сыпучие (перлитовый песок),
- штучные (блоки, кирпичи, плиты),
- рулонные (маты),
- шнуровые (жгуты).

По структуре и строению:

- мелкопористые ячеистые (как пена),
- волокнистые (как вата),
- зернистые (воздух находится в межзерновом пространстве) и
- пластинчатые (воздушные прослойки заключены между листами материала).

По горючести теплоизоляционные материалы подразделяются на:

- негорючие (НГ),
- слабо горючие (Г1),
- умеренно горючие (Г2),
- нормально горючие (Г3)
- сильно горючие (Г4).

Номенклатура применяемых в строительстве теплоизоляционных материалов довольно широкая.

Однако реально рынок теплоизоляционных материалов представлен практически тремя видами материалов – на основе минеральной ваты, органических пенопластов и ячеистых бетонов (рисунок 17.3). Это объясняется в первую очередь простотой технологии их производства, большой сырьевой базой и высокими эксплуатационными характеристиками.



Рис. 17.3. Теплоизоляционные материалы

17.2. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия

Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия получают из горных пород, стекла, шлака, асбеста, ячеистого бетона, оксидов металлов, глины и других минеральных веществ.

Минеральная вата *МВ (МШ)* является общим термином для группы волокнистых материалов, полученных из расплавов горных пород, шлака, стекла и представляет собой рыхлый волокнистый материал, состоящий из тонких волокон (1...15 мкм) стекловидной структуры.

Она включает в себя три вида материалов:

- каменная вата (получают из осадочных или изверженных горных пород (андезиты, базальты и др.),
- стекловата (получают из отходов стекла и других силикатных материалов),
- шлаковата (сырьем служат металлургические и другие шлаки).

Минераловатные изделия получают путем охлаждения предварительно раздробленного в капли и вытянутого в стекловидные нити минерального расплава горных пород габбро-базальтовой группы и их аналогов, осадочных пород, вулканического и металлургических шлаков, силикатных составов и их смесей (рисунок 17.4). Превращение расплава в волокно осуществляется, как правило, дутьевым, центробежными и другими модифицированными способами (в центрифугах).

Дутьевой способ получения минеральной ваты основан на раздуве расплава струей водяного пара или сжатого воздуха при 6...10 атм.

При центробежных способах вытягивания минерального волокна из расплава используют центробежные силы.

Наряду с волокнами в состав минеральной ваты могут входить и не волокнистые включения (так называемые «корольки»). Они могут быть в виде капель расплава частично не вытянувшихся в волокна или микроскопических обломков волокон. Корольки являются балластом в минеральной вате, ухудшающим ее свойства.

Длина волокон в зависимости от способа производства ваты составляет 2...60 мм. В массе должно содержаться до 80...90% тонкого волокна диаметром менее 7 мкм. Содержание волокон диаметром свыше 15 мкм допускается не более 7%.

По сравнению с другими теплоизоляционными материалами **минеральная вата** обладает рядом **преимуществ**:

- не горит (относится к классу негорючих материалов – НГ), негигроскопична.
- не боится воды. Содержание влаги в её изделиях при нормальных условиях эксплуатации составляет 0,5% по объёму. Чтобы минимизировать водопоглощение во влажных условиях эксплуатации, минеральную вату, как правило, пропитывают специальными водоотталкивающими составами.

– высокая химическая стойкость, она является химически пассивной средой и не вызывает коррозию контактирующих с ней металлов.

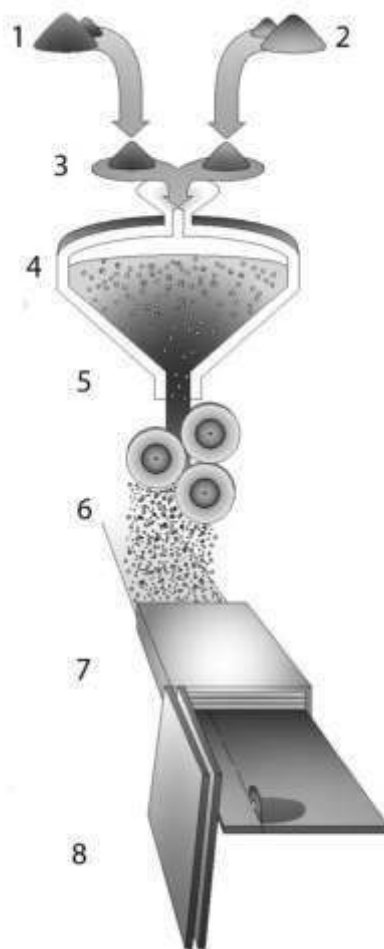


Рис. 17.4. Схема производства базальтовой ваты и изделий на ее основе: 1- подготовка шихты, 2 – базальт и добавки, 3 – кокс, 4 – плавильная печь, 5 – узел волокнообразования, 6 – добавление связующего, 7 – полимеризация, 8 –нарезка и упаковка готовой продукции (изделий)

Наряду с положительными качествами минеральная вата как теплоизоляционный материал имеет и недостатки:

– минеральное волокно не выдерживает высоких нагрузок, изделия легко деформируются, при этом волокна ломаются и превращаются в мелкодисперсную пыль.

– при транспортировании и хранении вата комкуется и уплотняется, снижаются теплозащитные функции.

– в изделиях на синтетическом связующем возможны выделения летучих компонентов (паров фенола, формальдегида и др.).

Качественными характеристиками минеральной ваты и изделий на ее основе являются (таблица 17.2):

- плотность,
- термическое сопротивление и теплопроводность (0,036...0,12 Вт/м•К),

- водостойкость,
- содержание не волокнистых включений размером свыше 0,25 мм (не более 8...16 %),
- прочность при растяжении и сжатии,
- динамическая жесткость,
- ползучесть,
- водопоглощение (кратко- и долговременное),
- влажность (до 1 %),
- паропроницаемость,
- содержание органических веществ (не более 1,5...2,0 % по массе),
- размеры изделий (длина, ширина, толщина,
- прямоугольность, плоскостность) и их стабильность при определенной температуре и влажности и др.

Таблица 17.2. Сравнительные характеристики различных видов минеральной ваты

Показатели	Каменная вата	Стекловата	Шлаковата
Плотность, кг/м ³	30...220	до 130	75...150
Средний диаметр волокон, мкм	4...12	5...15	4...12
Длина волокон, мм	15...16	15...50	16
Теплопроводность, Вт/м·К	0,032...0,048	0,038...0,052	0,048...0,052
Паропроницаемость, мг/м ² ·ч·Па	0,25...0,35	-	-
Сжимаемость, %	2...55	-	40
Сорбционное увлажнение за 24 ч (не более), %	0,095	1,7	1,9
Влагопоглощение, % от массы за 24 ч	< 0,095	< 1,5	< 1,9
Водостойкость, рН	5...7	-	-
Прочность на сжатие при 10 % деформации, кПа	8...60	-	-
Предельная температура применения, оС	-100...+700	-60...+450	до 300
Срок службы, год	до 70	до 50	до 50

Каменная вата благодаря своеобразной пористо-волокнистой структуре, не имеющей определённой направленности волокон, практически не дает усадки и не подвержена температурным деформациям. Это обеспечивает изделиям высокие теплоизоляционные свойства, прочность и долговечность, а также сохранение первоначальных геометрических размеров в течение всего срока эксплуатации.

Срок службы изделий, например, из базальтового волокна в несколько раз выше аналогичных изделий из шлаковаты и достигает 30...40 лет, а теплопроводность – 0,077...0,12 Вт/м·К.

Стекловолоконная вата имеет толщину волокон от 5 до 15 мкм, длину – от 15 до 50 мм, что обеспечивает изделиям большую упругость, мягкость и эластичность. Теплопроводность составляет 0,038...0,052 Вт/(м·К).

Однако из-за преимущественно горизонтальной ориентации волокон изделия из стекловолоконной ваты обладают меньшей жёсткостью и прочностью на сжатие. Кроме того, у стекловолоконной ваты высокая хрупкость и колкость. Сломанные волокна легко пронзают кожу, проникают в лёгкие и глаза.

Из стекловолоконного волокна получают плиты плотностью 15...75 кг/м³, маты плотностью 10...25 кг/м³ и толщиной 40...140 мм, стеклохолст, стеклоткани, желоба и другие изделия. Максимальная температура их применения не более 450 °С.

Минеральная вата, полученная из шлаков, не обладает достаточно высокими техническими показателями, а, следовательно, и долговечностью в условиях знакопеременных температур, повышенной влажности и действия высоких нагрузок. По качественным показателям изделия из шлаковаты значительно уступают аналогичным изделиям из стекловолоконной и каменной ваты (волокон). Толщина волокон от 4 до 12 мкм, длина – 16 мм, теплопроводность в сухом состоянии – 0,046...0,048 Вт/м·К, температура применения – до 300°С.

Из минеральной ваты производят (рисунок 17.5):

- войлок – получают в виде листов и полотнищ путем уплотнения минеральной ваты слегка пропитанной дисперсиями синтетических смол;
- минераловатные маты – представляют собой минераловатный ковер, заключенный между битуминизированной бумагой, стеклотканью или металлической сеткой и прошитый прочными нитями или тонкой проволокой. В зависимости от плотности маты подразделяются на марки 75 (плотность до 85 кг/м³), 100 (от 85 до 110 кг/м³) и 125 (от 110 до 135 кг/м³);
- минераловатные плиты различной жесткости (полужёсткие, жёсткие и повышенной жёсткости) – производят путем пропитки минераловатного ковра синтетическим связующим и уплотнения с последующей термообработкой. Плотность их в зависимости от степени уплотнения составляет 50...250 кг/м³;
- минераловатные скорлупы, цилиндры и полуцилиндры.



Рис. 17.5. Изделия из минеральной ваты

Качественные характеристики таких изделий, в т. ч. и теплопроводность, зависят от геометрии и ориентации волокон в пространстве (структуры), вида связующего, плотности и других показателей. Ширина изделий составляет 400...2000 мм, длина – 500...2000 мм, толщина – от 20 до 200 мм. Теплопроводность изделий составляет в пределах 0,039...0,058 Вт/(м·К, сжимаемость 30...55 %, упругость 70...80 %, разрывная нагрузка 80...120 Н и влажность в пределах 2 %. Прочность при сжатии при 10 % линейной деформации может находиться в пределах 0,5...500 кПа, прочность при растяжении перпендикулярно плоскости плиты – от 1 до 700 кПа.

В РБ плиты выпускают на ОАО «Гомельстройматериалы» (плиты БЕЛТЕП). Изготавливают их из минеральной ваты на основе горных пород (базальты, диатомиты) и синтетического связующего с гидрофобизирующими добавками.

Пеностекло CG (ячеистое стекло, вспененное стекло, газостекло) представляет собой высокопористый жесткий тепло- и звукоизоляционный материал из вспененного стекла, имеющий закрытую ячеистую структуру, природным аналогом которого является пемза (рисунок 17.6). Ячейки имеют сферическую или гексагональную форму, их размер может быть от долей миллиметра до сантиметра.

Свое название пеностекло получило благодаря внешнему виду, напоминающему застывшую пену.

В строительных целях пеностекло получают спеканием стеклянного порошка (2...10 мкм) с газообразующими добавками. В качестве сырья для стеклянного порошка используют те же материалы, что и при производстве обычного стекла, а также отходы стекольного производства, стеклобой и легко спекающиеся горные породы. В качестве газообразователей применяют каменноугольный кокс, антрацит, известняк, доломит, мрамор. Углесодержащие газообразователи создают в пеностекле замкнутые поры, а карбонаты – сообщающиеся. После нагрева до 800...900 °С частицы стекла размягчаются до вязко-жидкого состояния, а углерод окисляется с образованием газообразных продуктов (CO_2 и CO), которые и вспенивают стеклянную массу. Процесс вспенивания сопровождается увеличением объема в 14...15 раз по сравнению с исходным.

В результате после охлаждения образуется лёгкий пористый материал, состоящий из герметично замкнутых гексагональных и сферических стеклянных ячеек.



Рисунок 17.6. Разновидности структуры и изделий из пеностекла

В зависимости от примесей пеностекло может приобретать любой цвет – от светло-кремового до черного, обычно зеленовато-серый.

Плотность пеностекла составляет в основном 90...140 кг/м³ (до 400 кг/м³), пористость – 80...95 %, теплопроводность зависит от плотности и пористости и находится в пределах 0,040...0,065 Вт/(м·К). Водопоглощение пеностекла зависит в основном от характера пористой структуры: у стекла с замкнутой пористостью составляет 0...5 %, с сообщающимися порами может достигать 70...80% по объёму. Гигроскопичность исчисляется долями процента по объёму. Пеностекло самое прочное из всех эффективных теплоизоляционных материалов: прочность при сжатии составляет 0,4...1,6 МПа и более (до 7,5 МПа), при изгибе – 200...550 кПа и более, т. е. в несколько раз выше, чем у волокнистых материалов и пенопласта.

Пеностекло не даёт усадки и имеет стабильные геометрические размеры в условиях эксплуатационных нагрузок. Отличается высокой стойкостью к химическому и биологическому воздействию. Морозостойкость пеностекла F50, допустимая температура применения –200...+ 400 °С, а для отдельных разновидностей достигает 800...1000 °С.

Пеностекло легко обрабатывается столярным инструментом под любые необходимые размеры и форму.

В зависимости от назначения, физико-технических свойств и номенклатуры изделий пеностекло подразделяется на теплоизоляционное, декоративно-акустическое, облицовочное и гранулированное.

Изделия из пеностекла выпускаются в виде плит, блоков (СТБ 1322), фасонных элементов, в том числе сложной геометрической формы, сыпучих материалов (щебень, крошка гранулированное и микрогранулированное пеностекло) (рисунок 17.7). Номинальные размеры блоков (плит): длина 200...475 мм, ширина 125...400 мм и толщина 80...140 мм.

Считается, что долговечность пеностекла более 100 лет.



Рисунок 17.7. Изделия из пеностекла

Вспученный перлит (ЕРВ) – легкий гранулированный материал, применяемый для теплоизоляции и имеющий ячеистую структуру, полученную путём термической обработки природной вулканической горной породы (стекловатых водосодержащих пород – перлита, обсидиана, витрофира и др.).

При нагревании (до температуры 900...1100°C), внешние части кусочков измельчённой горной породы размягчаются и вода, выделяющаяся из внутренних частиц куска, вспучивает внешнее размягчённое стекло, создавая внутренние замкнутые поры (рисунок 17.8).

Однако, если воды в стекле много, кусочки оплавленного по периферии стекла взрываются и распадаются в мелкую пыль.

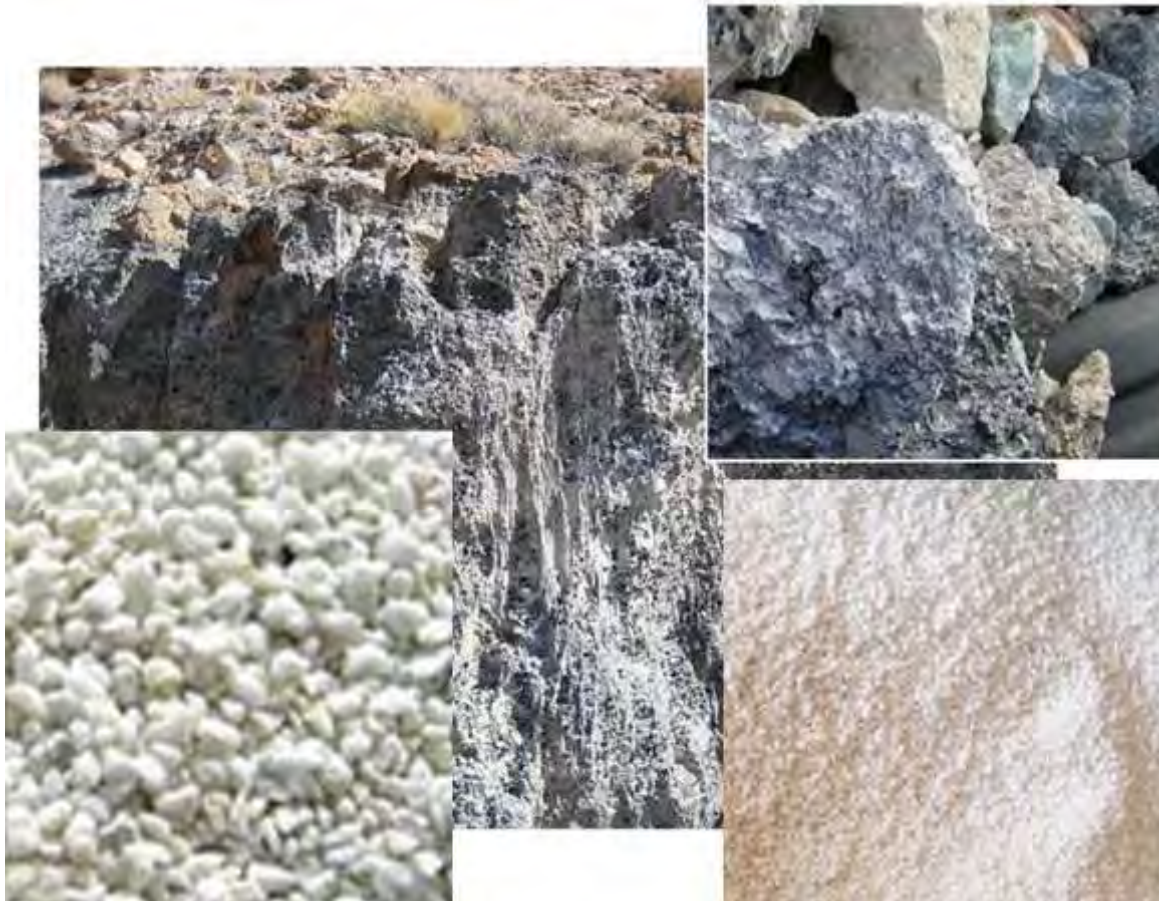


Рисунок 17.8. Природный и вспученный перлит

При вспучивании, перлит увеличивается в объёме в 10...12 раз и более, т. е. из 1 м³ перлитового сырья получается до 20 м³ вспученного перлита.

Выпускается в виде песка с размером зёрен до 5 мм и щебня – 5...20 мм.

Плотность вспученного перлитового песка колеблется от 75 до 500 кг/м³, теплопроводность от 0,043 до 0,093 Вт/(м·К). Плотность щебня составляет 200...600 кг/м³,

Однако в большинстве случаев плотность вспученного перлита находится в пределах 30...180 кг/м³, а крупность зерен до 16 мм.

Вспученный вермикулит (от лат. *vermiculus* – червячок) EV получают обжигом (вспучиванием) обогащённого и фракционированного вермикулита-сырца – природных гидратированных слюд, имеющих слоистое строение.

При нагревании от 400 до 1100 °С зёрна этого минерала расслаиваются на червеобразные частички (чешуйки) серебристого и золотистого цветов с увеличением в объёме в 15...20 раз. Отдельные разновидности вспучиваются в 40 раз в течение 180...300 секунд. Причиной вспучивания вермикулита является выделение паров воды, давление которых направлено перпендикулярно плоскости спайности.

В результате получается сыпучий и очень мелкий материал из частиц (0,5...32 мм) чешуйчатого строения, золотисто-латунного цвета (рисунок 17.9), плотностью 100...300 кг/м³ и теплопроводностью 0,06...0,09 Вт/(м·К).



Рис. 17.9. Вспученный вермикулит

Обладает достаточно высокими звукопоглощением, биостойкостью, огнестойкостью, но сравнительно высоким водопоглощением.

Производится с покрытием зерен, без покрытия и с гидрофобизирующими свойствами в результате специальной обработки для применения в увлажненных местах.

Используется вспученный вермикулит (зонолит) в качестве теплоизоляционной засыпки в различных конструкциях, как заполнитель для бетонов и растворов (вермикулитовая сухая смесь), в качестве наполнителя в производстве линолеумов, пластмасс, производстве красок и лакокрасочных материалов.

Керамзит (керамзитовый гравий) – легкий гранулированный материал, применяемый для теплоизоляции и имеющий ячеистую структуру, полученную вспучиванием при нагревании минералов глины, он представляет собой гравиеподобный материал округлой формы размером зёрен от 0,16 до 32 мм (рисунок 17.10).

Внутренняя структура зёрен имеет вид застывшей пены, наружная оболочка – более плотной структуры.



Рис. 17.10. Керамзит

Получают из специальных легкоплавких и легко вспучивающихся глин путём предварительного формования в гранулы и последующего обжига.

После вспучивания сырцовые гранулы увеличиваются в объёме в 3...4 раза.

Качественными показателями керамзита, как теплоизоляционного материала, являются насыпная плотность, термическое сопротивление и теплопроводность, сжимаемость и прочность при сжатии и др.

Насыпная плотность вспученного керамзита находится в пределах 150...800 кг/м³.

Применяется керамзит для теплоизоляции кровель, перекрытий, полов, нижних этажей зданий и как заполнитель для легких бетонов.

Ячеистые бетоны (сырьё, технология получения и качественные характеристики) описаны в теме №9 (п. 9.3).

Из них в теплоизоляционных целях используются бетоны плотностью до 500 кг/м³. На их основе готовят (рисунок 17.11):

- плиты теплоизоляционные (СТБ 1034). Выпускают марок D150...D400 с интервалом в 50 кг/м³. Теплопроводность таких плит составляет от 0,055 до 0,100 Вт/(м·К), прочность на сжатие 0,35...0,70 МПа, при изгибе – 0,18...0,23 МПа и выше.

- утеплитель дроблёный из ячеистых бетонов получают путём дробления нестандартных изделий.

Крупность зёрен составляет 5...80 мм, насыпная плотность – 250...475 кг/м³, теплопроводность в сухом состоянии – до 0,13 Вт/(м·К), прочность на сжатие не менее 0,2 МПа.



Рис. 17.11. Плиты и дробленый утеплитель из ячеистого бетона

17.3. Органические теплоизоляционные материалы и изделия

Органические теплоизоляционные материалы и изделия производят преимущественно на основе полимеров, а также из растительного сырья: отходов древесины (стружек, опилок), камыша, торфа, очесов льна, конопли, из шерсти животных.

Газонаполненные полимерные композиты (пенопласты) состоят из полимерной матрицы и относительно равномерно диспергированной газовой фазы.

Пенопласт (ячеистая пластмасса) – общий термин для пластмасс, плотность которых уменьшается за счет множества небольших пор (ячеек), которые распределены по всему материалу и могут быть сообщающимися или не сообщающимися. Пористость их составляет 90...98 % общего объема материала и лишь 2...10 % приходится на стенки пор.

Среди газонаполненных полимеров в зависимости от структурных параметров различают:

- пенопласты,
- поропласты,
- интегральные,
- синтактные пены.

Пенопласты имеют, как правило, закрыто-пористую структуру. Поропласты – открыто-пористую (их ячейки сообщаются между собой). У интегральных пен наружные слои материала являются монолитными, а внутренние имеют ячеистую структуру.

Синтактные пены имеют тоже закрыто-пористую структуру, но сформированную с помощью мелких полых шариков (стеклянных или полимерных), которые смешиваются с жидкой полимерной композицией, сохраняя свои форму и размеры.

По внешнему виду и способу применения газонаполненные полимеры могут быть в виде штучных изделий (в основном плит, фасонных изделий) и в виде жидко-вязких материалов, вспучивающихся и отвердевающих на месте применения (заливочные пенопласты, монтажные пены). Они могут быть жесткие, полужесткие и эластичные.

Наибольшее распространение из теплоизоляционных полимеров в строительстве получили:

- пенополистирол,
- пенополиуретан,
- пенополивинилхлорид,
- пенополиизоцианурат,
- пенополиэтилен,
- пенофенопласты,
- пеноэпоксиды,
- карбамидные пены,
- сотовый поликарбонат и др.

Пенополистирол (ГОСТ 15588) является разновидностью пенопласта, как-вым обычно и называется в обиходе.

Вспененный полистирол (пенополистирол) – жесткий теплоизоляционный материал с закрытой, в основном ячеистой структурой, полученный путем спекания гранул вспененного полистирола или одного из его сополимеров.

Технология получения пенополистирола связана с первоначальным заполнением гранул стирола газом, который растворяют в полимерной массе. В дальнейшем производится нагрев массы паром. В процессе этого происходит многократное увеличение исходных гранул в объеме, пока они не занимают всю блок-форму и не спекаются между собой.

Также существует технология получения вакуумного пенополистирола, в котором отсутствует какой-либо из газов.

Следовательно, пенополистирол получают:

– спеканием гранул вспененного полистирола (экспандированный пенополистирол), т.е. вспученные гранулы термопрессуются в блок-форму, которая в дальнейшем подвергается нарезке необходимой длины и ширины (рисунок 17.12, а);

– либо методом экструзии вспенивающегося полистирола с образованием или без образования пленки на его поверхности (экструзионный пенополистирол) (рисунок 17.12, б).



Рис. 17.12. Пенополистирол: а – экспандированный, б – экструзионный

Экструзионный вспененный полистирол (пенополистирол) – жесткий теплоизоляционный материал с закрытой ячеистой структурой, полученный методом экструзии вспенивающегося полистирола или одного из его сополимеров с образованием или без образования пленки на его поверхности.

Основными изделиями из пенополистирола являются плиты различной формы и геометрических размеров (СТБ 1437), либо рулоны и другие предварительно сформованные изделия (плоские, конусные, шпунтованные, профильные). Размеры плит – от 50...600x50...200x1...50 см с интервалом по длине и ширине через 50 мм и толщине через 5 мм.

Наиболее качественной разновидностью является экструзионный пенополистирол. Такой полистирол называют еще «экструдированный пенополистирол» (XRS).

В Республике Беларусь из экструзионного пенополистирола выпускают теплоизоляционные изделия различной формы и размеров, в т. ч. плиты под торговой

маркой «ИСТПЛЕКС», «ПЕНОПЛЕКС», «БАТЭПЛЕКС» и др. (СТБ EN 13164). Плотность их 15...45 кг/м³, коэффициент теплопроводности – 0,029...0,032 Вт/(м·К), температурный режим эксплуатации – от –50 до +75°С.

Экспандированный пенополистирол производят путем вспенивания полистирола с помощью специального агента, затем гранулы термопрессуются в блок-форме и нарезаются на плиты требуемых размеров.

Структура экспандированного пенопласта сравнительно рыхлая, пористость открытая.

С течением времени связь между вспученными гранулами ослабевает, прочность снижается.

По своим физико-химическим свойствам пенополистирол относится к легко-воспламеняемым горючим материалам с выделением при горении высокотоксичных веществ.

Для снижения пожарной опасности в его состав при производстве вводят антипирены, такой материал называется самозатухающим, т. е. гаснет не позднее, чем через 4 сек. после удаления источника огня.

Кроме того, в процессе всего срока эксплуатации пенополистирол способен разлагаться с выделением стирола, формальдегида и других канцерогенных веществ.

В таблице 17.3 приведены физико-механические характеристики плит из экспандированного (ERS) и экструзионного (XRS) пенополистирола

Таблица 17.3. Физико-механические характеристики плит из пенополистирола

Показатели	экспандированного (ERS)	экструзионного (XRS)
Плотность, кг/м ³	10...35	15...45
Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации, кПа, не менее	30...500	100...1000
Предел прочности при изгибе, кПа, не менее	50...750	180...550
Теплопроводность плит в сухом состоянии при температуре (25±5)°С, Вт/м·К, не более	0,044...0,036	0,039...0,037
Влажность, %, не более	3...15	1...5
Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	1...5	0,7...3,0
Время самостоятельного горения, с, не более	4...1	4

Карбамидный пенопласт (пеноизол) получают беспрессовым способом из карбамидно-формальдегидной смолы, пенообразователя, воды и катализатора отверждения (ГОСТ 1246).

Мочевино-формальдегидный (карбамидный) пенопласт – теплоизоляционный материал с открытой ячеистой структурой на основе аминосмола, полученной путем поликонденсации мочевины с формальдегидом.

Изготавливается в виде плит, блоков, крошки, а также может заливаться в пустотелые профили, где полимеризуется и высыхает. Плотность полученного пенопласта – 10...40 кг/м³, теплопроводность – 0,035...0,044 Вт/(м·К), водопоглощение – 10...20%, горючесть – Г-1 (трудно горючий).

К недостаткам следует отнести достаточно высокое водопоглощение, открытую пористость и невозможность напыления на изделия.

В международной практике к разновидностям пеноизола относят мипора, юнипор, меттэмпласт, аминотерм и др.

Фенольные пенопласты являются более дорогим и более качественным продуктом. Получаются они при вспенивании и полимеризации фенолоформальдегидной или фенолнорезольной смолы беспрессовым или заливочным способами.

Выпускаются в виде твердых или полутвердых (изолирующих) плит (СТБ 1495). Плотность плит находится в пределах 50...75 кг/м³, теплопроводность – 0,028...0,037 Вт/(м·К), водопоглощение по объему – не более 20%, группа горючести – Г2, воспламеняемости – В2.

Вспененный полиуретан (пенополиуретан, ППУ) по – жесткий или полужесткий теплоизоляционный материал на основе полиуретана с закрытой, в основном ячеистой структурой.

Пенополиуретаны различаются составом и соотношением используемых реагентов. Они могут быть эластичными (марки ППУ-Э), жесткими (ППУ) и интегральными.

Эластичные (поролон – по названию фирмы Porolon) имеют плотность 30...50 кг/м³, прочность при сжатии 0,1...0,12 МПа.

Применяют их для теплоизоляции различных строительных конструкций, герметизации стыков панелей, дверных и оконных блоков и как прокладочный материал.

Жесткие пенополиуретаны имеют плотность от 32 до 300 кг/м³ и прочность при сжатии 0,2...2,5 МПа.

Выпускают их в виде штучных изделий, а также в качестве заливочного и напыляемого материала (рисунок 17.13).

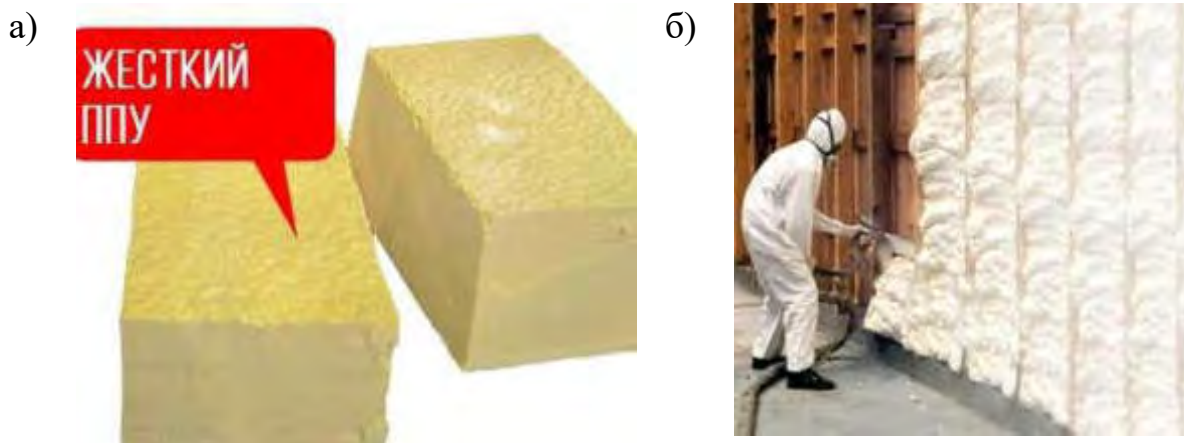


Рис. 17.13. Пенополиуретан: а – жесткий, б – заливочный

Заливочные пенополиуретаны используют преимущественно для теплоизоляции строительных «сэндвич»-панелей (рисунок 13.14).



Рис. 17.14. Сэндвич-панель: 1 – профилированная оцинкованная сталь, 2 – пенополиуретан

Напыляемые – для герметизации стыков и проемов различных строительных конструкций.

Они могут изготавливаться как непосредственно на предприятии заказчика, так и поставляться в виде отдельных блоков.

Наносить такие покрытия можно, как на новые конструкции независимо от их конфигурации, так и старые – из металла, рубероида, шифера и других материалов.

После затвердевания покрытие из пенополиуретана необходимо обязательно защитить от действия прямых солнечных лучей.

Выпускается пенополиуретаны и в виде плит многослойной конструкции (PIR). В качестве основы выступает пористый жесткий полиуретан, ячейки которого заполнены специальным перманентным газом.

С обеих сторон плита изолирована слоем алюминиевой фольги — она сохраняет высокие свойства утеплителя на протяжении всего срока эксплуатации.

При работе с пенополиуретанами следует соблюдать правила техники безопасности и промышленной санитарии, так как они содержат горючие и токсичные вещества (группа горючести – Г2).

Кроме того, пенополиуретаны подвержены деструкции под действием прямых УФ лучей, что требует поверхностной защиты.

Вспененный полиэтилен (пенополиэтилен) – полужесткий или эластичный теплоизоляционный материал на основе полимеров, полученных из этилена и/или пропилена.

Вспененный полиэтилен (пенополиэтилен) получают в основном по экструзионной технологии из полиэтилена высокого давления, газообразователя и технологических добавок.

Структура пенополиэтилена характеризуется мелкоячеистой закрытой пористостью, низкими значениями водопоглощения (0,2...1%) и теплопроводности (0,033...0,045 Вт/(м·К), высокой эластичностью и химической стойкостью к большинству строительных материалов.

Выпускается в виде плит, полотнищ шириной 1...3 м, скатываемых в рулоны, блоков, профилей, труб, жгутов (вилатерм), фольгированных и нефольгированных изделий плотностью 20...40 кг/м³.

Вспененный поливинилхлорид (пенополивинилхлорид) – жесткий или полужесткий теплоизоляционный материал с закрытой, в основном ячеистой структурой, полученный вспениванием винилхлоридных полимеров.

Выпускается в виде плит плотностью 35...70 кг/м³, теплопроводностью 0,04...0,06 Вт/(м·К) и теплостойкостью 130...140°С.

По сравнению с пенополистиролом имеет повышенную прочность и более низкую горючесть.

К органическим теплоизоляционным материалам относят также:

- древесноволокнистые плиты,
- арболит,
- камышит,
- торфоплиты,
- войлочные изделия (войлок, пакля, шевелин),
- эковату (целлюлозная вата),
- техническую пробку (из коры пробкового дуба) и др.

17.4. Комбинированные (композиционные) теплоизоляционные изделия

Комбинированные (композиционные) – теплоизоляционные изделия, изготовленные из двух или более слоев теплоизоляционного материала, в которых каждый слой соединен с соседним слоем (слоями).

Совмещение различных структур позволяет не только снизить теплопроводность, но и улучшить другие технические характеристики теплоизоляционных изделий (прочность, жесткость). Поэтому такие изделия состоят, либо из двух слоев

(внутренний слой – это непосредственно утеплитель, а внешний выполняется из более плотного материала), либо представляют собой конгломератную систему из разнородных по структуре материалов.

Плиты полистиролбетонные (рисунок 17.15) получают из смеси вспученных гранул полистирола или отходов пенополистирола, минерального связующего (цемента) и в необходимых случаях добавок (антипирены, поливинилацетатная дисперсия) путем формования и последующей термообработки в формах.

Размеры плит: длина – 100...300 см, ширина – 50...150 см, толщина – 6...20 см. В зависимости от плотности подразделяются на марки: 150; 200; 250; 300 и 350.

Прочность плит на сжатие составляет 0,08...0,32 МПа, на изгиб – 0,04...0,18 МПа, теплопроводность – 0,055...0,090 Вт/(м·К), влажность – 8...10%, группа горючести – Г1.



Рис. 17.15. Полистиролбетон

Применяются для тепловой изоляции строительных конструкций зданий и сооружений, в том числе полов, кровельных систем, при строительстве, реконструкции и ремонте.

Фибролит (рисунок 17.16) получают в виде плит из специальных древесных стружек (древесной шерсти) и неорганического вяжущего вещества.

Древесную шерсть готовят на специальных станках в виде тонких и узких лент. В качестве вяжущего используют портландцемент, реже магнезиальные вяжущие. Плиты формируют под давлением 0,5 МПа и подвергают тепловлажностной обработке в пропарочных камерах.



Рис. 17.16. Фибролит

После тепловлажностной обработки изделия высушивают до влажности не более 20%. Размеры выпускаемых плит: 240...300 x 60...120 x 3...10 см.

Фибролит относится к группе трудносгораемых материалов, его можно пилить, сверлить и вбивать гвозди.

Плотность плит – 300...500 кг/м³, теплопроводность – 0,08...0,1 Вт/(м·К), прочность на изгиб – 0,5...1, МПа, водопоглощение – не более 35...45%. Водостойкость фибролита сравнительно низкая, и его следует защищать от увлажнения.

Маты ламельные (вертикально-слоистые маты) формируют преимущественно из полос (ламелей), нарезанных из плит каменной ваты и приклеенных к усиленной армированной алюминиевой фольге (рисунок 17.17).



Рис. 17.17. Мат ламельный

Слой базальтовой ваты располагается перпендикулярно фольге и поэтому такие изделия имеют повышенную упругость и прочность при сжатии по сравнению

с традиционными матами и меньшую деформацию. Фольгированное покрытие выполняет еще и функцию пароизолирующего слоя.

Плотность матов составляет $30...125 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,038...0,060 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

В качестве покровного слоя могут использоваться и другие материалы.

Сотопласты (рисунок 17.18) характеризуются геометрически правильной структурой ячеек в виде пчелиных сот (шестигранной, ромбической, синусоидальной и других форм с размером сторон $5...10 \text{ мм}$).



Рис. 17.18. Сотопласты

Они могут быть изготовлены из бумаги, хлопчатобумажной ткани, стеклоткани, алюминиевой фольги и других материалов, пропитанных и склеенных термореактивными полимерами.

Свойства сотопластов зависят от структурных характеристик, прочности основы и вида полимера.

Плотность их составляет $50...120 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность – $0,045...0,060 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Пенофол представляет собой изделия из слоя вспененного полиэтилена, с одной или двух сторон покрытого алюминиевой фольгой (альфолью) толщиной от 12 до 30 мкм (рисунок 17.19).



Рис. 17.19. Пенофол

Слой вспененного полиэтилена может иметь разную плотность (30...40 кг/м³), структуру (мелкопористую из сшитого и крупнопористую из несшитого полиэтилена) и толщину (2...20 мм).

Одна сторона пенофола с односторонним фольгированием может быть самоклеющаяся или ламинированная полиэтиленовой пленкой.

Теплопроводность пенофола – 0,032...0,038 Вт/(м·К), водопоглощение – 0,6...0,9%. Выпускается в виде плит или рулонов шириной 600 и 1200 мм и длиной 15...30 м.

По пожарной опасности пенофол относится к группе горючести Г2 (умеренно-горючий), воспламеняемости – В1 (трудновоспламеняемый) и по дымообразующей способности – Д2 (умеренная).

Пенофол – гибкий материал, и поэтому легко повторяет любой профиль, точно огибает все выступы и утолщения, отражает тепло как изнутри, так и снаружи, обеспечивает высокую степень изоляции за счет своей герметичности и воздушной прослойки, не впитывает влагу.

Низкоэмиссионные свойства алюминиевой фольги позволяют препятствовать лучистому теплообмену, а это значительно сокращает суммарные потери.

Разновидностями пенофола, под общим названием «отражающая теплоизоляция», являются теплофол, термофол, мегафол, фомисол, изобабл, порилекс и другие изделия, выпускаемые различными производителями.

Все они имеют незначительные отличия.

Сэндвич – панель (многослойная панель) – жесткое изделие (конструкция), состоящая из теплоизоляционного материала, две лицевые поверхности которого

покрыты листовым материалом, например, из металла, фанеры, древесностружечных и других плит.

Качественные показатели таких изделий определяются сочетанием свойств отдельных материалов.

К теплоизоляционным материалам комбинированной структуры относят также некоторые виды бетонов на пористых заполнителях (например, шлакобетон), теплоизоляционные штукатурки (содержащие легкий заполнитель), комбинированные настенные утеплители, древесностружечные и древесноволокнистые плиты и др.

Тёплая штукатурка. В её состав входит заполнитель, обладающий высокими теплоизоляционными свойствами (из гранулированного пеностекла и пенополистирола, перлитовый и вермикулитовый песок).

Вязущим веществом служат портландцемент, известь, гипсовое вяжущее и их смеси.

Плотность затвердевших штукатурных составов находится в пределах 200...600 кг/м³, теплопроводность – 0,06...0,10 Вт/(м·К).

Термическое сопротивление для слоя штукатурки 4...6 см составляет 0,68...1,02 (м²·К)/Вт, 8...10 см – 1,35...1,7 (м²·К)/Вт, что значительно повышает термическое сопротивление ограждающих конструкций в целом.

Недостатком такой штукатурки является необходимость нанесения защитного или декоративного слоя.

ТЕМА 18. АКУСТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

18.1. Общие сведения и классификация

Акустическими называют материалы и изделия, способные уменьшать энергию звуковых волн и снижать уровень громкости внутреннего или внешнего звука.

Акустические материалы и изделия (ГОСТ 23499) предназначены для акустического благоустройства зданий и помещений, т. е. снижения энергии звуковых волн (уровня шумов). При этом существует два понятия – «звук» и «шум».

Звук – физическое явление, вызванное колебательным движением частиц.

Шум представляет собой беспорядочное хаотичное смешение звуков. По характеру распространения шум может быть (рисунок 18.1):

- воздушным,
- структурным,
- ударным.



Рис. 18.1. Виды шума

Воздушный шум, излучаемый непосредственно в воздух. Источниками воздушного шума служат крики соседей, лай собаки, включенный на полную громкость музыкальный центр и др., т. е. он попадает на препятствие после того, как был излучен в воздух, т. е. источник шума не связан с конструкциями.

Структурный шум распространяется по структуре здания – по его каркасу. Создается от механического воздействия (например, при вибрации коммуникаций в зданиях) и распространяется в другие помещения посредством звуковой волны в твердых сопряженных конструкциях (т. е. внутри строительной конструкции). В отличие от воздушного и ударного характеризуется не способом возбуждения, а принципом распространения.

Ударный шум является частным случаем структурного шума и создается от непосредственного контакта предмета о предмет (удары в стену, хлопок дверью, сверло перфоратора, стук по трубам и др.) и распространяется по перекрытиям и стенам на большие расстояния (значительно большие, чем воздушный).

В строительных нормах и правилах указаны нормативные значения изоляции для ограждающих конструкций различного назначения. Например, для жилых помещений санитарные нормы рекомендуют уровень шума в пределах 40 дБ днем и 30 дБ ночью.

По степени комфортности (уровню защиты от шума) здания подразделяются на три категории:

- А – высоко комфортные условия;
- Б – комфортные;
- В – предельно допустимые условия.

Для измерения характеристик шума применяются шумомеры, частотные анализаторы, коррелометры и др.

ГОСТ 23499 строительные акустические материалы и изделия классифицирует по следующим основным признакам:

- назначение;
- форма поставки;
- сжимаемость;
- структура.

По своему назначению акустические материалы и изделия подразделяют на:

- **звуко(шумо)изоляционные** (звукоизолирующие), применяемые для защиты от воздушного либо структурного (ударного) шума, т. е. исключают прохождение и распространение звука по строительным конструкциям;

- **звуко(шумо)поглощающие**, используемые для внутренней облицовки помещений с целью создания в них комфортных в акустическом отношении условий, т. е. препятствующие отражению и наложению шумового звука или другими

словами для приглушения звука и устранения звукового резонанса в закрытых помещениях известного в виде эффекта эха, многократно повторяющегося за счет отражения звуковой волны от стен и искажающего звук.

Кроме того, различают виброизолирующие и вибропоглощающие материалы, основное назначение которых устранять передачу вибрации от машин и механизмов на строительные конструкции и др.

По **форме** поставки акустические материалы подразделяют на:

- штучные (листы, плиты, блоки);
- рулонные (линолеум, холсты, маты);
- зернистые или сыпучие (песок, керамзит, аглопорит, шлак, вспученные перлит и вермикулит и др.).

Акустические материалы и изделия классифицируют также по **степени сжимаемости**, которая характеризуется коэффициентом относительного сжатия. Различают:

- мягкие,
- полужесткие,
- жесткие,
- твердые акустические материалы и изделия.

В соответствии со **структурой** (строением и видом пористости) строительные акустические материалы и изделия подразделяют на:

- материалы с волокнистым каркасом, обладающие межволокнуистой пористостью (минераловатные, войлочные, фибролитовые, древесноволокнистые и др.);
- пористо-губчатые (резина, пенопласт);
- ячеистые материалы, полученные способом вспучивания или пенообразования (ячеистые бетоны, пеностекло);
- зернистые (вспученные перлит, вермикулит);
- смешанной структуры (плиты «акмигран» и «акминит»), акустические штукатурки, изготовленные с применением пористых заполнителей (вспученного перлита, вермикулита и др.).

Во всех этих материалах и изделиях акустические потери обусловлены трением воздуха в воздушных потоках, либо при «обтекании» волокон, либо при «продувании» открытых пор и отверстий в изделиях.

Кроме того, акустические материалы могут быть отделочными и прокладочными.

Отделочные акустические материалы в основной массе поглощают звук внутри помещений и оптимизируют условия слышимости.

Прокладочные акустические материалы используют в конструкциях перекрытий между этажами, во внутренних перегородках и стенах и в качестве виброизоляционных прокладок под оборудование и машины.

Часто такие материалы комбинируют с отделочными.

Выбор акустического материала определяется видом шума, его уровнем, частотной характеристикой и назначением.

18.2. Основные свойства звукоизоляционных материалов и изделий

Известно, что акустические свойства строительных материалов связаны с взаимодействием материала и звука.

При попадании звуковой волны на ограждающую поверхность часть звуковой энергии отражается, часть поглощается материалом, а часть проходит через ограждающую конструкцию (рисунок 18.2).

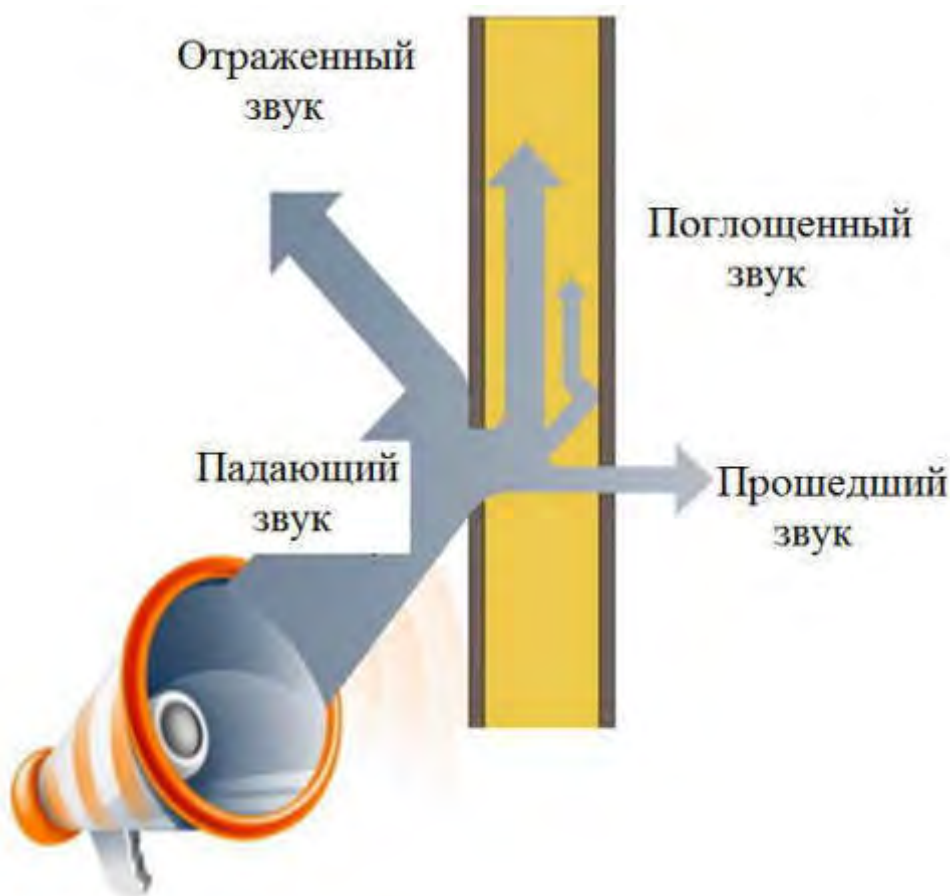


Рис. 18.2. Схема воздействия звуковой волны на ограждающую поверхность

Следовательно, придание звукоизолирующих свойств основывается на трех основных физических явлениях:

- отражении воздушных звуковых волн от поверхности ограждения,

- поглощении звуковых волн материалом ограждения,
- гашении ударного или воздушного шума за счет деформации элементов конструкции и материалов, из которых она изготовлена.

Термин «звукоизоляция» можно определить и как снижение уровня шума, проникающего через ограждающую конструкцию. При этом количественной мерой звукоизоляции служит децибел (дБ).

Поэтому для **звукоизоляционных** материалов и изделий или, как их часто называют, прокладочные материалы, основными **свойствами** являются:

- **индекс изоляции воздушного шума** – характеристика, рассчитанная на оценку шумов бытового происхождения (разговорная речь, радио, телевизор). Служит оценкой звукоизолирующей способности ограждения и указывает на ослабление звуковой энергии при передаче ее через ограждение. Т. е. показывает разность уровней шума до и после прохождения через конструкцию и характеризуется количеством децибел, поглощенных и отраженных средствами звукоизоляции. Чем больше численное значение индекса, тем звукоизоляция лучше.

Например, если потолочная панель обладает звукоизоляцией в 35 дБ, имеется в виду, что уровень слышимости звука, поступающего извне, на 35 дБ меньше. В зависимости от категории зданий (А, Б и В) индекс изоляции воздушного шума межквартирных стен и перегородок должен составлять не менее соответственно 54, 52 и 50 дБ, для ограждающих конструкций – 52...60 дБ.

В соответствии с ГОСТ 23499 звукоизоляционным называют материал, характеризующийся вязкоупругими свойствами и обладающий динамической жесткостью не более 250 МПа/м.

- **динамическая жесткость** – отношение динамической силы, к динамическому смещению и отнесенное к площади упругого материала, Н/м³

Просто жесткость – это способность материала сопротивляться деформации. Динамическое смещение оценивается изменением толщины слоя упругого материала под действием вынуждающей силы. Чем ниже величина динамической жесткости, тем выше эффективность звукоизоляции от ударного шума.

Динамическая жесткость должна быть:

- для волокнистых изделий, изготавливаемых из минеральной ваты в интервале от 20 до 200 МПа/м при нагрузке на звукоизоляционный слой от 2 до 10 кПа;
- губчатых изделий, изготавливаемых из пенорезины и полиуретана не более 250 МПа/м;
- зернистых материалов, применяемых в конструкциях междуэтажных перекрытий в виде засыпок, не более 250 МПа/м, максимальная крупность зерен - не более 20 мм;

- **динамический модуль упругости** – физическая величина, характеризующая упругие свойства звукоизоляционных материалов и изделий, определяемая при продольных колебаниях, Н/м^2 , т. е. это способность материала упруго деформироваться при продольных колебаниях.

Чем ниже значение динамического модуля упругости, тем ниже скорость распространения звука и тем эффективнее звукоизоляционный материал.

Динамический модуль упругости звукоизоляционных материалов в зависимости от их вида не должен превышать 5 МПа при удельной нагрузке 0,002 МПа для штучных изделий и 15 МПа – для зернистых засыпок.

По ГОСТ 23499 динамический модуль упругости звукоизоляционных прокладочных материалов и изделий, применяемых в строительных конструкциях в качестве упругих элементов для ослабления передачи структурного звука (вибрации), должен быть не более 10 МПа;

- **коэффициент относительного сжатия** под нагрузкой 2; 5 и 10 кПа. Определяется в процентах как разность между начальной толщиной испытуемого образца и толщиной этого образца под нагрузкой;

- **удельное сопротивление потоку воздуха**, которое должно быть в интервале от 10 до 100 $\text{кПа}\cdot\text{с/м}^2$;

- **индекс улучшения (снижения) изоляции ударного шума** – дБ (по рекомендациям ISO – «индекс приведенного уровня ударного шума под перекрытием»). Рулонные покрытия полов должны обеспечивать индекс улучшения изоляции ударного шума перекрытием не менее 18 дБ.

- **плотность** (кг/м^3) – чем плотнее материал, тем выше его отражающая способность и тем эффективнее защита от воздушного шума. В тоже время плотность звукоизоляционных прокладочных материалов и изделий, применяемых в строительных конструкциях в качестве упругих элементов для ослабления передачи структурного звука (вибрации), должна быть не более 1500 кг/м^3 (ГОСТ 2349);

- **предел прочности при сжатии** (для жестких изделий), кПа и другие качественные характеристики.

18.3. Звукоизоляционные материалы и изделия

Звукоизоляция – это снижение уровня звукового давления при прохождении волны сквозь преграду.

Эффективность ограждающей конструкции оценивают индексом изоляции воздушного шума R_w (усредненным в диапазоне наиболее характерных для жилья

частот – от 100 до 3000 Гц), а перекрытий – индексом приведенного ударного шума под перекрытием L_{nw} .

Чем больше R_w и меньше L_{nw} , тем лучше звукоизоляция. Обе величины измеряются в дБ (децибел).

Для увеличения звукоизоляции рекомендуется:

- совместное использование специальных звукопоглощающих материалов,
- увеличение массивности ограждающих конструкций,
- акустическая развязка материалов в местах примыканий.

Отделка помещения только звукопоглощающими материалами приводит к незначительному увеличению звукоизоляции между помещениями. Звукоизоляционные материалы отталкивают звуковые волны и не дают им распространяться дальше. Как правило, чем толще поверхность, тем лучше она отражает звук. Исключения составляют звукоизоляционные плиты, рулоны и полотна малой толщины, которые порой обеспечивают более эффективную звукозащиту, чем бетон или кирпичная кладка.

В зависимости от вида шума различают изоляцию (защиту) от воздушного, структурного и ударного шума.

Изоляцией от воздушного шума называется ослабление звуковой энергии при передаче ее через конструкцию (ограждение).

Звукоизоляция помещений от воздушного и ударного шума обеспечивается преимущественно конструктивными мерами – с помощью ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий):

- повышением их массы,
- созданием слоистой структуры.

Звукоизоляционная способность массивных ограждений пропорциональна логарифму их массы. Чем оно массивнее, тем лучше изолирует помещение от шума. Однако, увеличение массивности стен и перекрытий задача достаточно сложная и экономически нецелесообразная. Увеличение массы конструкции в два раза приводит к увеличению индекса звукоизоляции всего на несколько децибел.

Звукоизоляция воздушного шума ограждающими конструкциями зависит от:

- типа конструкции (однородные или неоднородные (многослойные));
- наличия в конструкциях отверстий или щелей.

Звукоизолирующая способность однородных конструкций увеличивается, следуя логарифмической кривой, сначала довольно быстро, а затем очень медленно, что и определяет их недостаточную эффективность, это обусловлено тем, что их звукоизолирующая способность прямо пропорциональна десятичному логарифму массы такой конструкции. Неоднородные же конструкции состоят из нескольких

слоев, не связанных жестко друг с другом, способные колебаться с разными для каждого слоя амплитудами, и соответственно, звукоизоляционные свойства неоднородных конструкций – выше.

Примером акустически неоднородных конструкций являются межквартирные стены, разделенные воздушным промежутком, а также перекрытия с отдельным, "плавающим" полом и с отдельным потолком. Модуль упругости бетонов в таких конструкциях - от 5000 до 30000 МПа, а воздуха - 0,14 МПа. Пористые материалы в прослойках тоже могут иметь модуль упругости порядка 5 МПа.

Более эффективной защитой от воздушного шума считается создание двух- или трехслойных конструкций. Состоят они из нескольких чередующихся слоев жестких, плотных и пористых звукопоглощающих материалов. В качестве жесткого слоя применяются плотные материалы – кирпич, бетон, гипсокартон, сотовый поликарбонат, ДСП, ДВП, МДФ и др.

Звукопоглощающим и звукоизоляционным материалом служат минеральная вата, пеностекло, ячеистые бетоны. В конструкциях они могут находиться в свободном (не сжатом), подвешенном (например, крепление плит к потолку с воздушной прослойкой) или сжатом состоянии (например, между несущими панелями потолка и конструкцией пола).

Материалы, находящиеся в свободном и рыхлом состоянии, применяются для изоляции от воздушного шума, а сжатые – от ударного шума.

Цель изоляции от структурного шума – снизить или предотвратить возможность его распространения по конструкциям зданий и сооружений.

Это могут быть наружные и внутренние несущие стены, перегородки, потолки, перекрытия, стыки несущих элементов и места прокладок любых коммуникаций (воздуховоды, трубы) и т. п.

Для изоляции звуков, передающихся по конструкции, необходимо нарушить непрерывность жесткой конструкции здания, введя разрывы на пути распространения звуковых колебаний. Все связи должны осуществляться через упругие прокладки или прослойки из звукоизоляционных материалов. Такие прокладки изолируют не только распространение структурного шума, но и передачу воздушного звука через щели в местах примыкания элементов конструкций.

Таковыми материалами могут быть стеклохолст, эластомерные материалы, прокладочные материалы из кремнеземистого волокна и др.

Звукоизоляция ударного шума в основном касается конструкций перекрытий и зависит от уровня звука, возникающего перед перекрытием.

Звукоизоляционными прокладочными материалами и изделиями могут быть:

- мягкие, полужесткие и жесткие изделия в виде матов, плит (прошивные маты, древесноволокнистые плиты, изделия из пенопластов, пенорезины, полиуретана);
- засыпки (песок, керамзит, щебень из шлака, перлит и другие пористые заполнители);
- основной и безосновный поливинилхлоридный линолеум, поливинилхлоридные плитки, ворсовые синтетические ковры.

Звукоизоляционными материалами, предназначенными для защиты от ударного шума, могут быть также:

- прессованные из натуральной пробковой крошки листы с индексом снижения приведенного уровня ударного шума 12 дБ;
- вспененный полиэтилен (несшитый, физически или химически сшитый) плотностью 20...80 кг/м³;
- пробкорезиновая подложка (смесь гранулированной пробки и синтетической резины) с индексом снижения приведенного уровня ударного шума 18 дБ;
- битумно-пробковая подложка;
- композиционные материалы, состоящие из двух слоев полиэтиленовой пленки, между которыми находятся гранулы пенополистирола. Индекс снижения приведенного уровня ударного шума составляет 18...20 дБ;
- экструдированный пенополистирол толщиной 2, 3 и 5 см с индексом снижения приведенного уровня ударного шума 25 дБ, вспененный полипропилен «пено-терм»;
- прокладочные материалы из стеклянного штапельного волокна типа «шуманет-100», «шумостоп-с2» и др. При толщине 3...5 мм под стяжку толщиной 60 мм индекс снижения приведенного уровня ударного шума составляет более 18 дБ.
- жесткие плиты из минеральной ваты на базальтовой либо стекловолоконной основе, вспененные каучуки и полипропилен, прокладки из пенополиуретана, синтепона и др.

Необходимо также иметь в виду, что наиболее уязвимыми для посторонних шумов местами являются окна, которые обладают гораздо меньшей звукоизоляцией по сравнению со стенами зданий.

18.4. Основные свойства звукопоглощающих материалов и изделий

Для снижения шума и устранения резонанса, перед стеной или потолком устанавливают препятствие, проходя через которое звуковая волна теряет большую часть энергии, а отраженные от стены звуки обратно в помещение уже не возвращаются.

Следовательно, основная задача звукопоглощения заключается в том, что она не должна позволить звуку отразиться от поверхности стены.

Основными свойствами звукопоглощающих материалов являются:

- коэффициент звукопоглощения – отношение неотраженной звуковой энергии (поглощенной поверхностью) $I_{\text{погл}}$ к звуковой энергии, падающей на материал или изделие $I_{\text{пад}}$.

$$\alpha = \frac{I_{\text{погл}}}{I_{\text{пад}}}$$

Значение коэффициента звукопоглощения может находиться в пределах от нуля (звук полностью отражается в помещении) до единицы (звук полностью поглощается материалом).

За единицу звукопоглощения условно принимается звукопоглощение 1 м^2 открытого окна, коэффициент которого принимается равным 1,0 (т. е. вся звуковая энергия как бы уходит через окно и ничего не отражается). Следовательно, чем выше численное значение коэффициента, тем больше звукопоглощение. Для эффективных материалов коэффициент звукопоглощения должен быть не менее 0,4;

- индекс звукопоглощения α_w – частотно независимые значения коэффициентов звукопоглощения, соответствующие величине смещенной нормативной кривой на частоте 500 Гц (среднегеометрической частоте октавной полосы) (ГОСТ 31704),

- время реверберации – отрезок времени с момента остановки подачи звукового сигнала до момента снижения звукового давления на 60 дБ (ГОСТ 31704).

Реверберация (послезвучание) – это процесс постепенного затухания звука при его многократных отражениях. Длительность затухания отражений может варьироваться по времени и называется временем реверберации. Время реверберации зависит от величины помещения и других факторов. Большой объем помещения – больше время реверберации. Малый объем помещения – малое время реверберации.

- структурный фактор является косвенным показателем эффективности звукопоглощающих материалов и зависит от объема, вида и расположения пор.

- удельное сопротивление продуванию потоком воздуха (Па·с/м) – отношение удельного сопротивления продуванию потоком воздуха к толщине образца и др.

18.5. Звукопоглощающие материалы и изделия

Звукопоглощение – это снижение энергии отраженной звуковой волны при взаимодействии с преградой, например, со стеной, перегородкой, полом, потолком.

Осуществляется путем рассеивания энергии, ее перехода в тепло и возбуждения вибраций.

Звукопоглощение оценивают по среднему показателю в диапазоне частот 250-4000 Гц и обозначают с помощью безразмерного коэффициента звукопоглощения. Этот коэффициент может принимать значение от 0 до 1 (чем ближе к 1, тем соответственно выше звукопоглощение). При полном поглощении звука коэффициент будет равен единице.

Материалы, обладающие способностью в основном поглощать звуковую энергию, называются **звукопоглощающими**. Основное назначение их – как можно больше поглощать и как можно меньше отражать звук.

В соответствии с ГОСТ 23499 звукопоглощающим называют материал, имеющий сквозную пористость и характеризуемый относительно высоким коэффициентом звукопоглощения ($>0,2$).

С физической точки зрения звукопоглощение есть преобразование звуковой энергии в тепловую (вследствие трения) при прохождении звука сквозь толщу материала, столкновении с поверхностью или резонансе столба воздуха в помещении. Способность материалов поглощать звуки обусловлена их пористой структурой и наличием большого количества мелких и сообщающихся (открытых) пор со стороны падения звука.

Следовательно, звукопоглощающие материалы по своей структуре, как и теплоизоляционные, являются высокопористыми, но в отличие от них должны иметь как можно меньшие и сообщающиеся поры или отверстия. При прохождении звуковой волны через толщу такого материала, она приводит воздух, заключенный в его порах, в колебательное движение. Мелкие поры при этом создают большее сопротивление потоку воздуха, чем крупные. Движение воздуха в них тормозится, и в результате трения часть механической энергии превращается в тепловую. Поэтому, чем выше открытая пористость изолирующей поверхности, тем выше звукопоглощение. Для усиления такого эффекта поверхность изделий часто еще дополнительно перфорируют или придают ей рельефный характер (рисунок 18.3).

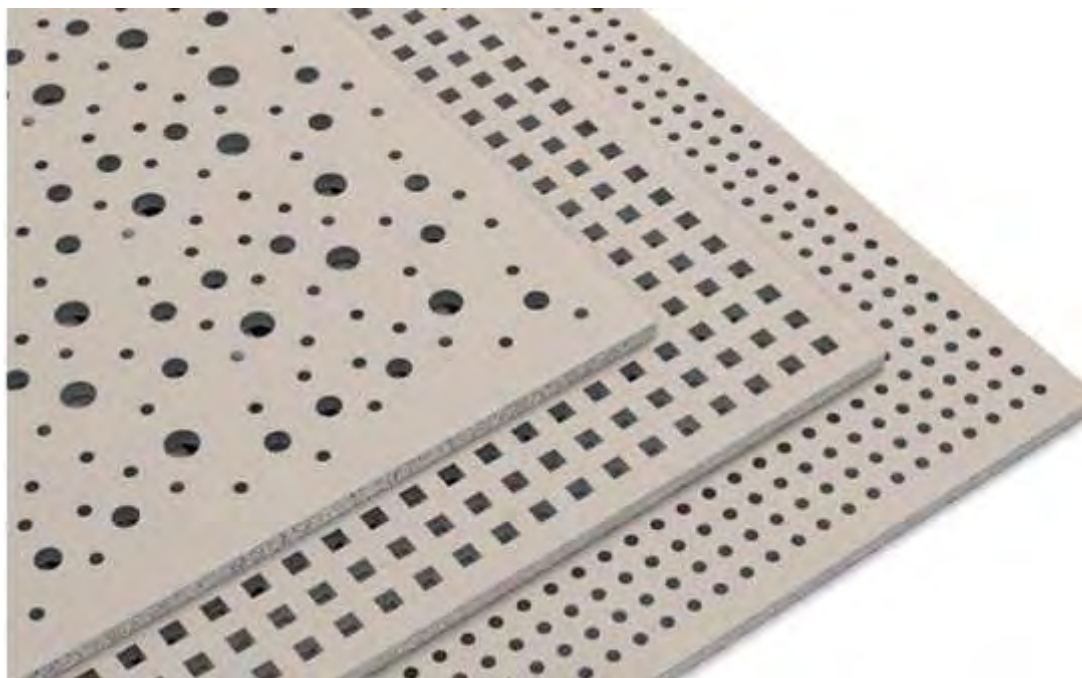


Рис. 18.3. Акустический гипсокартон

Способностью поглощать звук, в той или иной мере, обладает большинство строительных материалов. Однако к звукопоглощающим относят только те материалы, у которых коэффициент звукопоглощения не менее 0,4 на частоте 1 000 Гц (т. е. должны поглощать более 40% звуковой энергии). Все они, как правило, характеризуются малой плотностью и открытой пористостью. При этом поры должны быть мелкие, сквозные и с большой удельной поверхностью. Твердое вещество в таких материалах занимает только часть общего объема – открытая пористость составляет, как правило, от 60 до 95 % (таблица 18.1).

Выпускаются такие материалы чаще всего полной заводской готовности или в виде составных элементов.

По характеру поглощения звука звукопоглощающие материалы подразделяют на:

- пористые с твердым скелетом, в которых звук поглощается в результате вязкого трения в порах, и звуковая энергия переходит в тепло;
- пористые с гибким скелетом, в которых кроме вязкого трения в порах возникают релаксационные потери, связанные с деформацией нежесткого скелета (волокон);
- панельные материалы и конструкции, звукопоглощение которых обусловлено активным сопротивлением системы, совершающей вынужденные колебания под действием падающей звуковой волны.

Их укрепляют с зазором от ограждающих конструкций (стен, потолков и др.).

Таблица 18.1. Звукопоглощающая способность некоторых видов строительных материалов

Наименование материалов и изделий	Коэффициент звукопоглощения при 1000 Гц
Открытое окно	1
Бетон (бетонная стена)	0,015
Кирпич (кирпичная стена)	0,032
Деревянная стена	0,06...0,1
Стекло	0,027
Линолеум	0,030
Мрамор	0,010
Пробковые плиты	0,15
Ковры	0,20...0,29
Войлок	0,16...0,78
Минераловатные плиты	0,25...0,4
Фибролитовые плиты	0,45...0,50
Пеностекло с сообщающимися порами	0,30...0,50
ДВП	0,40...0,80
Акустические перфорированные листы	0,4...0,9

Звукопоглощающие материалы могут иметь волокнистую, зернистую, конгломератную, ячеистую или смешанную структуру.

Звукопоглощающие материалы обладают различной степенью жесткости (жесткие или твердые, полужесткие, мягкие).

Твердые материалы волокнистого строения изготавливают в виде плит из минеральной ваты (преимущественно из каменной или стеклянной) на крахмальном или синтетическом связующем.

Поверхность таких плит, как правило, окрашивается и может обладать различной фактурой (рифленой, бороздчатой, трещиноватой), проницаемой для звуковых волн. Коэффициент звукопоглощения их – 0,6...0,7, плотность – 300...400 кг/м³.

Звукопоглощающими материалами с конгломератной структурой являются акустические бетоны и растворы в виде плит, блоков, изготавливаемых на пористых заполнителях (перлит, вермикулит, легкие фракции керамзита и шлаковой пемзы).

Вязущими веществами в таких композициях служат белый и цветной цементы, строительный гипс.

Материалами с ячеистой структурой являются плиты и блоки из ячеистых бетонов (пено- и газобетоны, плиты силакпор), пеностекло, ячеистые пластмассы, содержащие сообщающиеся между собой поры.

В качестве полужестких изделий используют минераловатные плиты с содержанием синтетического связующего 10...15%, древесноволокнистые плиты, изделия из пористых пластмасс ячеистой структуры (пенополистирольные, пенополиуретановые и др.). Коэффициент звукопоглощения таких изделий – 0,5...0,75, плотность – 80...130 кг/м³.

Мягкие звукопоглощающие материалы (рулоны, маты) тоже изготавливают из минеральной ваты, но без синтетического связующего и в комбинации с перфорированными листовыми экранами (алюминия, поливинилхлорида). Коэффициент звукопоглощения – 0,7...0,95, плотность – до 70 кг/м³.

Применяются также супертонкие минеральные (стеклянные и каменные) волокна и другие материалы.

В ограждающих конструкциях звукопоглощающие материалы и изделия часто совмещают функции звукопоглощения и отделки. В этом случае они могут быть:

- в виде однослойного однородного материала с офактуренной поверхностью. Например, перфорированные панели из MDF с натуральным шпоном;
- многослойные пористо-волокнистые с жестким перфорированным покрытием;
- в виде однослойных и многослойных штучных изделий разнообразных размеров и формы.

Для усиления поглощения звуковой энергии такие материалы могут дополнительно перфорировать.

Кроме того, фактуру поверхности выполняют рельефной (трещиноватой, бороздчатой), окрашивают эмульсионными или клеевыми красками, образующими пористое покрытие.

Также такие материалы могут быть и мембранного типа. Мембранные звукопоглотители устроены так, что звуковая волна, доходя до такого покрытия, тратит свою энергию на колебание мембраны. Они состоят из рамы и мембраны, в качестве которой может выступать фанера, картон или ткани некоторых видов.

Кроме штучных материалов для обеспечения звукопоглощения и отделки используют монолитные покрытия из акустических растворов и бетонов на пористых заполнителях и цветных цементах. Как правило, они представляют собой сухие смеси, затворяемые водой непосредственно на строительной площадке.

ТЕМА 19. ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ И КРОВЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

19.1. Общие требования

Гидроизоляционные материалы, в т. ч. кровельные предназначены для предотвращения проникания воды и другой агрессивной среды в гидроизолируемое пространство.

Условия эксплуатации таких материалов (гидроизоляционных и кровельных) различны.

Гидроизоляционные материалы в отличие от кровельных находятся, как правило, в непосредственном постоянном контакте с водяными парами или водой, и в ряде случаев, действующей под давлением, но при этом не имея прямого контакта с УФ.

Гидроизоляцию выполняют чаще всего для подземных конструкций и сооружений, испытывающих, как правило, прямое воздействие воды или фильтрующих грунтовых вод (фундаменты, стены подвалов, полы и другие конструкции).

Гидроизоляционные материалы должны обладать такими свойствами, как водонепроницаемость, водостойкость, долговечность, а также удовлетворять требованиям нормативных документов по прочности, деформативности, тепло-, морозо- и химической стойкости и др.

Различают гидроизоляцию оклеечную, пропиточную, окрасочную, инъекционную, штукатурную, литую, монтируемую, засыпчную и др.

Исходные материалы, применяемые в производстве современных гидроизоляционных, кровельных и герметизирующих материалов можно разбить на следующие основные группы:

- продукты переработки нефти;
- продукты переработки каменного угля;
- амортизированная резина;
- синтетические полимерные материалы;
- прочие материалы.

Кровельные материалы служат непосредственно для устройства кровли и предназначены для защиты зданий и сооружений от влаги, ветра, холода и других агрессивных воздействий.

Кровельные материалы периодически подвергаются увлажнению и высушиванию, воздействию прямого солнечного излучения (УФ-составляющей), нагреву, замораживанию, снеговым и ветровым нагрузкам.

По СТБ EN 13956 и 14909 гидроизоляция – это меры, препятствующие проникновению воды или жидкости с одной поверхности в другие (или из одной сферы в другую).

Номенклатура гидроизоляционных (кровельных) материалов весьма обширна как по внешнему виду, сырьевой базе, так и технологическим приемам получения.

По физическому состоянию и внешнему виду в период использования гидроизоляционные и кровельные материалы условно подразделяют:

- жидкие,
- пластично-вязкие,
- упруго-вязкие,
- твердые и др.

Жидкие и пластично вязкие материалы характеризуются отсутствием определенной формы их массы (мастики, эмульсии),

Упруго вязкие и твердые – имеют определенную форму и размеры (рулонные, пленочные, штучные, листовые).

19.2. Пластично-вязкие и жидкие материалы

Пластично-вязкие и жидкие составы являются многофункциональными материалами, применяемыми как для выполнения гидроизоляции, так и кровельного ковра – рулонного или мастичного.

Они обладают практически такими же свойствами, что и другие гидроизоляционные материалы, но отличаются тем, что формируются в бесшовное покрытие (пленку, мембрану) на изолируемой поверхности.

Мастики получают при смешивании органических вяжущих с минеральными наполнителями и различными добавками, улучшающими их качество.

Внешне они представляют собой жидко-вязкую однородную массу, которая после нанесения на поверхность (в 2...3 слоя) отвердевает и превращается в монолитное бесшовное покрытие.

По назначению мастики подразделяют на кровельные, приклеивающие, гидроизоляционные, пароизоляционные и др.

Вяжущим веществом в мастиках служат битумы, олигомеры, полимеры, сополимеры и их смеси (композиции), которые связывают наполнители в единый конгломерат.

С целью снижения расхода вяжущего и улучшения технических характеристик мастик (повышения теплостойкости, снижения хрупкости, усадки) в их состав вводят наполнители.

Наполнители в слое мастики образуют скелет подобно заполнителю в строительном растворе.

Наполнители могут быть порошкообразные, волокнистые и комбинированные.

К пылевидным частицам относят известняковые, меловые, кирпичные, шлаковые порошки, а также минеральные вяжущие – гипс, цемент, известь-пушонку.

В качестве волокнистых наполнителей используют коротковолокнистую шлаковую вату, сечку стекловолокна, торфяную крошку, асбест.

По способу применения мастики подразделяют на горячие и холодные.

Горячие мастики требуют перед применением предварительного подогрева до определенной температуры.

Холодные мастики поставляются готовыми к применению и могут быть эмульсионные, либо содержать растворитель.

В зависимости от вида разбавителя мастики подразделяют на содержащие воду, органические растворители или жидкие органические вещества.

Растворители (разжижители) после нанесения мастики испаряются, а исходные вяжущие приобретают вязкость, близкую к первоначальной.

В зависимости от способа поставки подразделяются на одно- и двухкомпонентные.

Однокомпонентные поступают в готовом виде и их отверждение происходит сразу после нанесения на основание.

Двухкомпонентные представляют собой два различных материала (вещества), смешивание которых проводят на строительной площадке непосредственно перед укладкой на основание.

В зависимости от состава вяжущего и способа изготовления различают мастики:

- битумно-эмульсионные, получаемые путем эмульгирования битума и состоящие из двух взаимно нерастворимых жидкостей (битум – вода) и эмульгирующих добавок (МБЭ);
- битумно-полимерные горячие, состоящие из битума, полимера, наполнителя или без него (МБПГ);
- битумно-полимерные холодные, состоящие из битума, полимера, растворителя и наполнителя или без него (МБПХ);

- битумно-полимерные отверждаемые, состоящие из полимерного и битумного вяжущего с вулканизирующим агентом (МБПО);
- полимерные холодные, изготовленные на основе каучуков, резиновой смеси, наполнителей, пластификаторов и растворителя (МПХ);
- битумно-резиновые эмульсионные (жидкая резина), состоящие из битумного вяжущего, каучука и (или) резиновой крошки, эмульгирующих добавок и воды (МБРЭ);
- битумно-полимерные эмульсионные, изготовленные на основе эмульсий битумов и полимеров или эмульсий битумно-полимерного вяжущего, наполнителей и модифицирующих добавок (МБПЭ);
- полимерно-дисперсионные, изготовленные на основе водных дисперсий полимеров, наполнителей и модифицирующих добавок (МПД).

Мастичные кровли по отношению к другим разновидностям, например, рулонным, имеют свои недостатки и преимущества.

К преимуществам можно отнести легкость выполнения механическим или ручным способом любых форм и уклонов, отсутствие швов и возможность ремонта без удаления старой кровли.

К недостаткам (как и рулонных) следует отнести обязательное присутствие жесткого основания и, как правило, многослойность покрытия.

Кроме того, такие покрытия относятся к классу мягкой кровли и их назначение только изолирующее.

Материалы на основе битума с течением времени при обычной температуре сравнительно быстро окисляются, что приводит к постепенному ухудшению свойств (старению) и необходимости их замены.

Введение в битум полимеров (модификаторов битума):

В качестве модификаторов используют атактический полипропилен (АПП), стирол-бутадиен-стирол (СБС), дивинилстирольный термоэластопласт (ДСТ-30) и др.

Эмульсии представляют собой дисперсные системы, в которых одна жидкость (дисперсная фаза) устойчиво и равномерно распределена в виде микроскопических капель в другой жидкости (дисперсионной среде).

Дисперсная система (дисперсия) – это гетерогенная (неоднородная) система, в которой тонкоизмельченный материал (дисперсная фаза) равномерно распределен в другом материале (дисперсионной среде).

В эмульсиях, применяемых в гидроизоляционных и кровельных работах, дисперсионной средой чаще всего является вода, а дисперсной фазой – тонкоизмельченные битум (битумная эмульсия), деготь, отдельные виды полимеров или их композиции.

Для объединения двух несмешивающихся жидкостей и обеспечения устойчивости (стабильности) структуры применяют третий компонент – эмульгатор.



Рис. 19.1. Нанесение битумной эмульсии

При необходимости эмульсии могут быть модифицированы полимерами и латексами каучуков.

При нанесении на гидроизолируемую поверхность эмульсия проникает в поры и капилляры и разрушается (распадается): вода испаряется, а частицы дисперсной фазы (битума), освободившись от защитных оболочек, оседают на поверхности пор и капилляров.

Качественными характеристиками эмульсий являются дисперсность (определяется размерами частиц дисперсной фазы), устойчивость во времени и концентрация дисперсной фазы.

Грунтовки (праймеры) в кровельных работах являются гидроизоляционными составами и предназначены для обработки минеральных и старых битумных оснований с целью их обеспыливания и повышения адгезии последующих гидроизолирующих и кровельных битумосодержащих материалов.

Они представляют собой битумно-полимерные составы или легкоподвижные концентрированные растворы высококачественных нефтяных битумов в органических растворителях.

Часто в состав вводят каучук, который придает смеси эластичность.

Различают праймер-грунтовки, предназначенные для первичной подготовки оснований (заполнения пор и дефектов), и грунтовок для повышения сцепления последующего слоя (мастики) с основанием.

19.3. Рулонные и пленочные материалы

Рулонные и пленочные материалы применяют в основном для устройства «плоских» (с уклоном $3...5^\circ$) кровель в многоэтажных жилых и промышленных зданиях и относят к классу мягких кровельных материалов.

Рулонные материалы представляют собой преимущественно полотнища шириной близкой 1000 мм, толщиной 1,0...6,6 мм, длиной от 7 до 20 м, поставляемые на строительные объекты в рулонах цилиндрической формы.

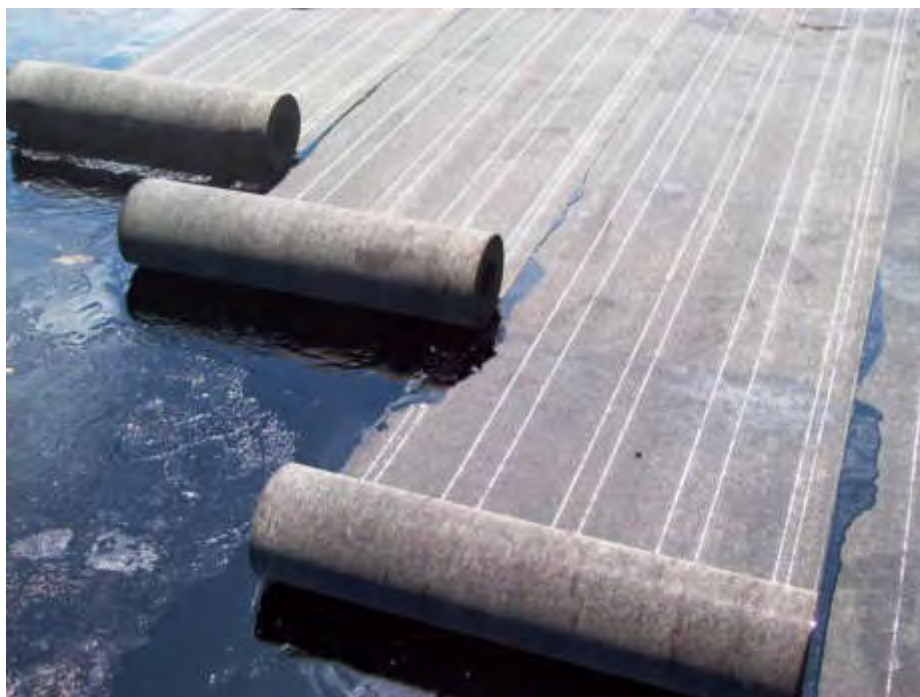


Рис. 19.2. Рулонные материалы

Классифицируют их по виду вяжущего, наличию и виду основы, структуре полотна, виду посыпки и защитного слоя, назначению, способу соединения с основанием и другим показателям.

В зависимости от вида вяжущего различают битумные, дегтевые, битумно-полимерные и полимерные материалы.

В настоящее время используются битумно-полимерные материалы и полимерные мембраны.

Называют их еще мягкими, эластомерными и полимерными [СТБ 1107, ГОСТ Р 57417-2017 (EN 13956:2012)].

Рулонные кровельные материалы могут быть *безосновными и основными* (одно- и многоосновными).

Безосновные материалы представляют собой прокатанные на каландрах полотна из затвердевшей смеси вяжущего вещества, наполнителей, пластификаторов и модифицирующих добавок.

Основные материалы по структуре являются многослойными (рис.19.3), и определяющим структурным элементом их является несущая подложка (основа).



Рис.19.3. Рулонные кровельные материалы (основные)

Верхний (бронирующий) слой защищает от солнечного излучения и старения материала, нижний – предотвращает слипание полотен в рулоне.

За основу принимается материал, находящийся внутри или на поверхности кровельного материала и служащий для сохранения формоустойчивости и/или увеличения механической прочности кровельного материала.

В качестве основы используют:

картон, стеклоткань, стеклохолст, полимерные (полиэстер) и асбестовые (картон, волокно) материалы, алюминиевую фольгу, комбинированные и др.

Покровный слой состоит из смеси битума, наполнителя, полимерных модификаторов битума и других веществ, наносимой на одну или обе поверхности основы (основ), и служит для придания кровельному материалу гидроизолирующих свойств.

В качестве полимерных модификаторов используют стирол-бутадиен-стирольные термоэластопласты (СБС) – синтетические каучуки, атактический (АПП) и изотактический (ИПП) полипропилены, напоминающие каучук и др.

Защитный слой наносится на одну или обе поверхности кровельного материала и служит для защиты лицевой поверхности материала от воздействия атмосферных факторов или защиты материала от слипания.

На лицевую поверхность материала наносится чаще всего в виде крупнозернистой посыпки, состоящей из смеси твердых минеральных частиц природного или искусственного происхождения.

Посыпка может быть мелко- и крупнозернистой, чешуйчатой, обычной и цветной. Слой минеральной посыпки может быть заменен металлической фольгой толщиной от 50 до 100 мкм (в зависимости от металла) (рис.19.4).

Дублирующий (подкладочный) слой выполняется из тканого или нетканого полотна из синтетических или минеральных волокон и других материалов. Для более плотного соединения полотнищ между собой вдоль всего полотна материала с лицевой стороны устраивается кромка без защитного слоя посыпки.

Рис.19.4. Кровельный материал с посыпкой

Рулонные материалы по способу соединения с основанием кровельной системы подразделяют на:

- приклеиваемые,
- наплавляемые,
- самоклеящиеся,



- теплосварные,
- механически соединяемые
- балластные.

Наиболее прогрессивными являются наплавляемые и самоклеящиеся материалы.

Наплавляемые материалы при устройстве кровельного ковра склеиваются между собой и с основанием кровли без применения традиционных горячих или холодных мастик, а путем прогрева факелом горелки с последующим уплотнением к склеиваемой поверхности (рис. 19.5).



Рис.19.5. Наплавляемый кровельный материал

У *самоклеящихся* материалов с нижней стороны наносится готовый клеящий состав с защитным покрытием из силиконовой пленки или бумаги. После снятия защитного слоя рулон раскатывается на загрунтованную поверхность и прикатывается

Современными кровельными материалами, применяемыми на стройках РБ являются Бикропласт, Бипластизол, Биполикрин, Бирепласт, Кровляэласт, Линокром, Рубитэкс, Стеклокром, Стеклофлекс, Стеклоэласт, Техноэласт, Унифлекс, Экофлекс, Элабит, Элакром, Эластобит и др.

Различные производители (фирмы, предприятия) дают свои собственные названия материалам, которые по составу, структуре и свойствам во многом идентичны друг другу.

19.3.1. Основные качественные характеристики рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов

Основными качественными характеристиками рулонных кровельных и гидроизоляционных материалов являются (СТБ 1107):

- гибкость на брусе определённого диаметра при минимальной положительной или отрицательной температуре (мм/ °С);
- теплостойкость (°С);
- разрывная сила при растяжении (Н, МПа);
- поверхностная плотность (кг/м²) или масса 1 м² материала;
- водопоглощение (%);
- водонепроницаемость при действии определенного давления в МПа;
- температура хрупкости (°С);
- относительное удлинение при разрыве (%);
- сопротивление раздиру клеевого соединения;
- толщина (мм);
- долговечность;
- стойкость к агрессивным средам и др.

Поверхностная плотность рулонных кровельных материалов определяется значениями покровной массы, в том числе и с наплавленной стороны для основных материалов.

Например, для наплавленных битумно-полимерных материалов покровная масса с наплавленной стороны должна быть не менее 2000 г/м².

Разрывная сила при растяжении (рис. 19.6) рулонных основных битумных и битумно-полимерных материалов должна быть не менее:

- 294 Н – на стекловолоконной основе;
- 343 Н – на основе полимерных волокон;

•392 Н – на комбинированной основе.



Рис. 19.6. Машина для определения разрывной силы

Водопоглощение рулонных материалов (кроме пергамина) должно быть не более 2 % по массе при испытании в течение не менее 24 часов.

Водопроницаемость (водонепроницаемость) таких материалов устанавливается в зависимости от области применения и указывается в нормативном документе на конкретный материал в часах при действии определенного давления в МПа.

Например, водонепроницаемость гидроизоляционных рулонных материалов определяется испытанием образцов при определенном давлении в течение определенного времени по признакам проникания (не проникания) воды через образец (ГОСТ Р EN 1928).

Температура хрупкости является характеристикой кровельного состава и для битумно-полимерных материалов должна быть не выше $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Гибкость рулонных битумно-полимерных материалов должна быть, – не выше $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. характеризуется температурой, при которой не наблюдается трещин на поверхности при его изгибе на бруске определенного радиуса (10 или 25 мм) (рис.19.7).



Рис. 19.7. Испытание на гибкость

Теплостойкость должна быть не ниже 100 °С, т.е. это температура, при которой в процессе испытания в течение 2-х часов не наблюдается сползание посыпки, вздутий и других дефектов вяжущего.

19.4. Гидроизоляционные (кровельные) пленки

Гидроизоляционные (кровельные) пленки включают большую группу материалов различного функционального назначения:

- противоветровые,
- пароизоляционные,
- диффузионные,
- противоконденсатные,
- гидроизоляционные,
- подкровельные,
- кровельные и др.

Современные гидроизоляционные материалы в виде гибких полотнищ (пленок), выполненные из полимерных материалов, принято называть **мембранами** (от лат. membrane – перепонка, кожа) (рис. 19.8).

Вместе с тем в англоязычной технической литературе, российской и нашей по определению мембран есть определённые разночтения.



Рис. 19.8. Кровельная мембрана

Кровельная мембрана более современный кровельный материал, осуществляющий гидроизоляцию кровельного пирога от осадков, конденсата и скапливания пара в утеплителе.

Кровельные мембраны в отличие от рулонных материалов имеют, как правило, гораздо большие размеры полотнищ – до 15х60 м, т. е. их площадь может достигать 900 м².

Толщина кровельных мембран составляет от 1,0 до 3,0 мм, масса 1 м² – до 2,0 кг.

Выпускаются армированные (в основной материал интегрирована сетка из полиэфирных волокон) и без армирования.

Мембранные кровли отличаются большей надежностью, эластичностью, повышенной стойкостью к атмосферным и климатическим воздействиям.

Они сохраняют свои свойства в более широком диапазоне температур (от +150°С до –60°С), чем другие кровельные материалы.

Относительное удлинение полотнищ составляет 200...400%, имея достаточно высокую прочность на растяжение и прокол.

Устойчивы к УФ-излучению и агрессивным средам, обладают достаточно высокой морозостойкостью и огнестойкостью.

В зависимости от полимерного материала, составляющего основание полотна, кровельные мембраны разделяют в основном на три типа:

- из поливинилхлоридных полимеров (ПВХ),

- этиленпропилендиеновых мономеров (ЭПДМ)
- термопластичных олефинов (ТПО).

Выпускают и другие разновидности кровельных мембран, отличающиеся по составу, структуре и назначению (рис.19.9, 19.10).

Лицевая поверхность мембран может быть покрыта полусферическими выступами, которые выполняют две основные функции: отводят воду; обеспечивают вентиляцию.



Рис.19.9. Гидроизоляционная мембрана Трифонд

Основными качественными показателями мембран являются:

- водонепроницаемость,
- механическая устойчивость (прочность),
- паропроницаемость,
- УФ-стабильность,
- температурная устойчивость.

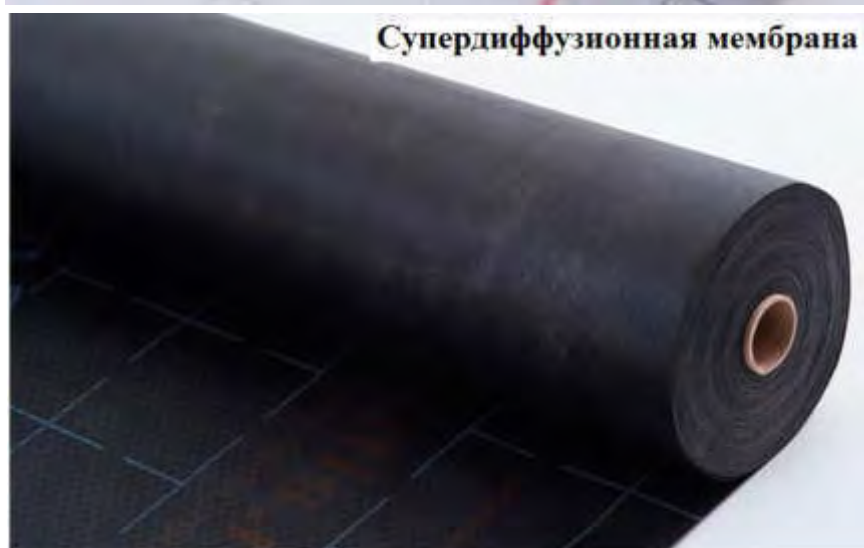
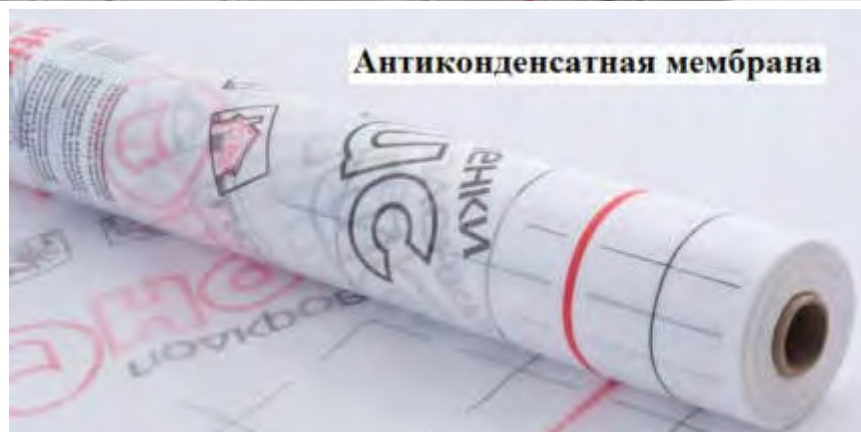


Рис. 19.10. Мембрана различного назначения

19.5. Штучные и листовые кровельные материалы и изделия

Номенклатура штучных и листовых кровельных материалов и изделий отличается наибольшим разнообразием по:

- составу,
- строению,
- форме,
- фактуре,
- цвету,
- долговечности.

Используют их чаще всего на скатных (с большим уклоном) кровлях.

Отличие штучных кровельных материалов от листовых условно определяется их площадью.

Изделия, площадь которых превышает 1 м², относят к листовым.

К таким материалам относят кровельную черепицу различных видов, листовые кровельные материалы из стали, меди, алюминия и других сплавов, панели, полимерные, асбестоцементные и из природных материалов изделия.

Кровельная черепица в настоящее время выпускается из самых разнообразных материалов (глины, цемента, битума, металлов, полимеров и др.).

По виду черепицы для крыши дома бывают:

- металлочерепица,
- керамическая,
- цементно-песчаная,
- полимерпесчаная,
- битумная,
- композитная.

Черепица керамическая (глиняная) изготавливается из глинистого сырья (гончарных глин) с различными добавками, преимущественно пластификаторов (рис. 19.11).

В зависимости от способа формования различают черепицу *прессованную (П)*, *экструзионную (Э)* и *штампованную (Ш)*.

После формования черепица-сырец сушится и обжигается при температуре около 1000°C.

Керамическая черепица может иметь натуральный цвет – обожженной глины (красный или коричневый) и множество других цветов и оттенков, в т. ч. «состаренной черепицы».

По форме исторически различают три основных вида черепицы: плоская (ленточная, бобровый хвост, бибер), пазовая (замковая, фальцевая), желобчатая (лотковая) и их внутривидовые разновидности.

Помимо рядовой черепицы для оформления кровли производят различные доборные элементы (аксессуары) и коньковые украшения (керамические и пластиковые, в т. ч. снегоостанавливающая черепица (снегостопперы) и др.

Качественными показателями черепицы являются:

- внешний вид (наличие разломов и трещин),
- геометрические параметры (размеры и предельные отклонения),
- физико-механические характеристики (водонепроницаемость, несущая способность при изгибе, морозостойкость) и др.



Рис.19.11. Керамическая черепица

Цементно-песчаную черепицу (ЦПЧ) получают прессованием или прокатом полусухой (жесткой) растворной смеси из чистого кварцевого песка и цемента (как правило, без добавок). (рис. 19.12)

Такая черепица не обжигается, а приобретает прочность в результате твердения цемента.



Рис. 19.10. Цементно-песчаная черепица

Внешне безобжиговая черепица ничем не отличается от керамической.

Поскольку портландцемент во влажных условиях твердеет годами, то цементно-песчаная черепица набирает прочность и в процессе эксплуатации.

Это выгодно отличает ее от других видов черепицы, которые с течением времени «стареют», т. е. теряют свои качественные характеристики.

По основным физико-механическим параметрам цементно-песчаная черепица тоже практически не уступает керамической.

Однако масса ее несколько больше.

Основными качественными характеристиками цементно-песчаной черепицы являются прочность, плотность и пористость.

Для получения цветной черепицы либо в ее состав вводится щелочестойкие минеральные пигменты (объемное окрашивание) либо производится специальная обработка поверхности: нанесение декоративно-защитного покрытия, фактурная отделка и др.

Полимерпесчаная черепица

Полимерпесчаную черепицу получают горячим прессованием (при температуре около 300°C) отходов полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида ($\approx 29\%$), горячего песка крупностью до 3 мм (70%) и пигментов на основе оксида железа, хрома, ультрамарина ($\approx 1\%$).

Цветовая гамма имеет много цветов и оттенков, в том числе и с рельефным покрытием.

Масса черепицы составляет до 40 кг/м², размеры – 300x400x8 мм.

В зависимости от внешнего вида ее подразделяют на основную (плоскую ленточную и диагональную, двойную романскую), коньковую и специальную (рис.19.13).



Рис. 19.13. Виды полимерпесчаной черепицы

Полимерпесчаная черепица имеет повышенную морозо-, био- и химическую стойкость и устойчивость к УФ-излучению.

Гибкая черепица (битумная, мягкая, шингл и др.) представляет собой разноцветные тонкие плитки слоистой структуры прямоугольной, шестиугольной формы или с фигурными вырезами по одному краю (рис. 19.14).

Один лист имитирует 3–4 черепицы (гонта) различной формы.

Длина плиток достигает 1000 мм, ширина – 300...400 мм и толщина 3...4 мм.



Рис. 19.14. Разновидности гибкой черепицы и фрагмент кровли

Цветовая гамма насчитывает более 20 разновидностей традиционных тонов или имитирующих поверхности, заросшие мхом, лишайником и т. п.

Получают путем нанесения на обе стороны стеклоткани, стеклохолста или полиэстера окисленного или модифицированного битума, а на лицевую сторону – минеральной крошки (базальта, сланца), медных пластинок и других защитных покрытий.

Нижняя сторона покрыта слоем самоклеющегося модифицированного битума с легкоудаляемой защитной силиконовой пленкой.

Кровельная сталь (Фальцевая кровля).

Кровельная сталь может применяться в виде плоских (фальцевая кровля), профилированных листов и их разновидностей (рис.19.15).

Получают ее из мягкой углеродистой стали способом горячей или холодной прокатки.



Рис. 19.15. Фальцевая кровля

Фальцевые кровли выполняются из листового металла, не подвергаемого штамповке и профилированию.

Они представляет собой металлические листы длиной от карниза до конька, которые соединены между собой специальным замком, называющимся «фальцем».

Такая система скрепления гарантирует герметичность кровли без клеевых швов, резиновых уплотнителей и сквозных отверстий, предотвращающих попадание влаги.

Для предохранения от коррозии прокат покрывают тонким слоем цинка, алюмоцинковыми составами, плакируют медью, применяют другие способы защиты.

По слою цинка могут наносить полимерные покрытия, которые выполняют из глянцевого или матового полиэстера (35 мкм), пурала, пурекса и других составов.

Выпускается кровельная сталь в виде листов и рулонов толщиной 0,35...0,9 мм, шириной – 625... 1250 мм, длиной – 2...12 м и массой – 3,67...15,4 кг/м².

Металлическая черепица (металлочерепица) представляет собой штампованный гофрированный лист в виде участка черепичной кровли.

Выпускается в виде штучных и листовых изделий и более 500 моделей.

По внешнему виду и форме оба вида изделий имитируют натуральную (керамическую) черепицу и представляют собой многослойную конструкцию, основой которой служит чаще всего профилированный стальной лист, имеющий поперечный и продольный гофры (рис.19.16).



Рис.19.16. Крыша из металлочерепицы

Для ее получения на металлическую поверхность гладкого листа наносятся цинковое покрытие (не менее 275 г/м²), конверсионные (антикоррозионные), грунтовочные, отделочный (полимерное покрытие) и защитный слой.

Затем листы прокатываются в профнастил с последующей поперечной штамповкой для получения поперечных гофр и придания профилю вида натуральной черепицы.

В результате профиль черепицы приобретает угловатую форму со ступеньками (в отличие от профнастила).

Высота профиля составляет от 10 до 23 мм.

Металлочерепицу оценивают по качественным и эстетическим показателям.

Качественными показателями являются толщина и технические характеристики стали, качество профилирования и вид полимерного покрытия,

эстетическими – геометрия профиля металлочерепицы (длина, ширина и высота волны), черепичный рисунок и цветовая палитра.

Волны имеют определенный шаг, преимущественно стандартный (общепринятый):

вдоль ската – 350 мм, поперек – 185 мм.

Прочность металлочерепицы обеспечивает металлический лист, а стойкость к осадкам, УФ излучению и перепадам температур – полимерное покрытие.

Помимо стального оцинкованного листа в производстве металлочерепицы используются медь, алюминий, цинк-титановые, алюмоцинковые, и другие сплавы.

Композитная черепица.

Композитная черепица является разновидностью металлочерепицы, Основу которой тоже составляет стальной лист изогнутый в виде профиля покрытого защитными и декоративными слоями (рис. 19.17).

Стальной профиль толщиной 0,45...0,9 мм с обеих сторон покрывается алюмоцинковым составом, затем акрилом и клеем с каменной декоративной крошкой.

В качестве крошки чаще всего применяется базальт, гранит, реже нефрит, кварцевый песок, яшма.

Размеры листов – длина 1220...1370 мм, ширина 368...430 мм. Масса одного листа (панели) 2,5...3,5 кг, площадь листа в среднем – 0,5 м².

Листы профиля чаще всего имитируют керамическую черепицу, но выпускается также копирующие дранку из дерева, солому, деревянные планки, сланец.



Рис.19.17. Композитная черепица

Профилированные листы (профнастил) изготавливают из тонколистовой оцинкованной стали методом холодного проката с последующим защитно-декоративным полимерным или лакокрасочным покрытием.

Они могут различаться по материалу исходной заготовки, наличию и виду защитно-декоративного покрытия, конфигурации гофра, ширине готового профиля, условиям применения (кровельный, стеновой и др.) и другим параметрам.

Конфигурация гофра чаще всего выполняется в виде трапециевидной и волнистой линии или в зависимости от фирмы изготовителя других типов (синусоидной, закругленной формы, с высокой и низкой волной) (рис.19.18).

Высота волны профиля составляет 10...114 мм, шаг профиля – 52,5...255 мм.

Чем выше высота волны, тем большую нагрузку может выдержать профнастил.

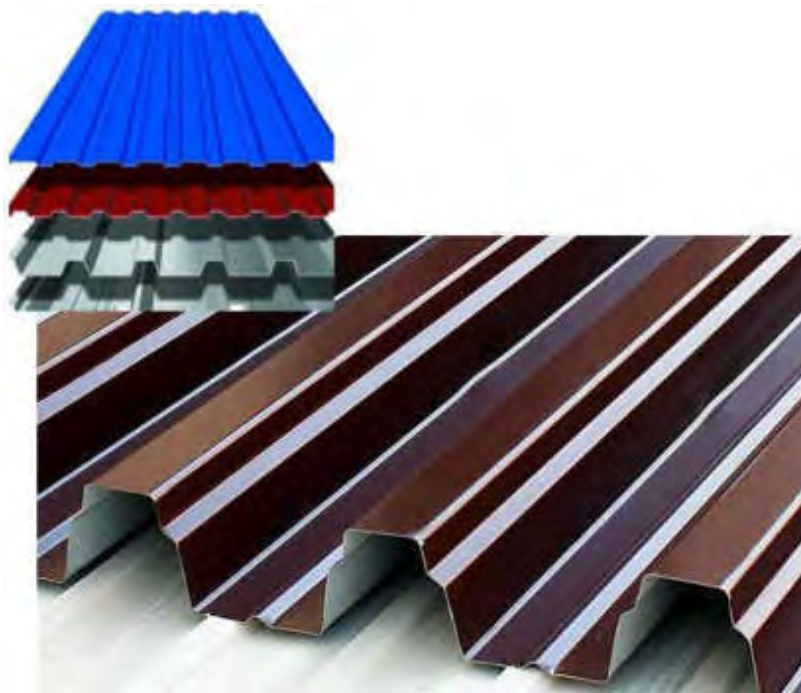


Рис.19.18. Профнастил

В отдельных случаях для обеспечения свободного стока воды, попавшей под лист покрытия, дополнительно прокатываются специальные капиллярные канавки, либо с одной стороны листа по всей его длине устраивают ребро жесткости, которое служит одновременно для стока конденсата.

Кровля из меди.

Самым долговечным кровельным материалом во все времена считалась кровля из меди (рис. 19.19).

Срок службы их 150...200 лет, благодаря способности меди окисляться – покрываться пленкой, называемой «патиной».

Пatina практически исключает дальнейший контакт меди с окружающей средой. Она защищает металл от коррозии, механических повреждений и ультрафиолетовых излучений.

Кровельная медь очень пластична, легко режется, паяется и хорошо подходит для кровель сложной конфигурации.

Медная кровля монтируется методом фальцевания листов из рулонной меди (ленты) и профилированных листов с самозащелкивающимися фальцами.



Рис. 19.19. Кровля из меди

Натуральный шифер получают из сланцевых горных пород, обладающих способностью расщепляться на отдельные сравнительно тонкие пластины (рис.19.20).



Рис. 19.20. Кровельный сланец

Для кровли используют пластины двух видов, обработанные путем распила и не обработанные.

После заготовки пластин им придают определенную форму, фактуру (ступенчатую) или при необходимости шлифуют.

Для крепления к обрешетке в каждой пластине в верхней ее части просверливаются по два отверстия диаметром 4,5 мм (рис.19.21).



Рис.19.21. Монтаж кровельного сланца

Кровельный сланец выпускается в широком диапазоне типоразмеров и моделей формы.

Основной цвет сланцевых пластин – от серого до черного.

Однако, в некоторых месторождениях сланец может быть красного, фиолетового и других цветов.

Наиболее распространенными являются размеры пластин от 150x200 мм до 300x600 мм при толщине 3...8 мм.

Считается, что срок службы сланцевой кровли более 200 лет.

При этом цвет сланцевой кровли практически не изменяется.

Кровли устраиваются также цинк-титановые, алюминиевые, из волнистых битумных листов, поликарбоната, асбестоцементные (асбестоцементный шифер), с озеленением и др .

Технологии озеленения крыш (рис.19.22).

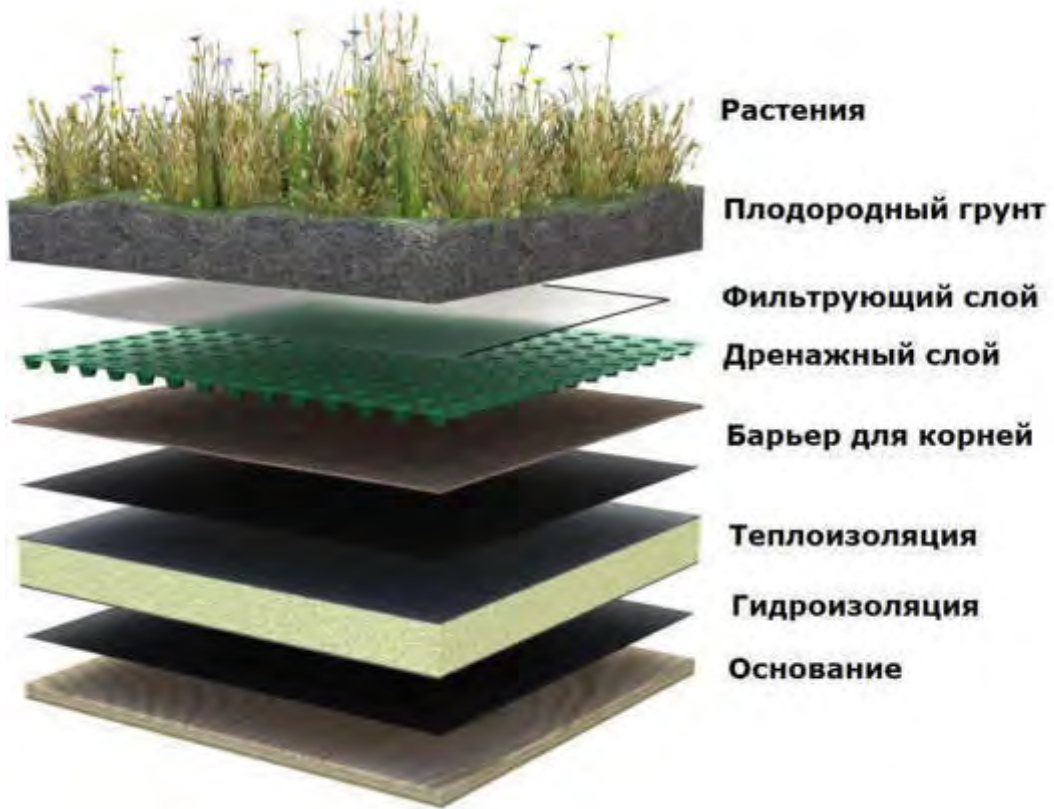


Рис.19.22. Крыша с озеленением

ТЕМА 20. ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ И УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

20.1. Общие сведения

Герметизирующие (герметики) и уплотнительные материалы предназначены для заполнения и уплотнения мест сопряжений различных конструктивных элементов зданий, сооружений и строительных конструкций с целью защиты их от проникновения влаги, воздуха и агрессивных сред.

Герметики – это композиция синтетических полимерных продуктов, в основном, полисульфидных или кремнийорганических жидких каучуков (рис. 20.1).

Они должны обеспечивать также монолитность конструкций, восприятие и локализацию возникающих в процессе эксплуатации деформаций.

Герметики, в зависимости от применения, называют строительными, профессиональными и бытовыми герметиками.



Рис. 20.1. Герметик

Для профессиональных герметиков характерна более жёсткая специализация, сложная подготовка и проведение работ, но и, как правило, более жёсткие условия эксплуатации. Поставляются в тубах большой ёмкости.

Различают герметики для *внутренних и наружных работ*.

Герметики и уплотнители в зависимости *от вида и формы* бывают (рис.20.2):

- рулонными,
- шнуровыми,
- мастичными,

- в виде паст,
- вспенивающихся составов,
- упругих и эластичных прокладок.



Рис. 20.2. Герметик (погонажный)

Пастообразные герметики по характеру перехода в рабочее состояние (технологическим признакам) подразделяют на:

- отверждающиеся:
 - химически отверждаемые – переходят в рабочее состояние с образованием пространственных химических структурных связей (силиконовые, модифицированные силаны, полиуретановые, фторсодержащие каучуки и др.);
 - физически отверждаемые (высыхающие) – переходят в рабочее состояние за счёт удаления входящих в их состав растворителей (акриловые, битумные и композитные).
- неотверждающиеся (консистенция их после изготовления и в процессе эксплуатации практически не изменяется).

Погонажные герметизирующие и уплотнительные изделия (ленточные и профильные) классифицируют по способу установки (укладки) в стык:

- устанавливаемые насухо;
- приклеиваемые специальными мастиками;
- самоклеющиеся.

Профильно-погонажные герметики представляют собой пористые или пустотелые изделия, выполненные в основном из различных резиновых смесей (поризол, гернит и др.), в виде жгутов разного поперечного сечения.

Обжатие их в стыках составляет, как правило, 30...50 % диаметра.

В зависимости от полимерной основы различают герметики:

- полисульфидные (тиоколовые),
- полиуретановые,
- кремнийорганические [силоксановые, силиконовые (ГОСТ Р 57400)],
- бутилкаучуковые,
- полиизобутиленовые (бутиловые),
- этиленпропиленовые,
- акриловые и др.

По количеству компонентов могут быть:

однокомпонентные или одноупаковочные, содержащие в одной упаковке многокомпонентные полимерные композиции готовые к употреблению;

многокомпонентные – требующие, как правило, перед нанесением точного дозирования и тщательного перемешивания.

По технологии применения различают герметики:

- горячего применения – (битумно-полимерные, битумно-резиновые), разогреваемые при применении до рабочей температуры (ГОСТ 39740),
- холодного применения (на полимерной основе), отверждающиеся при смешении составляющих компонентов.

По упругим свойствам различают:

- эластичные – способные восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки, т. е. с отсутствующим или сравнительно малым остаточным удлинением (обладают упругостью (упругим восстановлением) свыше 70% и допускаемой общей деформацией свыше 20%);
- пластичные – не обладающие упругостью или в пределах 20% и допускаемой общей деформацией до 5%;
- пластоэластичные – способные к частичному восстановлению первоначальной формы после снятия нагрузки.

По структуре различают плотные и пористые.

От назначения и выполняемых в соединении функций их условно подразделяют на:

- водозащитные,
- воздухозащитные,
- водо- и воздухозащитные и др.

20.1.2. Основные качественные характеристики герметизирующих и уплотняющих материалов

В соответствии с действующими нормативными документами все герметизирующие и уплотняющие материалы должны отвечать основным требованиям, определяемым условиями работы герметизируемой конструкции:

- полностью предохранять места сопряжения от влаги и агрессивной среды;
- не допускать фильтрации воздуха сверх количества, предусмотренного нормативными документами;
- обладать способностью сохранять свои герметизирующие свойства независимо от атмосферных воздействий в различных климатических зонах;
- иметь хорошую адгезию с материалом, из которого изготовлена конструкция, подлежащая герметизации;
- длительное время не подвергаться старению и не выделять токсичных продуктов при производстве работ и в процессе эксплуатации (не менее 15...20 лет);
- иметь невысокую стоимость и изготавливаться из доступного сырья.

Основными *качественными характеристиками* для разных видов герметиков являются:

- допустимые температура нанесения и температура эксплуатации;
- эластичность – способность герметика многократно растягиваться без разрывов, а после снятия нагрузки возвращаться к прежней форме. Качественные герметики должны компенсировать движение швов, которые они уплотняют;



Рис. 20.3. Заполнение шва герметиком

- прочность на разрыв (не менее 0,2 МПа);

- адгезия (прилипание) к различным поверхностям.;
- устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды (долговременное атмосферное воздействие, солнечное ультрафиолетовое излучение, повышенная влажность, воздействие плесени и др.);
- выносливость – число циклов деформаций, выдержанных образцом материала до разрушения – не менее 30000 циклов деформаций;
- температура эксплуатации – диапазон температур, в котором герметизирующий материал сохраняет требуемые рабочие характеристики;
- жизнеспособность – промежуток времени, в течение которого герметизирующий материал сохраняет данные технологические свойства;
- старение – изменение свойств герметизирующих материалов под воздействием внешних факторов (ультрафиолетового излучения).

Герметик должен выдерживать испытание на старение под воздействием ультрафиолетового излучения в течение не менее 1000 ч.

- гибкость – свойство герметиков выдерживать воздействие отрицательных температур без появления на его поверхности трещин и изломов. *По гибкости* различают три *марки герметиков* – Г25, Г35 и Г50. (Численное значение марки – температура, характеризующая гибкость герметика. Например, для марки Г35 – не выше минус 35 °С);

Выпускаемые в настоящее время различные типы герметиков имеют интервалы рабочих температур, как правило, от –60 °С до +80 °С, относительное удлинение при разрыве – 150...1000 %, рабочие деформации – 15...50%.

При этом каждый вид герметика имеет преимущественные области применения, которые должны указываться в сопроводительной информации.

20.2. Виды герметиков и уплотнителей

20.2.1. Отверждающие герметики

Силиконовые герметики (силоксановые) представляют собой вязкие массы, отверждающиеся под действием влаги из атмосферы или катализатора [ГОСТ Р 57400 (ASTM F 2468-05)].

Производятся на основе кремнийорганических соединений со специальными добавками, усиливающими прочность и адгезию, и наполнителей (диоксид кремния, карбонат кальция, сажа, оксиды металлов, разного вида глины).

В герметиках, используемых в строительных целях, в качестве наполнителя чаще всего применяется карбонат кальция или диоксид кремния.

Однако излишки наполнителя, как правило, ухудшают качественные характеристики герметика (особенно прочность и удлинение при разрыве).

Наличие наполнителя можно установить по плотности герметика.

У чистых силиконов она составляет 0,99...1,05 г/см³, а у наполненных – может достигать 1,6 г/см³.

Силиконовые составы по типу входящих в них растворителей подразделяются на нейтральные и кислотные.

Нейтральные (спиртовые, аминные) более универсальные.

При вулканизации кислотных герметиков выделяется небольшое количество уксусной кислоты (2...4%) и чувствуется запах уксуса, поэтому их часто называют уксусными.

Кислотные герметики нельзя применять для герметизации поверхностей, которые могут иметь реакцию с кислотами и солями, выделяющимися при вулканизации (бетонные, растворные, мраморные, гранитные, алюминиевые).

Однако кислотные герметики после высыхания остаются постоянно эластичными при большом интервале температур (–50°С ...+180°С).

Кислотные герметики маркируются латинской буквой «А» (англ. acid – кислота), нейтральные – «N» (англ. neutral – нейтральный).

Силиконовые герметики обладают хорошей адгезией к стеклу, дереву, не окисленным металлам, эмали, керамике и обеспечивают хорошую герметичность от проникновения воды и запахов (рис. 20.4).

Период схватывания силиконовых герметиков (поверхностная вулканизация) составляет 5...10 минут, а процесс отверждения (вулканизации) протекает со скоростью 2,5...4 мм в сутки.

Относительное удлинение при разрыве составляет 250...1000% в широком диапазоне температур (от –50°С до +150°С).

Они имеют повышенную термо- и атмосферостойкость.

Практически безвредны.

Выпускаются различных цветов и поэтому не требуют окраски.



Рис.20.4. Силиконовый герметик

Применяются силиконовые герметики как внутри, так и снаружи помещений для герметизации швов вокруг дверных коробок и оконных рам, уплотнения деформационных соединений и стыков, герметизации витрин, стендов, панелей, проводов, кабельных каналов, защиты полиуретановой пены от ультрафиолетовых лучей.

Однако по ряду причин применение их для фасадных работ, особенно в зимнее время, ограничивается. Считается, что долговечность их в помещениях составляет 10...20 лет, в наружных конструкциях 1...3 года.

Акриловые (акрилатные) герметики получают на основе акриловых смол и отличаются тем, что не содержат органических растворителей и могут разбавляться водой (рис. 20.5).

Они имеют хорошую адгезию к пористым основаниям (бетону, кирпичу, штукатурке, гипсокартону, древесине) и несколько слабее к материалам с плотной поверхностью (стекло, пластик, керамическая плитка).



Рис.20.5. Акриловый герметик

Отверждение состава происходит через 15 минут, полное – через 24 часа.

Акриловые герметики обладают несколько меньшей эластичностью, чем силиконовые, и применяются при малоподвижных соединениях.

Они легко покрываются различными лакокрасочными материалами, не токсичны и максимально эффективны для применения как внутри, так и снаружи помещений.

Не рекомендуется применять в местах постоянного контакта с водой, по сырой древесине, силикону и сильно деформируемой поверхности (с деформацией швов не более 15%).

Выпускаются водостойкими и недостаточно водостойкими.

Акрилсиликоновые герметики (силиконизированный акрил) сочетают в себе лучшие свойства акрила и силикона и по свойствам превосходят многие из существующих видов герметиков.

Они эластичные и влагостойкие, как силикон, прочные и долговечные, как акрил. Обладают высокой адгезией к большинству пористых и непористых поверхностей. Предназначены для наружного и внутреннего применения.

Полиуретановые герметики представляют собой эластичную клеящую и уплотняющую массу на полиуретановой основе.

Отверждаются при контакте с влагой воздуха за достаточно короткое время.

Сначала через 1...1,5 часа с поверхности герметизирующей массы образуется плёнка, а затем в течение 8 часов происходит полная полимеризация.

Полиуретановые герметики обладают отличной адгезией к большинству материалов, обеспечивая при этом прочное склеивание поверхностей.

Эластичность их достигает 900%.

Полиуретановые герметики содержатся едкие вредные вещества и при работе с ними нельзя допускать попадания их на открытые участки кожи.

Не стойки к УФ-излучению и имеют ограниченную цветовую гамму.

Применяются преимущественно для герметизации строительных конструкций, стыковых соединений между стенами, по периметру окон и дверей, в кровельных швах, вентиляционных системах.

Долговечность полиуретановых герметиков в помещениях составляет 25...40 лет, в наружных конструкциях 10...15 лет.

Герметики на основе MS-полимера (модифицированные силаны) являются гибридом полимера силикона и полиуретана в определенных пропорциях.

Время образования поверхностной плёнки у MS-полимерных герметиков составляет 10...15 мин., скорость вулканизации – 3 мм в сутки при температуре +23°C и влажности 50%.

Удлинение при разрыве превышает 400%, температура эксплуатации – от –50°C до +90°C.

Устойчивы к воздействию агрессивных сред.

Номенклатура герметиков на основе MS-полимера весьма разнообразна и насчитывает десятки разновидностей.

Срок эксплуатации таких герметиков не менее 15 лет.

Используются при герметизации, стеклопакетов и высоконагруженных стеклянных конструкций.

Заполняют компенсационные швы, клеят керамику, зеркала, натуральный камень, мрамор, крепления облицовки фасадов и теплоизоляцию.

С помощью MS–полимерных герметиков устанавливают декоративные элементы, укладывают плитку, паркет и ламинат, герметизируют и склеивают светотехнические изделия, а также поверхности больших размеров и для огнестойкого монтажа.

Тиоколовые герметики (тиокол – торговое название полисульфидных каучуков) представляют собой двух- или трёхкомпонентные композиции на основе жидких полисульфидных олигомеров (рис. 20.6).

После смешивания компонентов и последующей вулканизации при комнатной температуре образуются эластичные покрытия, т. е. они превращаются в резину, не теряя при этом адгезионных свойств.

В состав композиции входят также ускорители вулканизации, наполнители и для отдельных видов герметиков адгезионные присадки.

Следовательно, большинство тиоколовых герметиков изготавливают непосредственно по месту их применения путём смешивания компонентов до получения однородной массы.

Жизнеспособность таких герметиков после приготовления составляет от 1 до 15 часов.

Некоторые марки тиоколовых герметиков содержат так называемый «скрытый вулканизирующий агент», реагируемый с тиоколом только в присутствии атмосферной влаги.

Вулканизация герметика после нанесения на поверхность конструкций при обычных условиях эксплуатации завершается через 7...10 суток.

Ускорить процесс вулканизации герметика можно путём прогрева мест (швов) герметизации при температуре 50...80°C, что позволяет сократить время вулканизации в 7...10 раз.

Тиоколовые герметики обладают хорошей адгезией к большинству материалов.

Они стойки к действию многих растворителей, разбавленных кислот, слабых щелочей, солнечного света, хорошо сопротивляются окислению, действию атмосферных осадков.

Эластичность составляет 150...250%.

Разновидностями полисульфидных герметиков являются «УТ-32», «У-30М» и др.



Рис. 20.6. Тиоколовый герметик

Применяют тиоколовые герметики для герметизации различных строительных конструкций, в том числе и жёстких кровель.

Температурный диапазон эксплуатации тиоколовых герметиков от - 55 °С до + 130°С.

Срок их службы составляет 20 - 30 и более лет.

Гермабутил представляет собой композиционный состав на основе бутилкаучука, наполнителей, модифицирующих добавок, пигментов и растворителей (рис. 20.7).



Рис.20.7. Гермабутил

По внешнему виду это текучая масса серого или белого цвета плотностью 0,9...1,1 г/м³.

Время высыхания «до отлипа» – не менее 24 ч, прочность на разрыв и адгезионная прочность – более 0,1 МПа, относительное удлинение при разрыве – 50...100%.

Мастика Гермабутил предназначена для герметизации наружных поверхностей, швов и мест сопряжения строительных конструкций жилых, общественных и производственных зданий и сооружений.

Применяется также для наружной обмазочной гидроизоляции строительных конструкций и резервуаров, в том числе герметизации и ремонта кровли.

Расход мастики при герметизации мест сопряжения и межпанельных швов составляет 0,35...0,50 кг/м.

Гарантийный срок эксплуатации герметика – 8 лет.

Мастика Гермабутил содержит токсичные и пожароопасные компоненты.

Однако в отверждённом состоянии не оказывает вредного воздействия на организм человека.

Монтажная (полиуретановая) пена – это сложная смесь жидких и газообразных веществ различной природы (рис. 20.8).

Чаще всего она представляет собой жидкий однокомпонентный полиуретановый герметик в аэрозольной упаковке.



Рис.20.8. Монтажная пена

Когда содержимое выходит из баллона, оно значительно увеличивается в объёме с образованием пенистой массы (первичное расширение), плотно заполняя полости и пустоты, и прочно сцепляется с основанием.

Под воздействием влажности и температуры окружающей среды (воздуха) происходит реакция полимеризации (застывания) пены (вторичное расширение).

В результате образуется довольно жёсткий герметизирующий материал (пенополиуретан).

Выход пены из одного баллона весом брутто 680 г может составить до 45 литров плотностью 12...15 кг/м³.

Основными качественными характеристиками полиуретановой пены являются:

- выход пены,
- вязкость состава,
- расширение,
- адгезия,
- время полимеризации (2...3 часа),
- величина усадки,
- характер внутренней структуры пор,
- изоляционная способность (гидро-, тепло- и звукоизоляции).

Полиуретановая пена экологически безопасна и способна сохранять свои свойства в диапазоне температур от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$.

Температурный режим применения составляет от -18°C до $+35^{\circ}\text{C}$.

Недостаток монтажной пены это не устойчива к воздействию ультрафиолетовых лучей.

Поэтому после застывания её поверхность необходимо обрабатывать краской, штукатуркой, шпатлёвкой или другими составами.

Основные функции полиуретановой пены – герметизация и теплоизоляция.

20.2.2. Ленточные и профильные герметизирующие и уплотнительные материалы

Герлен представляет собой однородный эластопластичный материал в виде ленты, изготовленный на основе бутилкаучука и других полимеров (рис. 20.9).



Рис.20.9. Эластопластичный материал в виде ленты

На ленту с одной или двух сторон нанесён клеящий состав.

Дополнительно одна сторона может быть дублирована защитным слоем из холста, алюминиевой фольги или других материалов.

Ширина ленты от 15 до 280 мм, толщина 1,5...3,0 мм.

Поставляется в рулонах фиксированных размеров по длине – 12, 16, 18, 20 и 25 м.

Герлен отличается достаточно высокими техническими характеристиками:

- лента хорошо режется ножом,
- прочность сцепления с бетоном и сталью при отрыве составляет не менее 0,1 МПа,
- характер разрушения – когезионный (разрыв происходит по массиву адгезива),
- водопоглощение – не более 0,2%,
- теплостойкость – не менее +120 °С,
- условия эксплуатации – от –60 °С до +120 °С.

В зависимости от технических характеристик и назначения выпускают много разновидностей герлена.

Липлент представляет собой ленту с двухсторонним липким слоем на металлической фольге, нетканом материале или безосновную, защищённую антиадгезионной бумагой (рис. 20.10).

Получают из высокомолекулярных синтетических каучуков, смол и наполнителей.



Рис.20.10. Липлент

Обладает хорошей адгезией ко всем видам оснований, легко принимает форму шва.

Прочность связи с поверхностью (бетон, металл) составляет соответственно не менее 0,11...0,16 МПа, характер разрушения – когезионный, температура хрупкости не выше -40°C , теплостойкость 130°C .

Применяется для крепления и склеивания рулонных кровельных материалов, герметизации стыков и примыканий конструкций из бетона, металла, стекла, эксплуатируемых в интервале температур от -40°C до $+120^{\circ}\text{C}$.

Выпускается в рулонах шириной 60...180 мм, толщиной 1,5 мм и длиной не менее 6 м.

Ленточный герметик Викар разработан на основе полимерных связующих бутилкаучука и полиизобутилена, целевых добавок и минеральных наполнителей.

Отдельные разновидности могут быть дублированы металлизированной или лавсановой плёнкой.

Самоклеющиеся рабочие слои (одно- или двухсторонние) защищены антиадгезионной бумагой или плёнкой.

Лента имеет размеры: ширина – 10...200 мм, толщина – 1,5...3,0 мм и длина – от 1 до 30 м.

Выпускается марок Б, ЛБ, ЛТ и др.

Марки указывают на материал армирования изделий.

Герметик Викар обладает хорошей адгезией к металлу, бетону, стеклу, кирпичу.

Сохраняет технические характеристики в интервале температур от -60°C до $+140^{\circ}\text{C}$.

Применяется для склеивания между собой и к бетону, металлу кровельных полимерных и битумно-полимерных материалов, гидроизоляции конструкций из металлического профиля, крепления подкровельных мембран, герметизации швов сэндвич-панелей, стыков кровель и межпанельных стыков зданий и сооружений.

Герметик Викар выпускается также в виде шнуров разного диаметра, брикетов и мастик различной вязкости.

Уплотнительные ленты представляют собой предварительно сжатый эластичный пористый материал на основе полиуретана в виде ленты (ПСУЛ), как правило, прямоугольного сечения, предварительно пропитанный специальными составами и сжатый (рис. 20.11).



Рис. 20.11. Уплотнительные ленты

Помещённая в стык или шов, лента самостоятельно расширяется, полностью заполняя все неровности и зазоры, обеспечивая надёжную защиту от неблагоприятных воздействий.

На одну из сторон уплотнительной ленты наносится клеевой слой, который может быть армирован стеклотканью или другим материалом, и защищённый антиадгезионной пленкой.

Цвет уплотнительных лент – от светло-серого до черного.

Такие ленты обладают достаточно высокими водо-, тепло- и звукоизоляционными характеристиками при температуре эксплуатации от -50 до $+80$ оС.

Выпускается преимущественно следующих размеров: ширина – 10...20 мм, толщина – 4...10 мм и длина – 3...8 м.

В зависимости от геометрических параметров ленты оптимальные размеры уплотнительного шва составляют от 4 до 17 мм при максимальном расширении ленты в разжатом состоянии от 20 до 50 мм (пятикратное увеличение).

Применяются уплотнительные ленты для защиты подвижных и неподвижных соединений от воды, шума, холода, пыли и т.п.

Ленты робибанд представляют собой, как правило, многослойные самоклеющиеся изделия, обработанные различными видами пропитки (рис. 20.12).



Рис. 20.12. Робибанд

Чаще всего они состоят из трёх слоёв:

среднего (пенный), который обеспечивает тепло- и звукоизоляцию, и двух внешних слоёв,

один из которых обеспечивает защиту от атмосферных факторов, оставаясь при этом практически паропроницаемым,

а второй – защиту центрального слоя от воздействия водяных паров со стороны помещения.

Ленты робибанд поставляются в сжатом состоянии, скрученные в ролики, с широким спектром типоразмеров: шириной 80...200 мм и длиной до 18 м.

Предназначаются такие ленты преимущественно для герметизации внутреннего контура монтажных швов.

Помещённые в шов, они самостоятельно расширяются и полностью заполняют все неровности и зазоры.

Скорость расширения ленты зависит от температуры окружающей среды и поверхности.

При $t=0^{\circ}\text{C}$ лента расширяется за 48 ч, а при $t=+30^{\circ}\text{C}$ – за 0,5 ч.

Выпускается серого и чёрного цветов, отличающихся техническими характеристиками и видом пропитки.

Серая лента имеет более качественные показатели.

Считается, что условный срок эксплуатации – не менее 20 лет (ГОСТ 30971).

Уплотнители для кровли служат для защиты монтажных швов и внутреннего пространства кровли от попадания снега, влаги, пыли и вывода пара из-под крыши (рис. 20.13).

Основой при изготовлении универсальных уплотнителей служат, как правило, плёнки из полиуретана.



Рис.20.13. Уплотнители для крыши

Такие уплотнители, в отличие от поролона, имеют открытопористую структуру, что обеспечивает беспрепятственное удаление влаги и вентилирование кровли, т. е. делают кровлю непроницаемой снаружи и дышащей изнутри.

На установочную поверхность уплотнителя нанесён самоклеющийся слой, защищённый антиадгезионной плёнкой (бумагой).

Такой слой легко обеспечивает фиксацию уплотнителя по месту монтажа.

Рабочий диапазон температур самоклеющегося слоя от -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$.

Форма уплотнителя зависит от типа покрытия.

Размеры: толщина – 20...40 мм, ширина – 35...60 мм и длина – 100...200 см.

Жгуты уплотнительные изготавливаются из полиэтилена, полипропилена и других полимеров, вспененных физическими газообразователями (рис. 20.14).

По форме могут быть круглого, квадратного и прямоугольного сечений толщиной 30...90 мм.



Рис. 20.14. Герметизация межпанельных швов жгутами

Применяются для герметизации межпанельных швов при строительстве жилых и коммерческих объектов и в качестве тепло- и звукоизоляции мест сопряжения.

Гернит – пористый высокоэластичный материал с воздухо- и водонепроницаемой плёнкой на поверхности (рис. 20.15).

Изготавливают из каучука с добавками-пластификаторами, которые в процессе производства создают пористую структуру.



Рис.20.15. Жгут Гернит

Размер пор в материале от 0,4 до 0,2 мм.

Выпускают в виде жгутов (шнуров) диаметром от 10 до 100 мм и длиной 3 м и полос 30 x 40 и 40 x 60 мм.

При герметизации стыков между панелями гернит обжимают на 30...40% первоначального объёма.

Снаружи закрывается морозостойкой мастикой.

Применяется с целью снижения теплопотерь на стыках при монтаже панельного и крупнопанельного домостроения.

Выпускаются и другие уплотнительные материалы и изделия для герметизации соединений.

20.2.3. Неотверждающие герметики

Герметизирующая неотверждающаяся строительная мастика композитный вязкую однородную массу, на основе полиизобутиленового, изопренового и бутилового каучука, наполнителя (мел, тальк) и пластификаторов.

Обладают небольшим водопоглощением 0,2...0,4 %, относительным удлинением при -50°C , не менее 7 %

Применяют для герметизации стыков кровельных панелей в интервале $-50...+70^{\circ}\text{C}$ при ширине герметизируемого стыка 10...30 мм.

Эламаст представляет собой высоковязкую однородную массу серо-бежевого цвета.

Мастика Эламаст предназначена для герметизации стыков и зазоров во всех типах панельных и блочных зданий.

Герметик Эламаст является малотоксичным веществом. Срок хранения в таре составляет 18 месяцев при температуре до 30°C .

Битумно-эластомерная мастика используется в дорожном строительстве для устройства щебёночно-мастичных, деформационных швов мостового полотна, герметизации: трещин, аэродромных покрытий, мостах, путепроводах, а также для гидроизоляции фундаментов и цоколей в строительстве.

Основной функцией битумных мастик, применяемых для устройства ДШ, является обеспечение полной герметичности шва в течение всего расчетного срока его эксплуатации при заданных природно-климатических и транспортных воздействиях. Поэтому мастики должны обладать следующими свойствами:

- устойчивостью к термоокислительному старению;
- достаточной теплостойкостью при максимальных эксплуатационных температурах для исключения необратимых пластических деформаций;
- эластичными свойствами при минимальных эксплуатационных температурах для компенсации перемещений мостовых конструкций при воздействии транспортных нагрузок и тепловых деформациях;

- достаточным сцеплением, как с поверхностью минерального наполнителя, так и с материалами конструктивных слоев мостового полотна, для обеспечения эффективной герметизации при многократных циклах растяжения-сжатия

В зависимости от назначения, дорожно-климатических зон и температуры размягчения подразделяется на различные марки.

Тенапласт – однокомпонентная высыхающая герметизирующая мастика, изготовлена на основе полиакрилатной дисперсии и представляет собой пастообразную массу белого цвета. После отвержения герметизирующая мастика устойчива к воздействию атмосферной среды, воды, УФ - излучения. Температурный интервал составляет от минус 40 °С до плюс 70 °С.

Тенапласт применяется для герметизации швов, щелей, трещин, соединений, пустот стройдеталей, при остеклении и герметизации окон и теплиц, для ремонта крыш, для укладки облицовочной плитки.

Огнебезопасна и экологически безвредна из-за отсутствия растворителя.

ТЕМА 21. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

21.1. Определение и классификация

Лакокрасочными называют жидкие, пастообразные или порошковые материалы, образующие при нанесении на окрашиваемую поверхность сплошное лакокрасочное покрытие, обладающее защитными, декоративными или специальными техническими свойствами (изоляционными и др.) (ГОСТ 28246).

По структуре и составу лакокрасочное покрытие представляет собой достаточно сложную и многослойную систему (рисунок 21.1). Оно состоит, как правило, из слоя грунтовки, выравнивающих слоев, одного или нескольких слоев шпатлевки с промежуточными слоями грунтовки, верхнего слоя грунтовки и одного – трех слоев окрасочного состава (первичного, промежуточного и внешнего).

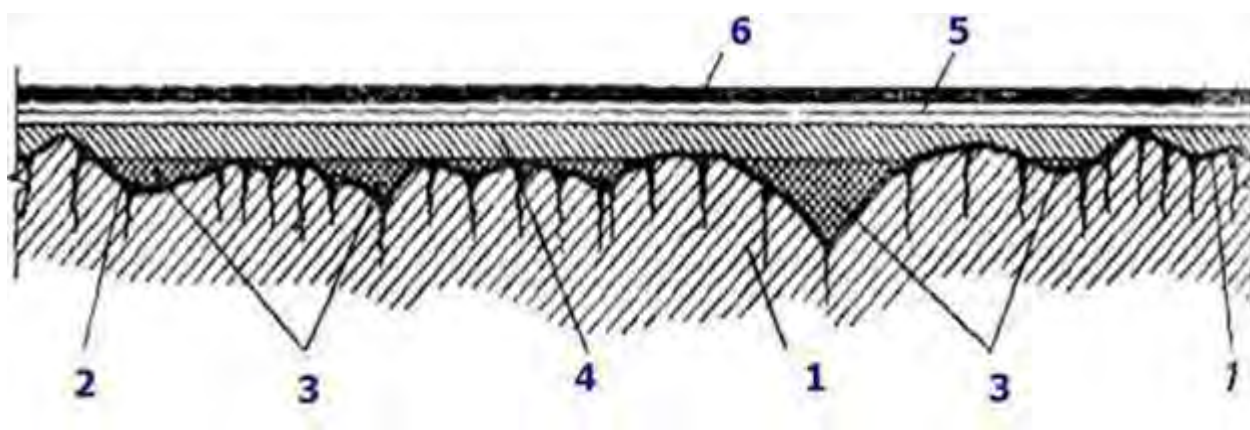


Рис. 21.1. Структура лакокрасочного покрытия: 1 – основание, 2 – грунтовка, 3 – подмазка, 4 – шпатлевка, 5 – слой красочного состава, 6 – слой лака

Каждый слой имеет соответствующее название и выполняет определенные функции:

- грунтовочный слой (грунт) считается фундаментом лакокрасочного покрытия и предназначен для улучшения свойств лакокрасочной системы. Он обеспечивает необходимую адгезию лакокрасочного покрытия к подложке, защищает ее от воздействия разрушающих факторов и последующие слои покрытия от воздействия подложки;

- промежуточный (функциональный) слой усиливает защитные функции грунтовочного слоя, выравнивает неровности грунта и подложки, улучшает функциональные свойства покрытия (светоотражение, торможение диффузии и др.), повышает стойкость покрытия к механическим воздействиям;

– покрывной (внешний) слой принимает на себя все виды внешних воздействий и обеспечивает:

- основную защиту от действия атмосферы (УФ-излучения, осадков, влажности воздуха), химических агентов (кислоты, щелочи, агрессивные газы) и растворителей;
- решение функциональных задач (декоративные, оптические, электрические и другие свойства).

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) классифицируют по многим показателям (рисунок 21.2), в том числе по:

- виду,
- типу пленкообразователя,
- условиям эксплуатации,
- виду растворителя,
- оптическим свойствам,
- назначению,
- составу и др.

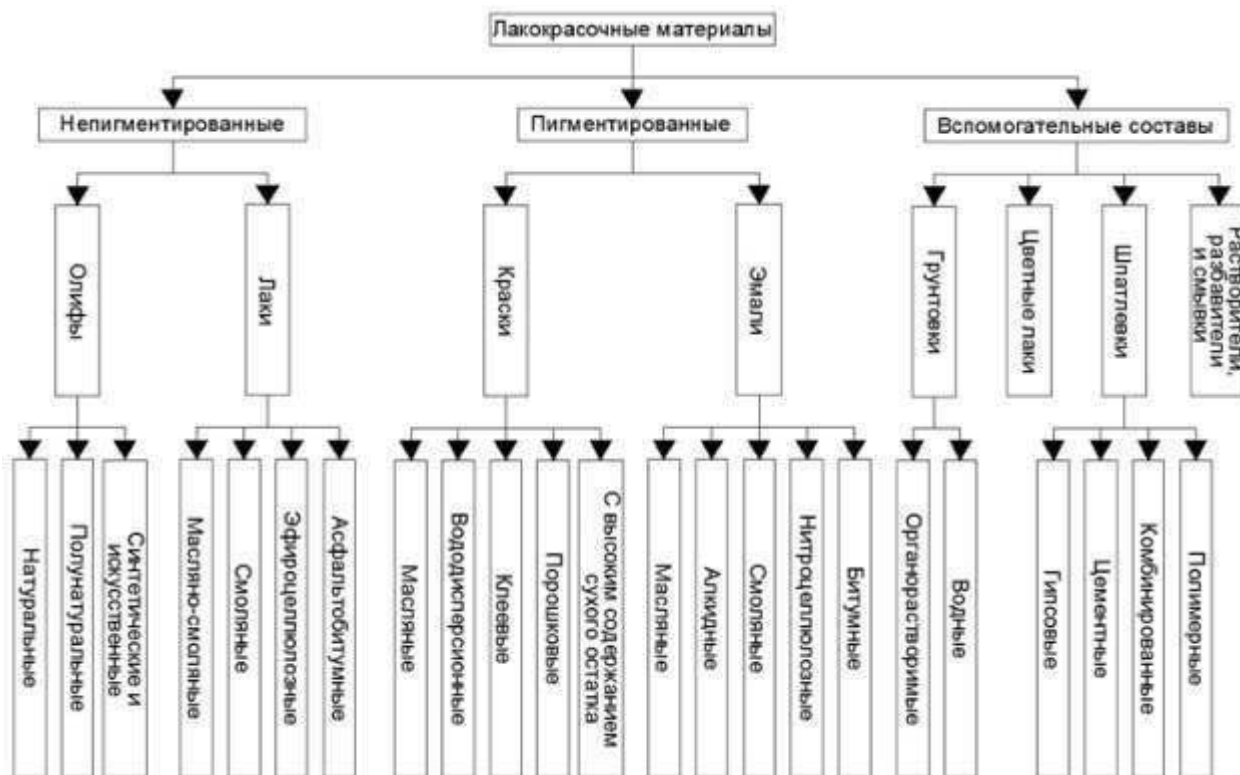


Рис.21.2. Разновидности лакокрасочных материалов

По виду лакокрасочные материалы подразделяют на:

- лаки,
- краски (сухие или готовые к употреблению),
- эмали,

- грунтовокки,
- шпатлевки.

В зависимости от **условий эксплуатации** их подразделяют:

- на атмосферостойкие – стойкие к атмосферным воздействиям в различных климатических условиях, эксплуатируемые на открытых площадках;
- ограниченно атмосферостойкие – эксплуатируемые под навесом и внутри неотапливаемых и отапливаемых помещений в различных климатических условиях и др.

В зависимости от **вида растворителя** ЛКМ подразделяются на:

- содержащие органические растворители (на неводных (органорастворимых) связующих);
- не содержащие органические растворители (на водных (водоразбавляемых) связующих).

Водными связующими служат растительные крахмалы, животные белки (костный и мездровый клей), продукты обработки целлюлозы (карбоксиметилцеллюлозный клей), жидкое стекло, известь, цемент и др.

Неводными связующими являются молекулярные растворы синтетических и природных смол в летучих органических растворителях, высыхающие растительные масла и их смеси.

По **оптическим свойствам** лакокрасочные покрытия бывают:

- прозрачные (лаки) и непрозрачные (пигментированные составы);
- по степени зеркального блеска (способности направленно отражать световой поток):

- высокоглянцевые,
- глянцевые,
- полуглянцевые,
- полуматовые,
- матовые
- глубоко (совершенно) матовые.

- по характеру поверхности – гладкие и шероховатые (фактурные).

По **назначению** все лакокрасочные материалы подразделяются на:

- материалы для подготовки поверхности к отделке (грунтовокки, шпатлевки, порозаполнители, замазки и др.);
- материалы, создающие основной лакокрасочный слой (лаки, эмали, краски, отделочные пасты);
- материалы для облагораживания лакокрасочных покрытий (разравнивающие жидкости, пасты и политуры).

Вместе с тем наблюдается постепенное слияние отдельных видов лакокрасочных материалов, когда один и тот же состав выполняет сразу несколько функций (например, системы типа «грунт-эмаль»).

21.2. Основные компоненты лакокрасочных составов

В состав современного лакокрасочного материала может входить большое количество компонентов:

- пленкообразующие вещества,
- пигменты,
- наполнители,
- пластификаторы,
- отвердители,
- ускорители,
- растворители,
- разбавители,
- сиккативы,
- антиоксиданты другие целевые добавки.

При этом свойства самих ЛКМ определяются в первую очередь свойствами входящих в его состав компонентов.

Пленкообразующие (связующие) – это вещества, которые образуют пленку и связывают пигмент. Они представляют собой нелетучую часть лакокрасочной среды, образующую лакокрасочное покрытие.

Предназначены пленкообразующие вещества для связывания частиц пигмента и создания на поверхности окрашиваемого материала, хорошо сцепляющейся с основанием и достаточно твердой пленки. От их вида и состава зависит консистенция краски, прочность, твердость и долговечность образующейся пленки.

К пленкообразующим веществам относятся неорганические вяжущие (известь, цемент, жидкое стекло) и органические вещества (растительные масла, природные и синтетические смолы, животные и растительные клеи, нитраты целлюлозы и др.).

Растительные масла (высыхающие, полувывсыхающие и невысыхающие) отверждаются в результате полимеризации за счет кислорода воздуха.

К числу пленкообразующих на основе высыхающих или полувывсыхающих растительных масел относят олифы: натуральную, полунатуральную (олифа-оксоль и сульфоксоль), комбинированные, искусственные (глифталевая, пентафталевая, сланцевая), синтетические модифицированные и др.

Синтетические олифы не содержат растительных масел или содержат их не более 35%. Получают их из синтетических смол (полимеров) или различных масел термической и химической их обработкой.

Все олифы – олигомерные продукты, т. е. способные к дальнейшим превращениям (полимеризации).

Применяют олифы для изготовления и разведения масляных красок, грунтовочных составов и шпатлевок, пропитки деревянных поверхностей и штукатурки, как во внутренних, так и наружных отделочных работах.

К синтетическим пленкообразующим связующим относят алкидные связующие (пентафталевые, глифталевые, модифицированные алкидные и др.), перхлорвиниловые, полиуретановые, полиэфирные, фенолоформальдегидные, эпоксидные, мочевино- и меламиноформальдегидные, полиакрилаты и другие полимеры. В лакокрасочной промышленности их часто называют смолами.

Пигменты – вещества в виде мелкодисперсных частиц, практически нерастворимое в лакокрасочной среде и используемое благодаря своим оптическим, защитным или декоративным свойствам.

Пигменты представляют собой тонкоизмельченные (высокодисперсные) цветные порошки, практически не растворимые в воде, пленкообразующих веществах и органических растворителях, но способные равномерно смешиваться с ними, образуя суспензии или пасты необходимого цвета.

Всего насчитывается более 500 тыс. разновидностей пигментов.

От вида пигмента зависят цвет (колер) лакокрасочного покрытия, его долговечность, устойчивость против атмосферных факторов и агрессивных сред.

По происхождению пигменты бывают:

- природные или натуральные (мел, охра, сиена, сурик железный, умбра коричневая),
- синтетические (органические (красочные лаки, типа «фарблаков», пигменты алый и др.) и неорганические (белила, крон, литопон, ультрамарин);
- металлические (золотистая бронза, алюминиевая и цинковая пудра, медный порошок).

Каждый пигмент имеет свой цвет и обладает определенными **качественными характеристиками**. Основными из них являются: дисперсность, укрывистость, красящая способность, свето-, огне- и химическая стойкость, маслостойкость, безвредность и др.

Дисперсность или тонкость помола определяют гладкость покрытия, маслостойкость и укрывистость пигмента.

Укрывистость – способность краски, приготовленной на олифе и пигменте, закрывать первоначальный цвет подложки при равномерном нанесении ее на поверхность. Характеризуется количеством пигмента (г) на 1 м² окрашиваемой поверхности, необходимым для закрытия контрастной окраски (например, черных и белых полос).

Красящая способность (интенсивность) – свойство пигмента передавать свой цвет в смеси с белыми, черными или синими пигментами. Чем больше интенсивность пигмента, тем меньше требуется его для получения окраски нужного тона и тем больше его можно заменить наполнителем.

Маслоемкость – способность пигмента удерживать определенное количество масла. Чем меньше масла (в % по массе) требует пигмент для получения красочной пасты, тем выше стойкость красочного покрытия и больше укрывистость пигмента.

Выбор того или иного пигмента и красочного состава обуславливается, главным образом, назначением красочного покрытия, стоимостью, безвредностью и другими факторами.

Красителями называют природные или синтетические вещества, придающие желаемый цвет лакокрасочному составу, в котором они растворены.

Отличительной особенностью красителей является способность пропитывать окрашиваемый материал (древесину, бумагу, текстиль) и давать цвет по всему объему.

Растворители представляют собой одно- или многокомпонентные летучие жидкости органического происхождения, полностью растворяющие пленкообразующее вещество лакокрасочного материала и затем испаряющиеся при определенных условиях.

Они не содержат в своем составе связующего, а предназначены для регулирования вязкости лакокрасочного состава, а также мытья кистей, посуды и инструментов.

Разбавители тоже представляют собой одно- или многокомпонентные жидкости, которые, не являясь растворителями для пленкообразующих веществ, но могут быть использованы в сочетании с ними для регулирования вязкостных характеристик в значительных пределах, не оказывая вредного воздействия на свойства лакокрасочного материала и покрытия. В отличие от растворителей они содержат в своем составе пленкообразователь.

В густотертых масляных красках разбавителем может служить олифа, а в вододисперсионных растворителем и разбавителем – вода или эмульсия типа «вода в масле».

Наполнителями в лакокрасочных составах являются порошкообразные вещества, практически нерастворимые в лакокрасочной среде и используемые не только

для экономии дорогостоящих пигментов, но и для направленного влияния на определенные свойства (повышают атмосферо-, водо-, огне-, кислото- и щелочестойкость лакокрасочных покрытий, улучшают их адгезионные свойства, прочностные характеристики и др.).

Сиккативы – металлоорганические соединения, добавляемые в ЛКМ для ускорения процесса сушки. Они представляют собой соединения металлов (в основном свинца, марганца, кобальта кальция, железа) с органическими кислотами.

Кроме рассмотренных, в состав ЛКМ могут входить и другие компоненты функционального назначения: разжижители, отвердители, пластификаторы, антиоксиданты, тиксотропные и реологические добавки, биоциды, диспергаторы, антивспениватели, противопленочные агенты, загустители, порообразователи и т. п.

21.3. Технические характеристики и свойства лакокрасочных материалов

Технические требования к лакокрасочным материалам и покрытиям приведены в соответствующих нормативных документах на конкретный вид материала.

Объемная концентрация пигмента характеризуется отношением общего объема пигментов и/или наполнителей к общему объему нелетучих веществ в лакокрасочном материале, выраженным в процентах (ГОСТ 28246).

Чем больше объемная концентрация пигмента, тем меньше пленкообразователя содержит краска.

Высокая объемная концентрация присуща, как правило, матовым краскам (40...70%), более низкая – глянцевым (от 10% и выше).

Кроющая способность ЛКМ характеризуется площадью окрашиваемой поверхности, которую можно окрасить данным количеством лакокрасочного материала с образованием высохшего лакокрасочного покрытия заданной толщины (ГОСТ 28246). Измеряются, как правило, в $\text{м}^2/\text{кг}$, $\text{м}^2/\text{л}$ или $\text{м}^2/\text{дм}^3$. Чем она выше, тем меньше расход краски на единицу окрашиваемой поверхности.

Различают практическую (полученную на практике при окраске конкретной окрашиваемой поверхности при конкретных условиях нанесения) и теоретическую (рассчитанную только по объему нелетучих веществ) кроющую способность лакокрасочного материала.

Расход ЛКМ характеризуется количеством, необходимым для получения на единице площади при заданных рабочих условиях высохшего лакокрасочного покрытия заданной толщины $\text{кг}/\text{м}^2$, $\text{л}/\text{м}^2$ или $\text{дм}^3/\text{м}^2$.

Укрывистость – это способность лакокрасочного материала делать невидимым цвет или цветовые различия окрашиваемой поверхности. Измеряется в основном в $\text{г}/\text{м}^2$. Чем выше укрывистость, тем меньше расход краски.

Жизнеспособность ЛКМ определяется максимальным временем, в течение которого лакокрасочный материал, выпускаемый в виде отдельных компонентов, может быть использован после их смешивания.

По истечению этого времени его качество значительно ухудшается. Как правило, жизнеспособность должна составлять не менее 6 час. С повышением температуры жизнеспособность ЛКМ сокращается.

Время высыхания – это промежуток времени, в течение которого достигается определенная степень высыхания при заданной толщине слоя и определенных условиях сушки – температуре и влажности. Различают высыхание «от пыли» и «полное».

Полное высыхание характеризуется образованием на окрашенной поверхности прочной эластичной пленки, способной сопротивляться механическим воздействиям, и готовностью покрытия к эксплуатации.

Оценивается по его липкости и твердости путем условного отнесения к одной из семи степеней высыхания.

Время высыхания позволяет также оценить возможность нанесения следующего слоя краски и выражается чаще всего в часах.

Цвет является одним из важнейших декоративных признаков лакокрасочных материалов.

Он должен находиться в пределах допускаемых отклонений, установленных эталонами цвета «Картотеки» или утвержденными контрольными образцами.

Устанавливается методом визуального сравнения при естественном или искусственном рассеянном свете.

Многие производители ЛКМ предлагают так называемые колеровочные системы в компьютерном или альбомном исполнении.

В их состав входят базовые ЛКМ с различным содержанием диоксида титана для получения оттенков, колеровочные (пигментные) пасты для придания базе требуемого цвета, программное обеспечение, колеровочное (дозировующее и перемешивающее) оборудование на основе компьютерной техники и т. п.

Блеск (глянец) – оптическое свойство поверхности, характеризующее ее способность зеркально отражать световые лучи, и является визуальным восприятием лакокрасочного покрытия. Значение блеска указывается в единицах блеска и не допускается в процентах.

Примерами степени блеска покрытий являются высоко-глянцевые, глянцевые и матовые поверхности.

Степень блеска находится в пропорциональной зависимости от соотношения пигмента и пленкообразователя. В матовых красках используется больше пигмента, в глянцевых – больше пленкообразователя.

Повышение блеска покрытий позволяет, как правило, повысить их атмосферостойкость.

Внешний вид покрытия характеризуется совокупностью декоративных и защитных показателей (цветом, фактурой, качеством исполнения, наличием или отсутствием дефектов) и устанавливается визуально.

Для оценки внешнего вида покрытий используют балльную систему в виде чисел, которые проставляются после условного обозначения конкретного вида изменения и/или разрушения (дефекта).

Адгезионная прочность – совокупность сил, связывающих высохшее лакокрасочное покрытие с окрашиваемой поверхностью.

Используются разные способы определения адгезии в зависимости от того, является ли окрашиваемая поверхность деформируемой (например, тонкий металл), или жесткой (например, бетон).

Результатом испытания является усилие отрыва, необходимое для нарушения адгезии и/или когезии в испытываемом покрытии.

Высокая адгезия является условием образования высококачественного лакокрасочного покрытия.

Твердость пленки характеризует ее способность сопротивляться проникновению или вдавливанию твердого тела, а иногда и степень ее отверждения. Оценивается различными методами – с помощью специальных карандашей с твердостью от 9В до 9Н, методом царапин и др. Чаще всего выражается в условных единицах.

Эластичность – характеризует способность высохшего лакокрасочного покрытия следовать за деформацией подложки без отслаивания и растрескивания.

Устанавливается при изгибании ее на стержне определенного диаметра в различные сроки высыхания. Выражается в миллиметрах минимального диаметра металлического стержня, на котором окрашенная металлическая пластинка не вызывает механического разрушения или отслаивание лакокрасочной пленки.

Другими качественными характеристиками лакокрасочных покрытий являются:

- степень отверждения,
- прочность пленки (при изгибе, растяжении и ударе),
- светостойкость,
- водопоглощение,
- паропроницаемость,
- прогнозируемый срок службы и др.

21.4. Разновидности лакокрасочных материалов

Грунтовки (грунт) представляют собой лакокрасочные составы, образующие при нанесении на окрашиваемую поверхность первым слоем непрозрачное или прозрачное однородное покрытие с хорошей адгезией к поверхности и последующим окрашиваемым слоям и предназначенные для улучшения свойств лакокрасочной системы. Они пропитывают (модифицируют) поверхность окрашиваемого материала, делают ее более плотной и способствуют равномерному наложению и абсорбции (впитыванию) таких материалов как краска, штукатурка, шпатлевка, обойный клей и др.

Так же грунтовки могут выполнять и другие функции: защищать металл от коррозии, выявлять текстуру древесины, перекрывать поры и другие дефекты окрашиваемой поверхности, обладать антисептическими действиями.

По составу грунтовки включают в себя пленкообразующие вещества (смолы, масла и т. п.), небольшое количество пигментов, ускорители высыхания и другие добавки для придания поверхности тех или иных свойств.

Обычно грунтовки содержат пигмента 50...80% от массы связующего, в то время как в красках – 100...120% пигмента. Связующие в грунтовках, как правило, те же, что и у соответствующих красок, но грунтовки обладают меньшей вязкостью.

По назначению грунтовки подразделяются на антикоррозионные (для металлов), антисептические (по древесине), пропиточные или глубоко проникающие (для штукатурки, гипсокартона, под плитку), укрепляющие, уменьшающие впитывающую способность основания, протравные, фосфатирующие, изолирующие, специальные, для наружных (фасадную) и внутренних работ и др.

Различают также составы для первичной подготовки оснований – так называемые праймер-грунтовки, и для улучшения сцепления между отделочными слоями. При этом они могут быть как универсальными, так и под конкретные виды красок.

Грунтовкой может быть также и сама краска, разбавленная растворителем (самогрунтующаяся краска, грунт-эмаль).

Все грунтовочные составы подразделяют на водные (на основе клеев и минеральных вяжущих), масляные и синтетические.

Они могут быть в виде сухих смесей, требующих добавления воды или органических растворителей, или готовыми к употреблению.

Шпатлевки (от нем. spatel – шпатель, лопаточка) представляют собой пастообразный или жидкий лакокрасочный материал, который наносят на окрашиваемую поверхность перед окрашиванием для выравнивания незначительных неровностей и/или получения гладкой и ровной поверхности.

В состав шпатлевок входят пленкообразующее вещество, минеральные наполнители, пигменты, пластификаторы, растворители и другие целевые добавки.

От грунтовок и красок они отличаются большим содержанием сухого вещества (до 80% по массе) и высоким соотношением количества наполнителей и пигментов к пленкообразователю (обычно от 5:1 до 12:1).

Обязательным требованием, предъявляемым к шпатлевочным составам, являются высокая пластичность и отсутствие усадки или сильного расширения при высыхании. Они должны образовывать очень тонкий ровный слой, не содержащий посторонних включений, царапин и видимых дефектов.

Все современные шпатлевки подразделяют на сухие смеси, затворяемые водой, и готовые к применению пастообразные составы.

По назначению из них условно выделяют четыре группы:

- выравнивающие (груборельефные или шпатлевки первого слоя),
- финишные (шпатлевки второго слоя),
- универсальные,
- специализированные.

В зависимости от вида вяжущего различают шпатлевки:

- гипсовые,
- цементные,
- полимерные и др.

Лучшие современные сухие шпатлевки имеют весьма сложный многокомпонентный состав и изготавливаются на основе гипса или цемента и модифицирующих полимеров. Модификация минеральных вяжущих полимерами обеспечивает шпатлевкам высокую адгезию, эластичность, водостойкость, легкость обработки и долговечность.

В строительстве применяют также алкидно-стирольные, перхлорвиниловые, поливинилацетатные, эпоксидные и другие виды шпатлевок.

Лак – это лакокрасочный материал, образующий при нанесении на окрашиваемую поверхность прозрачное лакокрасочное покрытие (ГОСТ Р 52165).

Иногда лаки могут быть и непрозрачными (например, кузбасслак), либо содержать красители, матирующие и другие функциональные добавки.

В лаках в отличие от красочных составов, как правило, отсутствует пигментированная составляющая.

Кроме двух основных компонентов, лаки могут содержать еще различные добавки – пластификаторы, отвердители, сиккативы и другие вещества, улучшающие качество лакового покрытия.

В зависимости от характера отверждения различают лаки, образующие пленки в результате:

- испарения растворителя – спиртовые, нитроцеллюлозные и др.;
- химических реакций полимеризации и поликонденсации – полиэфирные, мочевиноформальдегидные и др.;
- совместного процесса испарения растворителя и химической реакции.

Названия лаков чаще всего соответствуют составу пленкообразователей (нитроцеллюлозные, масляные, полиэфирные) и реже – растворителей (спиртовые, водорастворимые). Однако из-за многокомпонентности составов названия эти достаточно условные.

Спиртовые лаки состоят из синтетических полимеров, растворенных в спирте или смеси спирта с другими летучими растворителями. Пленки спиртовых лаков образуются в результате испарения растворителя и могут быть снова растворены в нем. Спиртовые лаки (канифольные, шеллачные, канифольно-шеллачные, карбопильные и др.) находят применение в столярно-мебельном производстве.

Водорастворимые лаки (водно-дисперсионные, водоразбавляемые) в большинстве случаев представляют собой дисперсии, образуемые небольшими по размерам капельками (глобулами) пленкообразующего компонента (акрилового, акрил-полиуретанового, полиуретанового и др.), равномерно распределенного по объему воды. Органического растворителя в них может содержаться от 0 до 15%.

Для получения устойчивой не расслаивающейся эмульсии при ее изготовлении вводится эмульгатор. Эмульгатор представляет собой поверхностно-активное вещество, которое адсорбируется одной из жидкостей на поверхности раздела фаз, понижая ее поверхностное натяжение. В результате вокруг капелек дисперсной фазы образуется прочная оболочка, препятствующая укрупнению и слиянию глобул. В процессе испарения воды частички связующего сближаются и при наступлении контакта прилипают друг к другу, образуя пленку.

К положительным свойствам таких составов относится полное отсутствие или очень низкая концентрация паров растворителя в воздухе, т. е. экологичность. Кроме того, они экономичны, не горючи, имеют хорошую адгезию и образуют эластичную пленку.

Масляные лаки – растворы природных или синтетических полимеров (смола), модифицированных высыхающими маслами в растворителях с добавкой сиккативов. В зависимости от соотношения масла и смолы они подразделяются на жирные, средние и тощие. Пленки масляных лаков обладают высокой эластичностью, морозо- и водостойкостью. Однако из-за дефицитности масел и длительности высыхания имеют ограниченное применение. В основном используются для наружной и внутренней отделки по дереву (мебель, деревянные полы и др.).

Смоляные лаки – растворы некоторых синтетических полимеров (смола) в органических растворителях. В зависимости от пленкообразующего компонента, их подразделяют на нитроцеллюлозные, полиэфирные, полиуретановые, акриловые, поливинилхлоридные, перхлорвиниловые, мочевиноформальдегидные и др.

Нитроцеллюлозные лаки (нитролаки) представляют собой растворы нитроцеллюлозы (коллоксилина) совместно с пластификатором в летучих органических растворителях. Могут быть холодного и горячего нанесения. Нитролаковые покрытия быстро отвердевают (15...30 мин), однако наносить их следует тонкими слоями, поскольку затвердение в них происходит с поверхности и углубляется внутрь материала. К недостаткам таких покрытий относятся также низкая стойкость к химическому и механическому воздействию. Применяют их в основном для лакирования мебели и различных изделий из древесины внутри помещений.

Полиуретановые лаки отличаются исключительно высокими адгезионными свойствами. Их пленка эластична и обладает повышенной стойкостью к износу и воздействию бытовых щелочей и кислот, а также свето- и теплостойкостью. Эти лаки предназначаются в основном для высококачественной отделки мебели, к которой предъявляются повышенные требования к прочности и химической стойкости (столешницы, мебель для ванных комнат и кухонь, лестницы, перила).

Из всех производимых лаков большую часть в настоящее время используют для получения эмалевых красок и грунтовок (полуфабрикатный лак).

Красками в строительной практике чаще всего называют пигментированный лакокрасочный материал, образующий при нанесении на окрашиваемую поверхность непрозрачное лакокрасочное покрытие.

Различают краски:

- эмалевые,
- масляные,
- клеевые,
- минеральные,
- порошковые и др.

Эмалевые краски (эмали) – это жидкие или пастообразные пигментированные лаки. Содержание пигмента в эмалях – от 80 до 120% в зависимости от их укрывистости и назначения эмали.

Распространено мнение, что эмаль – это примерно то же, что и краска. Фактически между эмалью и лакокрасочными материалами нет ничего общего.

Эмаль представляет собой стекловидное образование, включающее в себя кварц, щелочные оксиды металлов, пигменты и другие составляющие.

После нанесения на основу указанные компоненты обрабатываются термическим способом, в результате чего создается очень прочный, устойчивый к износу защитный слой. В отличие от красок, которые наносятся на поверхность изделия, эмали наплавляются.

В качестве примера использования эмали можно привести эмалированную посуду, ванны с эмалевым покрытием, некоторые разновидности керамики и т.п.

Краска — более широкое понятие, чем эмалевый красящий состав.

Эмалевые краски характеризуются как пигментированные вещества, находящиеся в жидком или пастообразном состоянии, лакокрасочная среда которых представляет собой раствор плёнкообразующей материи в растворителях органического типа.

Эмалевая краска состоит из пяти основных компонентов:

- лак;
- растворитель либо уайт-спирит;
- наполнители;
- специальные добавки;
- цветовой пигмент.

После высыхания эмалевая краска создает на поверхности слой непрозрачного покрытия, которое может различаться по фактуре и цвету.

Характерной особенностью эмалевых покрытий является блестящая поверхность, напоминающая поверхность стеклоэмали.

Следовательно, краски по своей сути представляют намного более широкое понятие.

В зависимости от состава основных пленкообразующих веществ различают эмали масляные, феноломасляные, алкидные, алкидно-стирольные, эпоксидные, акриловые, полиуретановые, полиэфирные, нитроцеллюлозные, перхлорвиниловые и др.

Клеевые краски представляют собой суспензии пигментов (минеральных или органических), наполнителей (мел) и различного рода добавок в водных растворах пленкообразователей.

В качестве пленкообразователей используют клеи животного (белковый, казеиновый, глютиновый), растительного (декстрин) и синтетического (поливинилацетатный) происхождения.

Добавками служат стабилизаторы, загустители, диспергаторы, гидрофобизаторы и др.

Готовят такие составы непосредственно перед нанесением на окрашиваемую поверхность.

После нанесения на окрашиваемую поверхность и высыхания образуются пористые, как правило, неводостойкие и не прочные, но с достаточно хорошими декоративными свойствами покрытия.

Применяются клеевые краски в основном для отделки внутренних помещений.

Силикатные краски тоже входят в группу водоразбавляемых составов, но минерального происхождения.

Получают их на основе жидкого калийного (растворимого) стекла, содержащего улучшающие органические добавки и пигменты. Выпускаются одно- и двухупаковочными. Незначительное количество полимера (до 5%) обеспечивает им стойкость при хранении и возможность применения в одноупаковочном варианте.

Они хорошо сцепляются практически с любой поверхностью, образуя прочные физико-химические связи, стойкие к любым атмосферным явлениям.

Силикатные краски обладают высокой воздуха- и паропроницаемостью, однако имеют низкие гидрофобные показатели и высокое водопоглощение. Они применяются исключительно для окраски минеральных поверхностей, и своей популярностью во многом обязаны реставраторам, широко применяющим их для ремонта исторических зданий. Срок службы силикатных покрытий, как правило, до 12 лет.

Водно-дисперсионные краски представляют собой сложную композицию, в которой водонерастворимое пленкообразующее вещество и пигмент диспергированы в водной среде, образуя устойчивую суспензию, т. е. это пигментированные эмульсии полимера в воде.

Вода не растворяет, а разбавляет находящиеся в таких красках компоненты. В основном это краски акрилового типа, силикатного и силиконового.

В состав водно-дисперсионных красок входят также диспергаторы, эмульгаторы, пластификаторы, стабилизаторы, загустители и при необходимости другие вещества, улучшающие свойства красок.

Эмульгаторы покрывают тонкой пленкой частички полимера и препятствуют их коагуляции (слипанию).

Водно-дисперсионными красками допускается окрашивать непросохшие влажные поверхности. Однако при замерзании они теряют свои качественные характеристики, хранить их следует в отапливаемых помещениях.

Масляные краски представляют собой суспензии неорганических пигментов и наполнителей в олифах различных марок или маслосодержащих алкидных смолах.

Изначально такие краски готовили на натуральной (высыхающей) олифе, которую получали из льняного или конопляного масла, и качество их было достаточно

высоким. В настоящее время используются оксидированные и искусственные (синтетические) олифы с использованием летучих растворителей или смеси различных масел.

Масляные краски применяют для внутренней и наружной окраски по металлу, дереву и просохшей штукатурке.

Наряду с целым рядом положительных качеств, такие составы имеют и существенные недостатки: длительное время отверждения (1...4 сут.), слабая адгезия, низкая твердость и атмосферостойкость пленки.

В настоящее время выпуск большинства масляных ЛКМ резко сократился. Применяют их по-прежнему в качестве художественных красок.

Акриловые краски получают на основе акриловых связующих, которые придают красочному составу хорошую укрывистость и высокую адгезию к металлам и внутри слоев.

В зависимости от составляющих они могут применяться как для внутренних, так и наружных покрытий.

Акриловые краски просты в применении, прекрасно колеруются с получением до 15000 различных цветов и оттенков и быстро высыхают. Покрытия паропроницаемы, эластичны, стойкие к удару, хорошо сохраняют свой цвет и выдерживают интенсивное ультрафиолетовое облучение. Они долговечны и стойки к мытью.

К недостаткам следует отнести длительный период полного высыхания и возможную токсичность компонентов.

Средний срок их эксплуатации в зависимости от производителя составляет 10...20 лет.

Кремнийорганические (силиконовые) краски получают на основе кремнийорганических соединений.

Покрытия отличаются высокими декоративными и эксплуатационными свойствами, хорошей атмосферо- и влагостойкостью, стойкостью к действию растворов неорганических кислот, разбавленных растворов щелочей, солей металлов, аммиака, фенолов.

Они подходят практически для всех видов минеральных поверхностей, хорошо совместимы как с минеральными, так и с синтетическими красками.

Особенно актуально их применение по штукатурке, поскольку силиконовые покрытия пропускают углекислый газ, необходимый для процессов карбонизации и твердения штукатурного состава.

Недостатками таких покрытий являются хрупкость, слабая адгезия и недостаточная стойкость к действию минеральных масел и углеводородных растворителей.

Срок эксплуатации таких покрытий до 15 лет.

Полиуретановые ЛКМ могут быть одно- и двухкомпонентными.

Согласно международной классификации, их подразделяют на группы:

- двухкомпонентные составы, отверждающиеся при обычной и повышенной температуре;
- отверждающиеся при обычной температуре влагой воздуха;
- отверждающиеся при горячей сушке (100...150°C);
- полиуретаны физической сушки (водные дисперсии);
- на основе модифицированных полиуретанов – уралкиды окислительной сушки.

При этом они могут быть органо-разбавляемые (лаки и эмали), на водной основе с высоким сухим остатком, порошковые и радиационной сушки.

Покрытия на основе полиуретановых красочных составов отличаются высокой долговечностью, износостойкостью, эластичностью (устойчивостью к деформационным нагрузкам), водо- и химической стойкостью к агрессивным газам, кислотам, щелочам, растворителям, нефти и т.д. Из недостатков можно отметить двухкомпонентность, токсичность и сравнительно высокую стоимость.

Эпоксидные краски могут быть с органическим и без органического растворителя, водоразбавляемые, одно- и двухкомпонентные, горячего и холодного отверждения. В качестве отвердителя применяются полиамины или их производные.

Эпоксидные покрытия обладают высокой твердостью и эластичностью, абразивной и химической стойкостью и адгезией к разным подложкам.

Недостатком таких покрытий является пониженная атмосферостойкость.

Порошковые краски отличаются от «традиционных» жидких и пастообразных составов полным отсутствием органического растворителя.

В их состав входят мелкодисперсные пленкообразователи, отвердители, наполнители, пигменты и целевые добавки (стабилизаторы, пластификаторы, поверхностно-активные вещества).

Следовательно, функцию пленкообразующего вещества в данном случае выполняют твердые частицы в воздушной дисперсионной среде.

Основными качественными характеристиками порошковых красок являются дисперсионный состав, сыпучесть, гигроскопичность, насыпная плотность, склонность к псевдооживлению и др.

Наносят порошковые составы на окрашиваемую поверхность методом электростатического или трибостатического напыления (получение заряда путем трения частиц краски друг о друга) с последующей термообработкой при температуре 160...200°C.

Полученные покрытия отличаются высокой адгезией, абразивной и коррозионной стойкостью (к действию растворов неорганических кислот, щелочей, солей

металлов, аммиака, фенолов), долговечностью и минимальным влиянием на окружающую среду.

Применяются для покрытия изделий различного назначения, в т. ч. кровельных изделий, алюминиевых профилей, архитектурных элементов и т. п.

Фактурные (структурные, текстурные) краски предназначены для создания защитно-декоративных покрытий с рельефной фактурой по бетонным, кирпичным, оштукатуренным, зашпатлеванным и другим поверхностям и больше напоминают фактурные штукатурки.

Производят их, как правило, на основе водно-дисперсионных составов с повышенным содержанием специальных вкраплений, наполнителей (древесные опилки, кварцевый песок и др.). При этом используют различные технологические приемы нанесения (валики с длинным ворсом, зубчатый шпатель, гибка и др.).

Выпускаются также специальные виды лакокрасочных материалов для предотвращения коррозии поверхностей, повышения огнеупорности, биологической и химической стойкости и др.

21.5. Обозначение лакокрасочных составов

Общепринятой международной системы обозначения лакокрасочных материалов (маркировки) не разработано.

Информация для потребителей по хранению, перевозке и применению предоставляется, как правило, в виде предупредительной маркировки, инструкции по безопасному использованию или паспорта безопасности.

Маркировка может наноситься на упаковку в виде текста, символов или пиктограмм (рисунок 21.3).

На постсоветском пространстве, в том числе и в отечественном производстве принято буквенно-цифровое обозначение ЛКМ (ГОСТ 9980.4).

Состоит оно из нескольких групп знаков и закодировано, как правило, на этикетках упаковок.



Рис. 21.3 Пиктограммы на упаковке ЛКМ: 1 - горячая жидкость;
 6 - нанесение кистью; 12 - для наружных работ; 14 - для внутренних работ;
 20 - опасные испарения; 21 - не применять открытое пламя, не курить;
 22 - беречь от детей; 23 - сжигание воспрещается; 28 - время высыхания (24 ч)

Первая группа – это вид лакокрасочного материала (лак, эмаль, краска, шпатлевка, грунтовка). Исключение составляют масляные краски на одном пигменте. Вместо слова «краска» они обозначаются по названию пигмента. Например, сурик, охра, умбра (сурик МА-15).

Во второй группе знаков кодируется состав пленкообразующего вещества, указывающий на его химическую основу. Всего кодируется 48 пленкообразователей.

Для краткости из названия оставляются всего две буквы. Например, МА – растительные масла (масляная), НЦ – нитроцеллюлоза, КО – кремнийорганические смолы и др.

Между первой и второй группой знаков возможно буквенное уточнение отдельных свойств ЛКМ (дополнительный буквенный индекс): Б – без летучего растворителя; В – водоразбавляемые; ВД – водно-дисперсионные; ОД – органо-дисперсионные; П – порошковые и др.

Далее (в третьей группе знаков) первыми цифрами кодируется преимущественное назначение и условия эксплуатации ЛКМ: 0 – грунтовки и полуфабрикатные лаки; 00 – шпатлевки; 1 – атмосферостойкие; 2 – ограниченно атмосферостойкие; 3 – защитные (консервационные) и т. д. Между второй и третьей группой знаков ставится дефис.

Для масляных густотертых красок перед третьей группой знаков ставится один ноль.

Вторая и последующие цифры в третьей группе знаков, которые присоединяются к первой цифре или нулям без разделительного знака, для всех ЛКМ кроме масляных красок обозначают номер разработки и практической информации не несут. И лишь для масляной краски вторая цифра обозначает вид олифы.

После порядкового номера возможно тоже буквенное уточнение специфических свойств ЛКМ: М – матовый, ПМ – полуматовый, Н – с наполнителем и др.

Далее для пигментированных материалов полным словом указывается цвет лакокрасочного состава.

Лакокрасочные материалы, выпускаемые зарубежными производителями, не обозначаются по такой схеме, а чаще всего имеют собственное название, которое в большинстве случаев не указывает на природу их происхождения и преимущественное назначение.

Информация по конкретному виду материала чаще всего приводится в каталоге производителей либо в виде пиктограмм на возможные технологические действия:

- экологическую направленность;
- область применения;
- степень блеска;
- тип, расход и способ нанесения краски;
- время высыхания;
- предварительную подготовку поверхности;
- условия покраски и др.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1	515
ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	515
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2	534
ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	534
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	559
ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	559
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	581
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ	581
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	613
СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	613
(КЕРАМИЧЕСКИЙ И СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ)	613
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	637
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ	637
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	655
ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА	655
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	684
ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ	684
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9	699
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	699
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10	740
МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ	740
И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ	740
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11	759
КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА	759
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12	779
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	779
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ	779
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13	803
ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	803
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14	822
КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР	822
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15	843
ИСПЫТАНИЕ ВЯЗКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА	843
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16	860
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ТИМ)	860
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17	870
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	870

Лабораторная работа №1

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению физических свойств.
2. Научиться определять основные физические свойства строительных материалов.
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к физическим?
3. Что такое структура материала? Виды структур строительных материалов.
4. Какие физические свойства относятся к структурным?
5. Какие физические свойства зависят от структуры материала?
6. Какие свойства материала относятся к гидрофизическим?
7. Какие свойства материала относятся к теплофизическим?

Структурно-физические свойства

Задание 1. Определение истинной плотности

Истинная плотность или плотность вещества (абсолютная плотность) – масса единицы объёма материала в абсолютно плотном состоянии. Это значит, что при измерении объёма в него не входят поры, пустоты, трещины и другие полости, присущие материалу в естественном состоянии.

$$\rho_u = \frac{m}{V_{абс}} \quad (1)$$

где ρ_u – истинная плотность, г/см³; m – масса вещества, г; $V_{абс}$ – абсолютный объём, см³.

Следовательно, истинная плотность – это характеристика не материала, а вещества, из которого состоит материал. Истинная плотность – характеристика постоянная (физическая константа), которая не может быть изменена без изменения его химико-минералогического состава или молекулярной структуры. Для большинства

строительных материалов значение истинной плотности более 1 г/см^3 . Например, для природных и искусственных каменных материалов – $2,2 \dots 3,3 \text{ г/см}^3$; для органических (дерево, битум, пластмассы) – $0,8 \dots 1,6 \text{ г/см}^3$; чёрных металлов – более $7,0 \text{ г/см}^3$. Для жидкостей и материалов, полученных из расплавленных масс (металл, стекло, некоторые горные породы: гранит, базальт и др.), истинная плотность практически соответствует их плотности в естественном состоянии, так как объём внутренних пор у них незначителен. Для строительных материалов истинная плотность имеет вспомогательное значение. Её используют при вычислении показателей плотности и пористости материалов, в расчётах состава бетона и т.п.

В таблице 1 приведены значения истинной плотности некоторых строительных материалов.

Таблица 1. Истинная плотность строительных материалов

Материал	Истинная плотность, г/см^3
Сталь	7,85...7,90
Цемент	3,05...3,15
Гранит	2,70...2,80
Мрамор	2,70...2,73
Керамзит	2,65...2,84
Кирпич керамический	2,65...2,84
Кирпич силикатный	2,60...2,70
Бетон тяжёлый	2,60...2,90
Бетон ячеистый	2,50...2,60
Щебень	2,60...2,70
Песок	2,50...2,60
Гравий	2,50...2,60
Пеностекло, стекло	2,50
Древесина сосны	1,54
Пенополистирол	1,00...1,20

Чтобы определить *истинную плотность* необходимо высушить и измельчить пробу материала. Чем больше степень измельчения, тем плотнее расположены частицы в объёме и тем *меньше ошибка* эксперимента.

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью взвешивания 0,01 г.
2. Прибор Ле Шателье (объёмомер).
3. Шкаф сушильный.
4. Стаканчик для взвешивания.
5. Эксикатор.
6. Дистиллированная вода или керосин.
7. Навески измельченных материалов (кирпича керамического, кирпича силикатного, гранита, песка кварцевого, цемента).

Методика испытаний

Подготавливают пробу измельченного материала массой 150...200 г, всыпают в бюкс (рис. 1) для взвешивания, высушивают до постоянной массы, охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над концентрированной серной кислотой. Затем отвешивают с точностью до 0,01 г две навески массой по 50 г каждая.

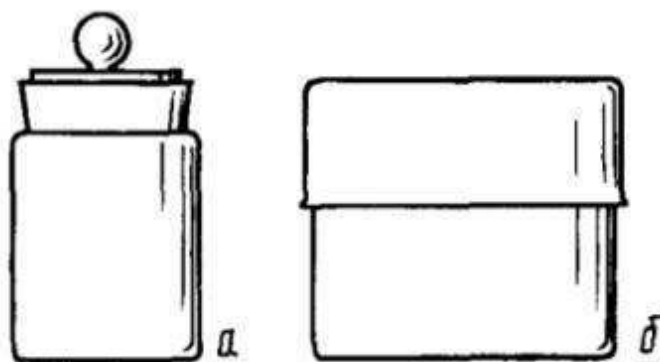


Рис. 1. Бюксы с внутренним (а) и наружным (б) шлифом

Определение истинной плотности проводят в следующей последовательности.

Прибор Ле Шателье (объёмомер) (рис. 2) заполняют водой до нижней отметки, при этом уровень воды определяют по нижнему мениску. Объёмомер представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120...150 см³ с узким высоким горлом и расширением в средней ее части. На горле колбы ниже уширения нанесены метки, а выше – шкала с делениями ценой 0,1 см³. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтрованной бумаги.

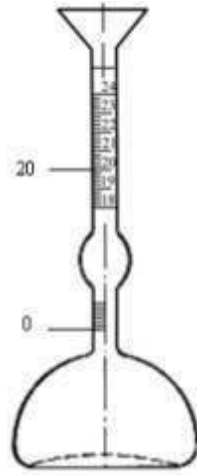


Рис. 2. Прибор Ле Шателье

Навеску порошка через воронку прибора ложечкой всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до риски с делением 20 см³ или с другим делением в пределах верхней градуировочной шкалы прибора. Прибор рекомендуется слегка встряхнуть для удаления пузырьков воздуха, попавшего вместе с порошком.

Остаток порошка с бюксом взвешивают.

Истинную плотность ρ_u вычисляют по формуле:

$$\rho_u = \frac{m - m_1}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (2)$$

где m – масса высушенной навески порошка, г; m_1 – масса остатка порошка после высыпания, г; V – объем воды, вытесненной порошком, см³.

Результаты испытаний заносят в табл. 2 и сравнивают полученные опытные данные со справочными, приведенными в табл. 1.

Таблица 2. Результаты определения истинной плотности

Определения	Кирпич керамический	Кирпич силикатный	Гранит	Песок кварце- вый
Масса навески порошка m , г				
Масса остатка порошка m_1 , г				
Масса порошка в объёмомере $m - m_1$, г				
Объем порошка V , см ³				
Истинная плотность, ρ_u , г/см ³				
Истинная плотность ρ_u , кг/см ³				

Определение истинной плотности цемента

По ГОСТ 30744-2001 истинную плотность цемента определяют, используя прибор Ле Шателье и керосин, как жидкость, инертную по отношению к цементу. Прибор Ле Шателье наполняют обезвоженным керосином до нулевой черты по нижнему мениску. После этого свободную от керосина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Навеску цемента массой 65 г высыплют в прибор Ле Шателье ложечкой через воронку небольшими равномерными порциями. Для удаления пузырьков воздуха прибор поворачивают в наклонном положении в течение 10 мин на гладком резиновом коврике. Затем проводят отсчет уровня жидкости по нижнему мениску в верхней градуированной части прибора.

Плотность цемента $\rho_{ц}$ вычисляют по формуле:

$$\rho_{ц} = \frac{m_{ц}}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (3)$$

где $m_{ц}$ – масса навески цемента, г; V – объем керосина, вытесненного цементом, см³.

За плотность цемента принимают среднеарифметическое значение результатов двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³. Результат вычисления округляют до 0,01 г/см³.

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 2. Определение средней плотности

Средняя плотность (плотность материала) – масса единицы объёма материала в естественном состоянии, т. е. объём материала измеряется вместе с имеющимися в нем порами и пустотами. Рассчитывается средняя плотность ρ_c путем деления массы образца m на его объем V_e в естественном состоянии.

$$\rho_c = \frac{m}{V_e}, \text{ г/см}^3 \quad (4)$$

При определении средней плотности объём материала устанавливают по внешним размерам образца или по объёму вытесненной им жидкости, если испытываемый образец имеет неправильную форму. Средняя плотность материалов зависит от их вида и структуры и может изменяться в достаточно широких пределах: от 0,1 г/см³ (для отдельных видов пенопластов) до 7,850 г/см³ (сталь) и более.

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью измерения 1 г и 0,01 г.
2. Линейки измерительные или штангенциркуль.
3. Объемомер.
4. Образцы материалов.

Методика испытаний

Образцы материала, предварительно высушенные до постоянной массы, взвешивают на технических весах с точностью до 0,1 г (при массе до 500 г) и с точностью до 1 г (при массе более 500 г).

Геометрические размеры образцов *правильной формы* замеряют штангенциркулем с точностью 0,1 мм, если величина замера не превышает 100 мм, и точностью 1 мм, если величина замера свыше 100 мм. По этим линейным размерам вычисляют объем образцов в естественном состоянии.

Объем образцов *неправильной формы* определяют с помощью объемомера по объему (массе) жидкости, вытесненной погруженным в объемомер образцом (рис. 3). Рабочая жидкость (вода, бензин, керосин, спирт) не должна взаимодействовать с образцом.

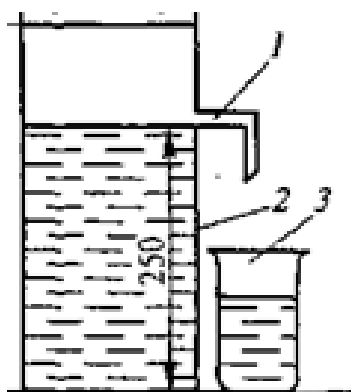


Рис 3. Объемомер: 1 – сливная трубка, 2 – цилиндр, 3 - стакан

Следует создать такие условия, при которых жидкость вытесняется всем объемом образца и исключается возможность ее поглощения порами материала. Это обеспечивается двумя способами:

- поверхность образца покрывают слоем парафина, препятствующим проникновению жидкости внутрь образца в момент проведения испытания;
- образец предварительно (в течение 48 часов) насыщают жидкостью, чтобы во время опыта поглощение образцом жидкости почти не наблюдалось.

Результат испытаний

Результаты определения заносят в таблицу 3.

Таблица 3. Результаты определения средней плотности

Показатели	Пено-стекло	Древесина	Кирпич керамический	Кирпич силикатный	Гранит
Масса сухого образца m , г					
Объем образца V_e , см ³					
Средняя плотность ρ_c , г/см ³					
Средняя плотность ρ_c , кг/м ³					

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 3. Определение пористости строительных материалов

Для оценки влияния структуры на свойства материала применяют понятие пористости. У подавляющего большинства строительных материалов значение средней плотности всегда меньше истинной, так как на одну и ту же единицу массы приходится больший объем. Например, у кирпича средняя плотность 1800 кг/м³, а истинная плотность 2600 кг/м³ (в 1,5 раза меньше), у древесины (сосна) соответственно 450 кг/м³ и 1540 кг/м³ (в 3 раза меньше), у гранита – $\rho_c = 2500...2700$ кг/м³ и $\rho_u = 2700...3000$ кг/м³ (почти одинакова).

Чем больше разница между средней и истинной плотностью, тем больше пористость. Если у кирпича пористость составляет 30%, то у газобетона – 80%, при истинной плотности 2600 кг/м³ и средней – 520 кг/м³.

Под **пористостью** материала понимают степень заполнения его объема порами. Пористость строительных материалов колеблется в довольно широких пределах – от 0% до 90% и более. Например, для стекла и металла пористость составляет практически 0%, пенопластов – 92...98%, кирпича полнотелого – 30...35%, пенобетона – 60...80%, минеральной ваты – до 95%, древесины – 50...75%.

По показателям пористости различают:

- низкопористые ($\Pi \leq 30\%$),
- среднепористые ($\Pi = 30 \dots 50\%$) и
- высокопористые ($\Pi > 50\%$) материалы.

Большое влияние на свойства материала оказывает не только общая величина пористости, но и геометрическая и структурная характеристики пор. Поры в материалах могут быть крупные и мелкие; открытые, закрытые и сообщающиеся; в виде ячеек и капилляров и др. Они могут быть заполнены воздухом, во влажном состоянии – водой, при отрицательных температурах – льдом. С теплозащитной точки зрения лучше поры мелкие, замкнутые и равномерно распределённые по всему объёму материала. Пористость и плотность являются важными характеристиками строительных материалов. С ними связаны такие свойства как водопоглощение, теплопроводность, влажность, водопроницаемость, морозостойкость, прочность и др.

В таблице 4 приведены значения средней и истинной плотности некоторых строительных материалов.

Существует ряд методов определения пористости и структуры порового пространства. Для определения микропор используют метод электронной микроскопии, макропор – метод ртутной порометрии.

В общем виде пористость материала – это отношение объема пор в нем $V_{пор}$ к объёму материала в естественном состоянии $V_{ест}$, выраженное в процентах. Объем, который занимают поры в материале, можно выразить как разность между объемом материала $V_{ест}$ и объемом вещества V_v , тогда пористость Π будет выражена формулой:

$$\Pi = \frac{V_{ест} - V_v}{V_{ест}} \times 100, \% \quad (5)$$

Так как

$$V_{ест} = \frac{m}{\rho_c} \quad \text{и} \quad V_v = \frac{m}{\rho_u},$$

то, подставляя значения $V_{ест}$ и V_v формулу (5), после преобразования получим *расчетную* формулу для определения пористости материала:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_u} \right) \times 100, \% \quad (6)$$

Пористость рассчитывают, используя данные заданий 1 и 2, а также, используя справочные данные, приведенные в таблице 4 и приложении 1.

Таблица 4. Средняя и истинная плотность строительных материалов

Наименование материала	Плотность средняя ρ_c , кг/м ³	Плотность истинная ρ_u , кг/м ³
Древесина (сосна)	400...500	1530
Стекло оконное листовое	2550	2550
Пеностекло (ячеистое стекло)	150...500	2550
Бетон ячеистый	500	2580
Бетон цементный тяжелый	2200...2400	2600
Кирпич силикатный	1800...2000	2600
Кирпич керамический	1600...1900	2600...2840
Кирпич керамический поризованный	900...1200	2600...2840
Гранит	2500...2900	2700...3000
Сталь	7850	7850
Алюминий	2600	2600
Песок кварцевый $\rho_{нас}=1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2500...2600
Цемент $\rho_{нас}=1100...1200$ кг/м ³	3000...3100	3000...3100

Коэффициент плотности показывает степень заполнения объема материала твердым веществом:

$$K_{пл} = \frac{\rho_c}{\rho_u} \quad (7)$$

Результаты испытаний

Результаты расчетов сводят в таблицу 5.

Заключение

Сделать анализ результатов, полученных при расчетах.

Таблица 5. Результаты вычисления пористости

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Пористость <i>П</i> , %
	средняя ρ_c	истинная $\rho_{и}$	
Кирпич керамический			
Кирпич силикатный			
Гранит			
Древесина (сосна)			
Пенополистирол			
Пеностекло			
Сталь			

Задание 4. Определение насыпной плотности и пустотности

Сыпучие рыхлые материалы (щебень, гравий, песок, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью ρ_n и межзерновой пустотностью $V_{пуст.}$

Насыпная плотность – отношение массы рыхло насыпанных зернистых и порошкообразных материалов ко всему занимаемому ими объёму, включая поры в зёрнах и пустоты между ними (межзерновую пустотность). Определяется в стандартных мерных сосудах, выбор объёма которых зависит от вида и величины зёрен (размера фракции) сыпучего материала (рис. 4) и устанавливается требованиями нормативных документов.



Рис. 4. Мерные сосуды емкостью 10, 5, 2 и 1 литр для определения насыпной плотности заполнителей

Насыпная плотность сыпучих материалов – величина непостоянная и зависит не только от пористости самих зёрен и межзерновой пустотности, но и от степени их уплотнения. В уплотнённом состоянии насыпная плотность таких материалов всегда больше, чем в рыхло насыпном.

Насыпную плотность ρ_n вычисляют как частное от деления массы рыхло насыпного материала m на объем V_n , занятый материалами в неуплотненном состоянии, по формуле:

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}, \text{ кг/м}^3 \quad (8)$$

Межзерновая пустотность $V_{пуст}$ – это объем пустот и открытых пор в объеме сыпучего материала, выраженный в процентах.

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z}\right) \times 100, \% \quad (9)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³; ρ_z – плотность зерен сыпучего материала, кг/м³.

Плотность зёрен – отношение массы пробы сухого сыпучего материала к суммарному объёму его зёрен, т. е. без объёма межзерновых пустот, но с учётом пор, содержащихся в зёрнах.

Приборы и материалы

1. Стандартная воронка для песка (рис. 5).
2. Мерные цилиндрические сосуды вместимостью 1 и 5 л.
3. Весы настольные лабораторные.
4. Шкаф сушильный.
5. Песок кварцевый; щебень гранитный; гравий природный; гравий керамзитовый (фракции 5-10 мм).

Методика испытаний

Насыпную плотность сыпучих материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 5 л. За объем материала принимают вместимость сосуда, т.е. в измеряемый объем входят пустоты между частицами материала.

Для мелкозернистых материалов (с размером зерен не менее 5 мм) используют мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л. Мерный цилиндр предварительно взвешивают и насыпают в него с помощью стандартной воронки (рис. 5) кварцевый песок.



Рис. 5. Стандартная воронка и мерный цилиндр

Стандартная воронка представляет собой металлический усеченный конус, который заканчивается задвижкой. Под конус устанавливают заранее взвешенный мерный сосуд объемом 1 л. В воронку насыпают сухой песок, открывают задвижку, заполняют сосуд с *избытком*, а затем металлической линейкой, держа ее наклонно и прижимая к краям сосуда, срезают излишек материала, имеющего форму конуса.

При этом следует соблюдать условие, чтобы сосуд был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, а, следовательно, увеличится его плотность.

Крупнозернистый материал (щебень, гравий) насыпают с избытком в предварительно взвешенный сосуд вместимостью 5 л (для фракции щебня от 5 до 10 мм) с высоты 10 см от края сосуда без последующего уплотнения. Образовавшийся над верхом сосуда излишек снимают стальной линейкой вровень с краями сосуда движением к себе, от себя или влево и вправо. Наполненный сосуд взвешивают с точностью до 1 г.

Насыпную плотность песка или щебня ρ_n , кг/м³, вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V} \quad (10)$$

где m – масса пустого мерного сосуда, кг; m_1 – масса заполненного мерного сосуда, кг; V – вместимость мерного сосуда, м³

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию сыпучего материала. За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 6. и вычисляют межзерновую пустотность испытанных материалов. Плотность зерен кварцевого песка соответствует его истинной плотности (из задания 1), т. к. в зернах кварца нет пор.

Пример расчета. Вычислить пористость гранита и межзерновую пустотность гранитного щебня. Истинная плотность гранита 2800 кг/м^3 , средняя плотность зерен 2530 кг/м^3 , насыпная плотность гранитного щебня – 1400 кг/м^3 .

По формуле (6) пористость гранита:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_z}{\rho_u}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{2530}{2800}\right) \times 100 = 9,6\%$$

По формуле (9) межзерновая пустотность гранитного щебня:

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_z}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{1400}{2530}\right) \times 100 = 44,7\%$$

Таблица 6. Результаты определения насыпной плотности и межзерновой пустотности

Наименование определений	Песок кварцевый	Щебень гранитный	Гравий природный	Керамзитовый гравий
Масса мерного сосуда m , кг				
Объём мерного сосуда V , м ³				
Масса сосуда с материалами m_1 , кг				
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³				
Плотность зерен ρ_z , кг/м ³		2530	2500	660
Межзерновая пустотность $V_{\text{пуст}}$, %				

Заключение

Сравнить между собой различные материалы по насыпной плотности и межзерновой пустотности.

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Задание 5. Определение влажности

Строительные материалы в эксплуатационных условиях или при хранении могут поглощать влагу. При этом их свойства (теплопроводность (λ), средняя плотность (ρ_c), прочность (R), водо- и морозостойкость (F)) существенно изменяются.

Влажность – это содержание влаги в материале в естественно-влажностном состоянии, отнесенное к массе материала в сухом состоянии, выраженное в процентах. Влажность W определяют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100, \% \quad (11)$$

где m_1 – масса материала в естественно-влажностном состоянии, г; m_2 – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Многие пористые материалы гигроскопичны, т.е. способны поглощать влагу из окружающего воздуха и конденсировать в микрокапиллярах. Процесс гигроскопичного увлажнения является обратимым. Гигроскопичная влажность зависит от относительной влажности воздуха, удельной поверхности материала, химико-минералогического состава материала.

Зависимость насыпной плотности песка от его влажности показана на графике (рис. 6). Насыпная плотность сухого песка в зависимости от его минералогического состава составляет 1500...1700 кг/м³. С увеличением влажности до 6...7% насыпная плотность песка уменьшается до 1250...1350 кг/м³. Объясняется это тем, что при увлажнении песок комкуется (зерна слипаются в отдельные агрегаты, комки), образуется рыхлая структура, увеличивается межзерновая пустотность, соответственно увеличивается и объём.

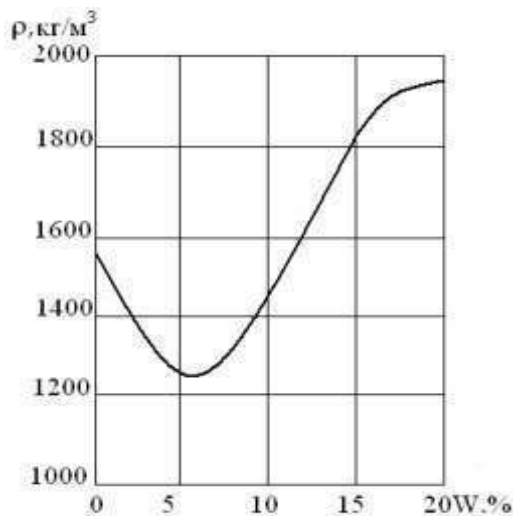


Рис. 6. Зависимость насыпной плотности песка от его влажности

При влажности песка 3...5% его объём увеличивается на 20...30%. Наибольшее разрыхление песка происходит при влажности 6...7%. При дальнейшем увлажнении песка вода попадает в пустоты между зёрнами, воздух вытесняется, и при неизменном объёме песка его масса увеличивается, а, следовательно, увеличивается и насыпная плотность. Изменения насыпной плотности песка с изменением влажности необходимо учитывать при дозировке составляющих бетона по объёму.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Противень.
4. Песок кварцевый влажный (3 пробы массой 2 кг с влажностью от 5% до 20%).

Методика испытаний

В лаборатории предварительно подготавливают три пробы песка с разной влажностью (от 5 до 20%). Для каждой пробы определяют насыпную плотность песка по методике из задания 3. Затем приступают к определению влажности песка.

Берут навеску влажного песка массой 1000 г, насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы и снова взвешивают.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в таблицу 7.

Таблица 7. Определение влажности и насыпной плотности песка

Наименование определений	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Масса пустого цилиндра, кг			
Масса цилиндра с песком, кг			
Объём цилиндра, м ³			
Насыпная плотность влажного песка, кг/м ³			
Масса песка до высушивания m_1 , кг			
Масса песка после высушивания m_2 , кг			
Влажность песка W , %			

Заключение

Сравнить насыпную плотность песка с разной влажностью.

Задание 6. Определение водопоглощения по массе и по объёму.

Расчет закрытой пористости материала и коэффициента насыщения

Водопоглощение – способность материала впитывать и удерживать в порах (пустотах) влагу при непосредственном контакте с водой. Характеризуется количеством воды, которое поглощает сухой материал при полном погружении и выдерживании в воде заданный промежуток времени, отнесённым к массе сухого материала (водопоглощение по массе B_M) или к объёму материала в сухом состоянии (водопоглощение по объёму B_V). Водопоглощение по массе и по объёму выражают относительным числом или в процентах и вычисляют по формулам:

$$B_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} \times 100, \% \quad (12)$$

$$B_V = \frac{m_n - m_c}{\rho_{\text{воды}} \cdot V} \times 100, \% \quad (13)$$

где m_n – масса образца, насыщенного водой, г; m_c – масса сухого образца, г; $\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, г/см³; V – объём образца в сухом состоянии, см³.

Водопоглощение по массе показывает степень увеличения массы материала (за счёт поглощённой воды), а водопоглощение по объёму – степень заполнения объёма материала водой. Водопоглощение по массе и по объёму характеризует собой предельное состояние, когда материал больше не в состоянии поглощать влагу.

Отношение между водопоглощением по объёму и по массе численно равно средней плотности материала, т. е. разделив почленно B_V на B_M (выраженное в долях единицы), получаем формулу для перехода от одного вида водопоглощения к другому:

$$B_V = B_M \times \rho_c \quad (14)$$

где ρ_c – средняя плотность материала, г/см³;

Водопоглощение различных материалов колеблется в широких пределах. Например, водопоглощение по массе B_M ситаллов и шлакоситаллов составляет 0%, керамогранита не превышает 0,05%, натурального гранита – 0,02...0,5%, тяжёлого бетона – 3...8%, керамического кирпича – 8...20%, а пористых теплоизоляционных материалов может превышать 100%. Водопоглощение плотных материалов (сталь, стекло, битум) равно нулю.

Водопоглощение по объёму B_V является косвенной характеристикой открытой пористости, и поэтому иногда называют кажущейся пористостью. Однако пористость материалов по абсолютному значению всегда выше водопоглощения по объёму, т. к. в обычных условиях водой заполняются только открытые (и то не все)

поры, а стенки крупных пор только смачиваются водой. Поэтому водопоглощение по объёму всегда меньше пористости и меньше 100%.

Степень заполнения объёма пор водой характеризуется коэффициентом насыщения $K_{нас}$, т. е. отношением водопоглощения по объёму B_V к пористости материала Π :

$$K_{нас} = \frac{B_V}{\Pi} \quad (15)$$

Если учесть, что водопоглощение по объёму B_V всегда меньше пористости Π , то всегда $K_{нас} < 1,0$.

Закрытая пористость определяется как разность между общей пористостью Π и водопоглощением по объёму B_V :

$$\Pi_3 = \Pi - B_V \quad (16)$$

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на их основные свойства:

– **увеличиваются** плотность материала, его теплопроводность, линейные размеры и объём;

– **снижаются** прочность, водостойкость, морозостойкость.

По величине коэффициента насыщения $K_{нас}$ можно косвенно оценить морозостойкость материала. Чем меньше значение коэффициента насыщения, тем выше его морозостойкость. Материалы считаются морозостойкими при $K_{нас} < 0,8$.

Приборы и материалы

1. Весы настольные лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Сосуд для насыщения образцов водой.
4. Щетка металлическая.
5. Образцы в насыщенном водой состоянии (кирпич керамический, кирпич силикатный, бетон тяжелый, бетон легкий, металлическая пластина, пеностекло и др.).

Методика испытаний

Образцы высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105...110°C и записывают их массу и объём. После охлаждения образцов до комнатной температуры их погружают в сосуд с водой комнатной температуры так, чтобы над ними был слой воды не менее 2 см и не более 10 см, и выдерживают в течение 48 часов. После насыщения водой образцы вынимают из воды, обтирают влажной мягкой тканью и каждый немедленно взвешивают. При этом массу воды,

вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу образцов в насыщенном водой состоянии. При необходимости определяют объём образцов, погружая их в объёмомер.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в таблицу 8 и рассчитывают значения V_M , V_V по формулам (11) и (12). Пористость Π определяют по формуле (6), значения ρ_u и ρ_c берут из заданий 1 и 2 или табл. 3. По формулам (14) и (15) рассчитывают $K_{нас}$ и Π_z .

Таблица 8. Результаты определения водопоглощения и $K_{нас}$

Показатели	Наименование материалов		
Масса сухого образца m_c , г			
Масса насыщенного водой образца m_n , г			
Объём образца V , см ³			
Средняя плотность материала ρ_c , г/см ³			
Водопоглощение по массе V_M , %			
Водопоглощение по объёму V_V , %			
Истинная плотность материала, ρ_u г/см ³			
Пористость материала Π , %			
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$			
Закрытая пористость Π_z , %			

Заключение

Сравнить полученные значения для разных материалов и сделать анализ полученных результатов.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какое различие между истинной, средней и насыпной плотностями?
2. Как определить истинную плотность строительного материала?
3. Почему измельчают материалы при определении истинной плотности?
4. Как определить истинную плотность вещества, если оно вступает в химическую реакцию с водой?
5. Как определить среднюю плотность строительного материала?
6. Как определить пористость материала?
7. На какие свойства и в какой степени влияет пористость?
8. Как определить насыпную плотность сыпучих материалов?
9. Как определить пустотность сыпучих материалов?
10. Как зависит насыпная плотность песка от его влажности?
11. Как определить водопоглощение материала?
12. Как рассчитать закрытую пористость материала?
13. Как рассчитать водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе?
14. Что характеризует коэффициент насыщения?
15. Как косвенно оценить морозостойкость строительных материалов?

Лабораторная работа №2

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению механических свойств.
2. Определить основные механические свойства отдельных видов строительных материалов.
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к механическим?
3. Как зависят механические свойства от физических свойств (структуры, влажности и т.д.)?

Механические свойства характеризуют поведение материалов при действии различных нагрузок (сжимающей, растягивающей, изгибающей и др.). В результате воздействия внешних нагрузок в материалах конструкций возникают напряжения, противодействующие им, что может привести к деформациям и разрушению конструкций.

Механические свойства зависят от структуры материалов, сил сцепления между частицами.

Деформации. При приложении внешней нагрузки в материалах возникают внутренние силы упругости. При этом материалы, находящиеся под нагрузкой, как правило, деформируются, т. е. изменяют свои размеры и форму вследствие изменения взаимного расположения его частиц, приводящее к возникновению напряжений.

Длина деформируемого материала (изделия) при приложении нагрузки изменяется (увеличивается или уменьшается) на величину, называемую *абсолютной деформацией*. Однако удобнее характеризовать деформационные свойства не абсолютной, а *относительной деформацией*, равной отношению абсолютной деформации к первоначальному (до деформирования) размеру изделия.

Величину абсолютной α и относительной ε деформаций вычисляют по формулам:

$$\alpha = l_k - l_0, \text{ мм} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100, \% \quad (2)$$

где l_k и l_0 – соответственно конечный и начальный размеры образца, мм.

Строительные материалы по-разному реагируют на снятие нагрузки, проявляя свойства упругости или пластичности. Поэтому различают *упругие* и *пластические деформации*. Если после снятия нагрузки образец восстанавливает свои первоначальные размеры и форму, то деформацию называют *упругой*. Если же он частично или полностью сохраняет изменённые размеры или форму, то такую деформацию называют *пластической*.

Упругость – свойство материала деформироваться и восстанавливать свою первоначальную форму и размеры после снятия нагрузки.

Пластичность – свойство материала изменять свою форму под нагрузкой без нарушения сплошности структуры (появления трещин) и частично сохранять её после снятия нагрузки.

Упругость материала количественно характеризуется *модулем упругости E* (модулем Юнга), который определяется как отношение нормального напряжения σ к его относительной деформации ε :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \text{ МПа} \quad (3)$$

Модуль упругости материалов определяется прочностью межатомных связей и связан с такими свойствами как прочность, температура плавления, твердость, жёсткость материала и др. Чем больше величина этой характеристики материала, тем меньше деформация при прочих равных условиях. Такие конструкционные материалы как сталь, железобетон отличаются высокими значениями модуля упругости (табл. 1).

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению и деформациям под действием напряжений, возникающих от внешних нагрузок. Количественно оценивается пределом прочности. **Предел прочности** (временное сопротивление) – это напряжение, соответствующее наибольшей (разрушающей) нагрузке в момент разрушения материала к единице площади. **Напряжение** – это равнодействующая внутренних сил, приходящаяся на единицу площади поперечного сечения материала.

Предел прочности определяют нагружением до разрушения испытываемых образцов материала с помощью гидравлических прессов или разрывных машин (рис. 1). Испытание проводят на образцах (кубах, цилиндрах, призмах, балочках), форма и размеры которых указаны в стандартах на соответствующий материал.



Рис. 1. Пресс для испытания строительных материалов

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ или растяжении R_p вычисляют делением максимальной нагрузки при разрушении образца F на площадь первоначального поперечного сечения A :

$$R_{сж} (R_p) = \frac{F}{A}, \text{ МПа} \quad (4)$$

Предел прочности в Международной системе единиц (СИ) измеряется в МПа ($1 \text{ МПа} = 1 \text{ Н/мм}^2$). В некоторых нормативных документах сохраняется размерность показателя предела прочности в технической системе единиц (кгс/см^2): $1 \text{ МПа} \approx 10 \text{ кгс/см}^2$.

Предел прочности при сжатии строительных материалов колеблется в довольно широких пределах от 0,5 МПа (некоторые виды теплоизоляционных материалов), до 1000 МПа и выше (высокосортные стали). Например, у кирпича от 7,5 до 30 МПа, у бетона – от 8 до 115 МПа и более (табл. 1).

Таблица 1. Прочность и модуль упругости строительных материалов

Материал	Прочность, МПа			Модуль упругости, МПа
	сжатие	изгиб	растяжение	
Сталь	210...600	-	380...900	$2 \cdot 10^5$
Гранит	150...250	-	3...5	$0,49 \cdot 10^5$
Бетон тяжёлый	10...120	2...8	1...4	$(0,146...0,232) 10^5$
Кирпич	7,5...30	1,8...4,4	-	-
Сосна	40...48	70...85	90...110	$(0,135...0,15) 10^5$
Дуб	52...57	93...107	100...115	
Стекло	500...2000	35...100		$(0,48...1,2) \cdot 10^5$
Стеклопластик	90...150	130...250	60...120	$0,55 \cdot 10^5$
Каучук	-	-	8	$0,00008 \cdot 10^5$

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ определяют на образцах призмах (балочках), расположенных на двух опорах. Сила прикладывается, как правило, в середине образца (рис. 2).

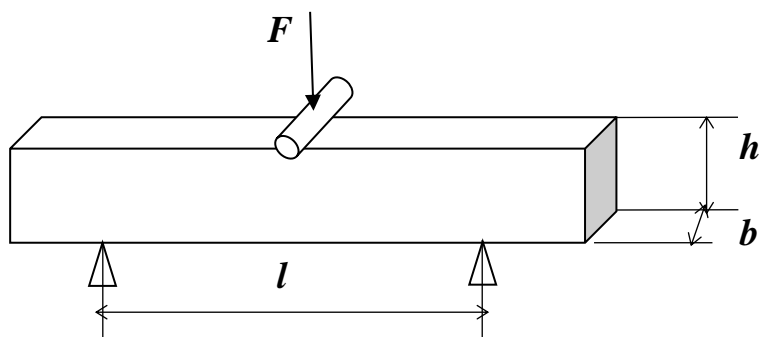


Рис.2 Схема испытания на изгиб

Рассчитывается предел прочности при изгибе по приведенной схеме по формуле (5):

$$R_{изг} = \frac{3 F l}{2 b h^2}, \text{ МПа} \quad (5)$$

где F – сила, при которой разрушился образец, Н; l – расстояние между опорами, мм; b – ширина образца, мм; h – высота образца, мм.

По прочности строительные материалы обычно подразделяют на марки, классы или сорта. Методы испытания для определения прочности путём разрушения испытываемых образцов называются разрушающими. Однако традиционные методы определения прочности с изготовлением стандартных образцов не всегда соответствуют реальной прочности материала в конструкциях. Более достоверными результатами могли быть при испытании выбуренных кернов из конструкции. Однако это приведёт к ослаблению конструкций.

В строительной практике применяются и *неразрушающие* способы контроля прочности. Количественная оценка свойств материала такими способами производится по косвенным показателям – скорости распространения ультразвукового импульса (*ультразвуковой способ*), по частоте собственных колебаний (*резонансный*), величине пластической деформации (*механические*) и др.

Коэффициент конструктивного качества (удельная прочность) K_{KK} оценивается по отношению предела прочности при сжатии материала к его средней плотности:

$$K_{KK} = \frac{R_{сж}}{\rho_c} \quad (6)$$

Наиболее эффективными являются материалы, имеющие наименьшую плотность и наиболее высокую прочность. Физически коэффициент конструктивного качества выражает собой максимальную высоту столба из данного материала, когда в основании под действием собственной массы возникают разрушающие напряжения.

Твёрдость – это способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации или разрушению при внедрении в поверхностный слой другого более твердого материала, не получающего остаточной деформации. Существует ряд методов определения твёрдости в зависимости от вида и назначения материала. Твёрдость природных каменных материалов оценивают по шкале сравнительной твёрдости Мооса (по имени немецкого минеролога F. Mohs) (табл. 2).

Шкала Мооса предназначена для грубой сравнительной оценки твёрдости материалов. Она состоит из 10 минералов, принятых за эталон и расположенных по степени возрастания их твёрдости, из которых первый – тальк (самый мягкий) и десятый – алмаз (самый твёрдый). Показатель твёрдости испытываемого материала находится между показателем твёрдости двух соседних минералов. Испытываемый материал либо царапает эталон и его твёрдость выше по шкале Мооса, либо царапается эталоном и его твёрдость ниже эталона.

Таблица 2. Шкала твердости минералов (Мооса)

Показатель твердости по шкале Мооса	Наименование минерала	Твердость по ПМТ-3, МПа	Характерные признаки твердости
1	Тальк, мел	24	Грифель карандаша оставляет черту, легко чертится ногтем
2	Гипс, каменная соль	360	Ноготь человека оставляет черту
3	Кальцит, ангидрит	1 090	Стальной нож, медно-латунная монета оставляют черту
4	Флюорит (плавиковый шпат)	1 890	Никелевая монета оставляет черту
5	Апатит	5 360	Оконное стекло, стальной нож при сильном нажатии оставляют черту
6	Ортоклаз (полевой шпат)	7 950	Оконное стекло слегка царапает, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	11 200	Напильник, стальная игла оставляют черту, легко чертит стекло
8	Топаз	14 270	Обыкновенный стеклорез оставляет черту
9	Корунд	20 600	Алмазный стеклорез оставляет черту
10	Алмаз	106 000	–

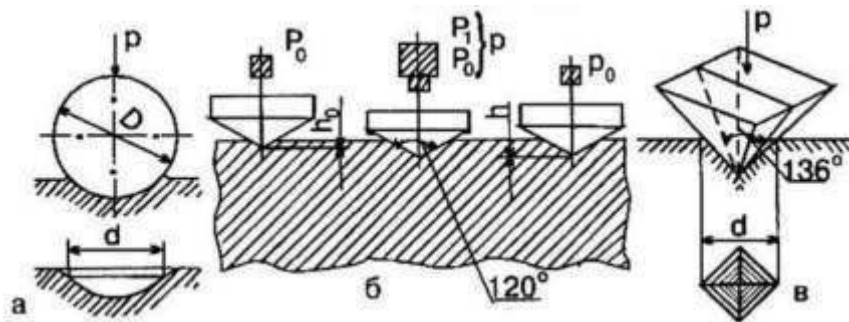
Твёрдость металлов, пластмасс, древесины, бетона определяют вдавливанием в образцы с установленным усилием индентора – стального шарика либо твёрдого наконечника правильной геометрической формы (конуса или пирамиды) в течение определённого времени (количественный метод). По величине образующегося отпечатка рассчитывают показатель твердости. В зависимости от типа и формы индентора различают показатель твердости по Бринеллю (символ HB), по Роквеллу (HR), по Виккерсу (HV), по Кнуппу (HN) и др. (рис. 3).

Сущность **метода Бринелля** (ГОСТ 9012) заключается в том, что в поверхность испытываемого образца (изделия) статическим усилием F вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D (2,5; 5 или 10 мм). Усилие прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и после снятия усилия измеряют диаметр отпечатка d , оставленного шариком. По размеру полученного отпечатка судят о твердости металла HB.

Сущность **метода Роквелла** (ГОСТ 9013) – определение твердости по вдавливанию в металл алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм. Используют прибор ТК или ТР 5006, аналогичный прибору ТШ для определения твердости по Бринеллю. Шарик или алмаз вдавливают в образец под действием двух последовательно прилагаемых усилий: вначале предварительное $F_0 = 100$ Н и затем общее F , которое равно сумме предварительного и основного F_1 (600, 1000 или 1500 Н). Вдавливание шарика или конуса продолжается 5...6 с. Глубина вдавливания h определяется с помощью индикатора, установленного на приборе. Индикатор имеет 3 шкалы – А, В, С, которые соответствуют различным условиям испытаний. Шкалы А и С служат для испытания алмазным конусом при основном усилении F_1 соответственно 600 и 1500 Н, шкала В – для испытания стальным шариком при нагрузке 1000 Н. Соответственно обозначают и число твердости: при испытании алмазным конусом твердость обозначают HRA или HRC; при испытании стальным шариком – HRB.

Сущность **метода Виккерса** (ГОСТ 2999) состоит в том, что с помощью твердомера марки ТП в образец металла вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине 136° . Усилие вдавливания может быть от 149 до 1980 Н продолжительностью действия 10...25 с. Затем измеряют диагональ полученного отпечатка и определяют твердость.

Однако результаты испытаний одних и тех же материалов, проведенных различными методами, могут и не совпадать.



а – по Бринеллю
(НВ)

Вдавливание закаленного стального шарика в изделие и измерение диаметра отпечатка. Определяется отношение нагрузки, действующей на шарик, к площади поверхности отпечатка

б – по Роквеллу
(НR)

Определяется глубина вдавливания в изделие алмазного конуса с углом 120° (шкалы А и С) или стального шарика диаметром 1,588 мм (шкала В) при предварительной (100 Н) и основной F_1 нагрузках

в – по Виккерсу
(НV)

В изделие вдавливаются четырехгранная пирамида с углом 136° . Определяется удельное давление на площадь отпечатка.

Рис. 3. Методы определения твердости

Истираемость – способность материала сопротивляться истирающим воздействиям, которые вызывают постепенный отрыв и удаление с поверхности материала мелких частиц. Значимость этого показателя связана с трением о поверхность материала подошв обуви, транспортных средств и т. п. Сопротивление материала истиранию определяют на специальных приборах (кругах истирания – рис. 4) путём воздействия на образец абразивами (кварцевым песком, наждаком, наждачной шкуркой).

Оценивается истираемость I по величине потери массы образца, отнесённой к площади истирания, и выражается в $\text{г}/\text{см}^2$:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{A}, \text{ г}/\text{см}^2 \quad (7)$$

где m_1 и m_2 – масса образца до и после истирания, г; A – площадь истирания, см^2 .

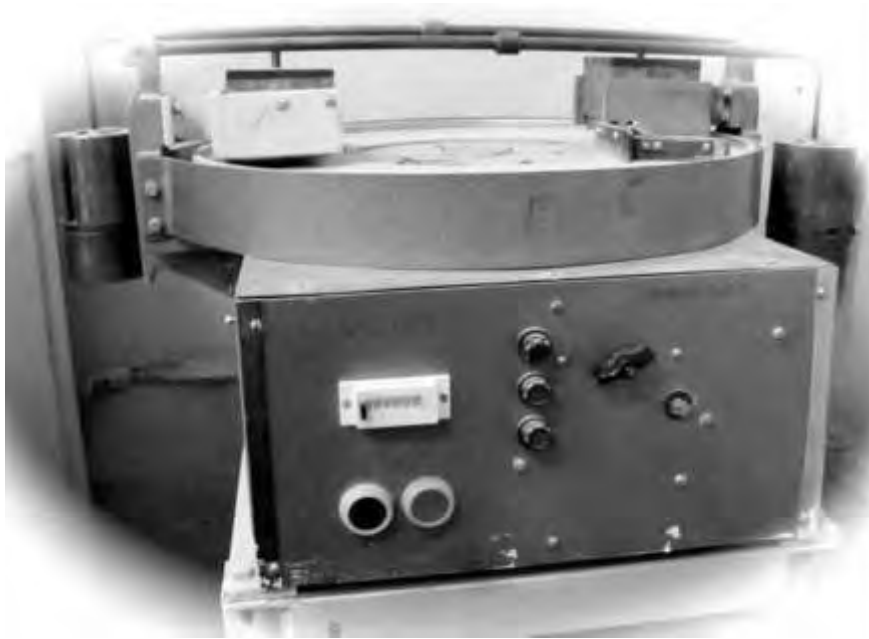


Рис. 4. Круг истирания

Степень истираемости зависит от прочности и твёрдости материала. Чем больше твёрдость материала, тем меньше его истираемость. Например, для гранита показатель истираемости равен $0,03 \dots 0,07 \text{ г/см}^2$, а для известняка и мрамора в 10...15 раз больше.

Истираемость является важной характеристикой для оценки эксплуатационных свойств материалов напольных и дорожных покрытий, лестниц, ступеней и др.

Задание 1. Определение абсолютной и относительной деформации

Приборы и материалы

1. Штангенциркуль.
2. Разрывная испытательная машина марки Р-10.
3. Индикаторный деформометр.
4. Образцы низкоуглеродистой арматурной стали диаметром 10 мм и длиной 200 мм.

Методика испытаний

На образцы с помощью кернов наносят риски. Разметку делают на длине несколько больше расчетной, равной 100 мм.

На образце закрепляют индикаторный деформометр на базе измерения 100 мм. Образец устанавливают в испытательную машину и закрепляют в зажимах. Дают предварительное усилие, равное по шкале силоизмерителя 1000 Н, снимают отсчет по шкале индикатора и затем усилие увеличивают этапами, равными приблизительно 0,1 от предполагаемого разрушающего. Отсчеты снимают на каждом этапе до усилия, соответствующего пределу текучести испытываемой стали. Физический предел текучести σ_T фиксируется по интенсивному увеличению деформаций образца при практически невозрастающем усилии. Затем усилие увеличивают до разрыва образца.

Физический предел текучести σ_T вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле:

$$\sigma_T = \frac{F}{A_0}, \text{ МПа} \quad (8)$$

где F – осевая растягивающая нагрузка в Н, соответствующая началу интенсивного деформирования образца; A_0 – площадь поперечного сечения образца до его испытания, мм².

Временное сопротивление разрыву (предел прочности) вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле:

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{A_0}, \text{ МПа} \quad (9)$$

где F_{\max} – максимальная нагрузка на образец, Н.

Диаграмма растяжения стальной арматуры приведена на рис. 5.



Рис. 5. Диаграмма растяжения стальной арматуры

После испытания обе части образца тщательно складывают вместе, располагая их по прямой линии (рис. 6). От места разрыва в одну сторону откладывают $n/2$ интервалов и ставят точку "а". Участок от места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал. Затем от отметки "а" откладывают в сторону места разрыва n интервалов и ставят точку "b". Отрезок "ab" и будет конечной расчетной длиной l_1 , полученной после разрыва образца.

Величину относительного удлинения после разрыва вычисляют с округлением до 0,5% по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100, \% \quad (10)$$

Где l_1 и l_0 – конечная и начальная (расчетная) длина образца, мм.

Величину относительного сужения после разрыва арматурной стали вычисляют с округлением до 1% по формуле:

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100, \% \quad (11)$$

где A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм², A_1 – конечная площадь поперечного сечения образца в месте разрыва, мм².

Для определения A_1 после испытания образца на разрыв измеряют минимальный диаметр d_1 в двух взаимно перпендикулярных направлениях и принимают среднее арифметическое из двух значений.

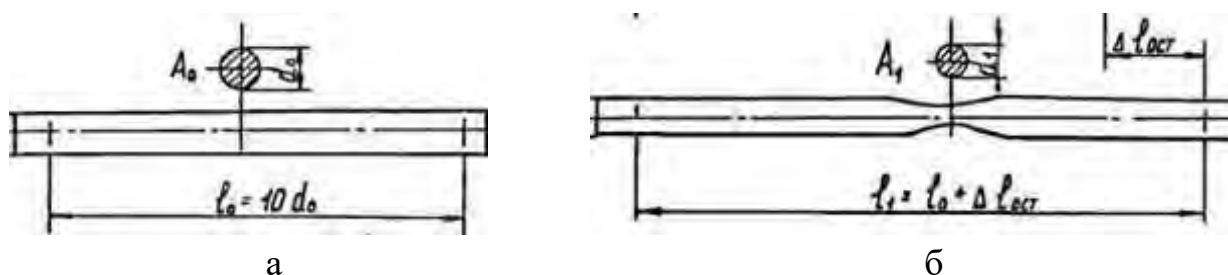


Рис. 6. Общий вид образцов до испытания (а) и после испытания (б)

Результаты испытаний

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 3.

Таблица 3. Результаты измерений арматурной стали

Показатели	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Диаметр образца начальный d_0 , мм				
Диаметр образца после испытания d_1 , мм				
Площадь поперечного сечения образца начальная A_0 , мм ²				
Площадь поперечного сечения образца после испытания A_1 , мм ²				
Расчетная длина образца начальная l_0 , мм				
Расчетная длина образца конечная l_1 , мм				
Абсолютное удлинение после разрыва a , мм				
Относительное удлинение после разрыва ε , %				
Относительное сужение после разрыва ψ , %				

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний

Задание 2. Определение твердости металлов по методу Бринелля

Твердость – свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации (или разрушению) при местном контактом воздействии на него другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размеров. По этой характеристике оценивают качество металла в деталях и изделиях.

Сущность метода заключается в том, что в поверхность испытываемого образца (изделия) статическим усилием вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D . Усилие прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и после снятия усилия измеряют диаметр отпечатка d . По размеру полученного отпечатка судят о твердости металла НВ. Схема испытания приведена на рис. 7.

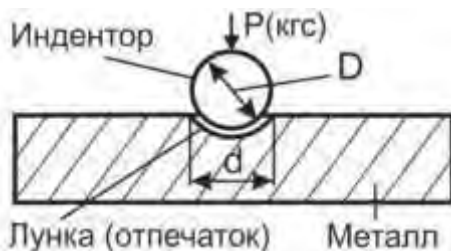


Рис. 7. Схема определения твердости металлов по Бринеллю

Приборы и материалы

1. Прибор типа ТШ (рис. 8)
2. Стальные шарики (инденторы) с номинальными диаметрами (D) 2,5; 5 и 10мм
3. Образцовые меры твердости
4. Микрометр
5. Образцы металла (чугун, мало- и высокоуглеродистые стали, сплавы бронза, дюралюминий) со шлифованной поверхностью

Методика испытаний

Поверхность образца должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидов пленки. Образец во время испытаний не должен прогибаться и смещаться. Диаметры стальных шариков, которые вдавливают в испытываемый образец, устанавливают в зависимости от прилагаемого усилия. При диаметре 2,5 мм усилие на стальной шарик составляет 612,9 и 1839 Н (62,5 и 187,5 кгс); при диаметре 5 мм – 2450 и 7355 Н (250 и 750 кгс); при диаметре 10 мм – 9800 и 29430 Н (1000 и 3000 кгс).

Испытания проводят с применением усилий, зависящих от диаметра шарика D (табл. 1 ГОСТ 9012).

Толщина образца (мм) выбирается такой, чтобы на его противоположной стороне после испытания не было следов деформации.

Подготовленный образец закрепляют на столике, плотно прижимая к шариковому наконечнику. Включают прибор и плавно увеличивают усилие до максимальной величины. Время от начала приложения усилия до достижения заданной его величины должно быть от 2 до 8 с.

Продолжительность выдержки τ под усилием указывается в технических нормативных документах на металлические изделия (для черных металлов – от 10 до 15 с, а для цветных металлов и сплавов – от 10 до 180 с в зависимости от материала и его твердости).



Рис. 8. Прибор типа ТШ

Диаметр отпечатка d , который получается на образце после снятия усилия, измеряют отсчетным микроскопом с ценой деления 0,05 мм и с полем зрения не менее 6,5 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а расстояние от центра отпечатка до края образца не менее $2,5d$. Для металлов с твердостью менее 3,5 НВ эти расстояния должны быть соответственно $6d$ и $3d$.

Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За окончательный результат берут среднее арифметическое. Значение измеренного диаметра отпечатка должно находиться в пределах

$$0,2D < d < 0,6D$$

Если это условие не выполняется, то испытание считается недействительным и его повторяют снова.

Твердость по Бринеллю выражают числом твердости **НВ**, которое вычисляют по формулам:

$$HB = \frac{0,100F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (12)$$

где F – усилие, Н; A – площадь отпечатка, мм²; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (13)$$

где F – усилие, кгс; A – площадь отпечатка, мм²; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

На практике чаще всего пользуются расчетными таблицами, приведенными в Приложении 3 ГОСТ 9012, где по диаметру отпечатка d , диаметру шарика D и величине усилия F находят число твердости **НВ**.

Твердость по Бринеллю при определении стальным шариком диаметром $D = 10$ мм при усилении $F = 3000$ кгс (29420 Н) и продолжительности выдержки τ от 10 до 15 с обозначается только цифрами, характеризующими величину твердости и буквами **НВ**, например, **НВ 185**.

При других условиях испытания после букв **НВ** указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика D (мм), усилие F (кгс) и продолжительность выдержки под усилием τ (с). Например, **250НВ 5/750/20**, где число 250 – твердость

по Бринеллю, определенная с применением шарика $D = 5$ мм, при усилии $F = 750$ кгс и продолжительности выдержки под усилием в течение $\tau = 20$ с.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 4.

Таблица 4. Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Показатели	Образец		
	1	2	3
Толщина образца, мм			
Диаметр шарика D (индентора), мм			
Диаметр отпечатка d , мм			
Величина усилия F , Н			
Величина усилия F , кгс			
Значение твердости HB			

Заключение

Привести обозначение твердости по Бринеллю.

Задание 3. Определение твердости горных пород

Твердость для природных каменных материалов имеет важное значение при их механической обработке (распиливание, шлифование, полирование и т.п.). Твердость в значительной степени зависит от структуры и свойств породообразующих минералов.

Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости (шкале Мооса) (табл. 2). По шкале Мооса определяют условную твердость горных пород. Более точные показатели этой характеристики получают с помощью прибора ПМТ-3 (прибор для определения твердости). Принцип его действия основан на вдавливании в образец алмазной пирамиды.

Приборы и материалы

1. Набор минералов по шкале Мооса
2. Образцы горных пород (кубики с ребром 50...200 мм; цилиндры диаметром и высотой 50...150 мм; пластины 100x100x30 мм).
3. Прибор ПМТ-3

Методика испытаний

Для определения твердости берут образец горной породы и на его поверхности последовательно, начиная с первого минерала шкалы Мооса, проводят черту. Показателем твердости считают число, среднее между двумя соседними номерами минералов, из которых один оставляет, а другой не оставляет царапины на горной породе. Например, если горная порода царапается кварцем (соответствует показателю твердости 7), а сама царапает ортоклаз (номер 6), то твердость изучаемой породы будет 6,5.

Для более точного определения твердости горных пород используют прибор ПМТ-3, которым определяют твердость путем вдавливания в образец алмазной пирамиды.

Результаты испытаний

Результаты испытания на твердость горных пород заносят в табл. 5.

Таблица 5. Результаты испытаний на твердость

Горная порода	№ минерала, царапающего образец	№ минерала, оставляющего черту на образце	Твердость	
			по шкале Мооса	по прибору ПМТ-3, МПа
Кварцит				
Гранит				
Мрамор				

Заключение

Проанализировать результаты испытаний на твердость, в зависимости от предела прочности при сжатии.

Задание 4. Определение предела прочности при сжатии и расчет коэффициента конструктивного качества $K_{кк}$

Приборы и материалы

1. Образцы (кубы из бетона, строительного раствора, призмы деревянные и др.).
2. Линейка измерительная.
3. Штангенциркуль.
4. Пресс гидравлический.

Методика испытаний

Образцы-кубы из бетона с ребром 100 мм (строительного раствора с ребром 7,07 см) очищают мягкой щеткой или тканью и определяют геометрические размеры поверхностей, соприкасающихся с плитами пресса. Усилие на образцы передается в направлении, перпендикулярном формованию при изготовлении образцов.

Образцы из древесины размерами 20x20x30 мм испытывают вдоль волокон древесины. Замеряют поперечные размеры образцов с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм.

На рабочей панели пресса выбирают нужную форму вида испытания, в которой задаются необходимые параметры (размеры образца, скорость роста давления (0,1...1 МПа/с) и другие).

Испытываемый образец выравнивают по центру нижней плиты пресса, ориентируясь по круговым насечкам, таким образом, чтобы отклонение образца от центра не превышало 3 мм. Затем нажимают кнопку «ПУСК» на клавиатуре. По окончании испытания извлекают обломки образца.

Каждый материал испытывают на трех образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение прочности трех образцов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 6.

Коэффициент конструктивного качества $K_{кк}$ характеризует эффективность прочностных свойств материалов. Его значение тем больше, чем больше прочность при сжатии и меньше плотность материала. В таблице 7 привести сравнительный анализ прочности при сжатии и плотности некоторых строительных материалов, а также определить «высоту столба» h из материала, когда напряжения в нижних слоях от давления вышележащего материала достигнут критических значений.

Таблица 6. Результаты испытаний на сжатие

Наименование материалов	Размеры поперечного сечения $a \times b$, мм	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{см}$	
			МПа	кгс/см ²
Бетон				
Строительный раствор				
Древесина				

Таблица 7. Определение коэффициента конструктивного качества

Наименование материала	$R_{сж}$, МПа	ρ_0 , кг/м ³	$K_{кк}$	$R_{сж}$, кгс/см ²	ρ_0^* , кг/см ³	h^* , см
Бетон тяжёлый						
Бетон легкий						
Древесина сосны						
Кирпич керамический						
Кирпич керамический поризованный						
Кирпич силикатный						
Сталь						

Заключение:

Если плотность материала ρ_0^* выразить в килограммах на сантиметр кубический (кг/см³), а прочность при сжатии $R_{сж}$ в кгс/см², то определяя значение $K_{кк}$, можно вычислить высоту столба из материала, при которой нижние слои будут разрушаться от давления верхних слоев этого материала.

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 5. Определение предела прочности при статическом изгибе

Приборы и материалы

1. Испытательная машина (например, пресс гидравлический) со шкалой усилий до 100 кН (10 т).
2. Штангенциркуль.
3. Образцы-балочки древесины в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20х20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм.
4. Приспособление, обеспечивающее изгиб образца приложением нагрузки к его боковой поверхности в середине расстояния между центрами опор.

Методика испытаний

Испытания в соответствии с ГОСТ 16483.3 проводятся на образцах-балочках размером 20х20х300 мм.

Перед испытанием измеряют ширину и высоту балочки на середине длины и отмечают карандашом места установки опор и приложения нагрузки в соответствии с одной из схем испытаний (рис. 9).

Образец устанавливают на нижнюю плиту прессы так, чтобы изгибающее усилие было направлено в тангентальном направлении по касательным к годичным слоям. Испытание продолжают до разрушения образца.

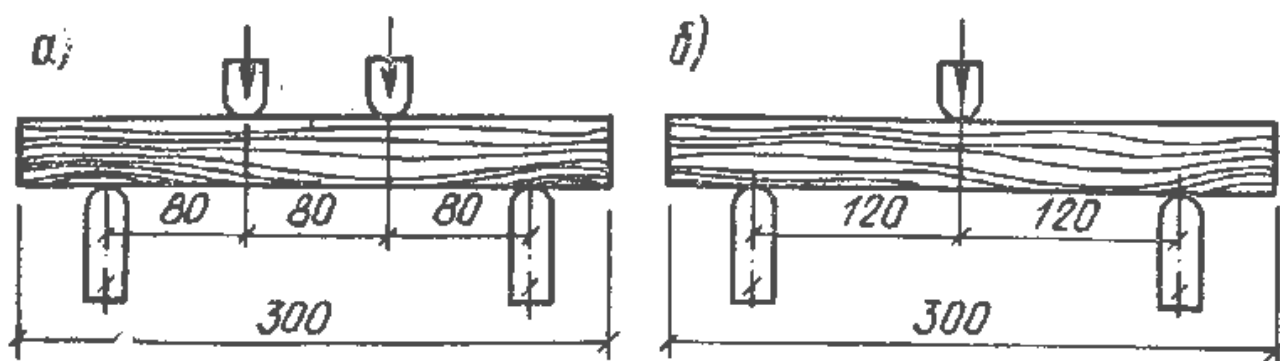


Рис. 9. Схема испытания на изгиб образцов-балочек:

а) при двух сосредоточенных нагрузках; б) при одной сосредоточенной нагрузке

Предел прочности при статическом изгибе $R_{изг}$ в МПа вычисляют по формулам:
схема а

$$R_{изг} = \frac{F_{max} \times l}{b \times h^2} \quad (14)$$

схема б

$$R_{изг} = \frac{3F_{max} \times l}{2b \times h^2} \quad (15)$$

где F_{max} – разрушающее усилие, Н; l – расстояние между центрами опор, мм; b – ширина образца, мм; h – высота образца, мм.

Полученный результат округляют до 1 МПа.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 8.

Таблица 8. Результаты определения прочности при статическом изгибе

Показатели	Значения
Ширина образца b , мм	
Высота образца h , мм	
Расстояние между центрами опор l , мм	
Разрушающее усилие F_{max} , Н	
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа	

Заключение

Сравнить полученные результаты со справочными данными учебника или справочника по строительным материалам.

Задание 6. Определение ударной прочности (сопротивления удару)

Ударная прочность определяется для материалов, которые в процессе эксплуатации в конструкциях подвергаются динамическим нагрузкам (полы промышленных зданий, дорожные покрытия). Испытания проводятся на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 20...30 мм и осуществляют на специальном копре Педжа (рис. 10).

Прибор состоит из массивной металлической опоры, переходящей внизу в наковальню **1** массой 50 кг. На опоре вертикально закреплены две направляющие цилиндрические штанги **2**, по которым движется, свободно перемещаясь, стальной груз «баба» **3** массой 2 кг. По образцу **5**, установленному в центре наковальни, производят удар «бабой» через подбабок **4**, который имеет внизу сферическую поверхность диаметром 10 мм. Удары по образцу проводят вначале с высоты 1 см, затем 2 см и далее через 1 см до разрушения образца. Показателем сопротивлению удару служит порядковый номер удара, предшествующий разрушению, т. е. до появления первой трещины.

Ударная прочность $R_{уд}$ (Дж/см³) оценивается по величине удельной работы груза W (Дж), затраченной на разрушение единицы объема V (см³) материала. Вычисления проводят по формуле:

$$R_{уд} = \frac{W}{V} = \frac{[(1 + 2 + \dots + (n - 1)) \cdot 10^{-2}] \cdot m \cdot g}{V}, \text{ Дж/см}^3 \quad (16)$$

где n – порядковый номер удара, разрушивший образец, т.е. высота падения груза (в см) после которого появилась первая трещина; $(1+2+\dots+(n-1))$ – суммарная высота падения груза, см; m – масса стального груза, кг; g – ускорение свободного падения груза (9,81 м/с²); V – объем образца, см³.

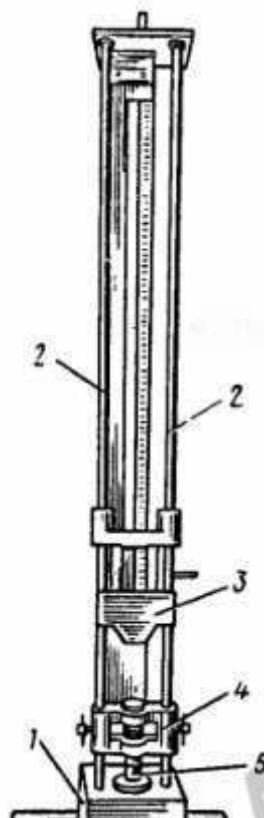


Рис. 10. Копер Педжа для испытания цилиндрических образцов на удар
 1 – стальная наковальня, 2 – направляющие цилиндрические штанги, 3 – стальной груз (баба),
 4 – подбабок, 5 – образец

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение трех определений.

Приборы и материалы

1. Копер Педжа.
2. Штангенциркуль.
3. Образцы-цилиндры диаметром и высотой 20...30 мм, изготовленные из гипсового теста нормальной плотности.

Методика испытаний

Замеряют диаметр и высоту образцов-цилиндров. Затем образец-цилиндр устанавливают в центре наковальни, прижимают подбабком и проводят удар грузом «бабой» с высоты 1 см (0,01 м), затем с высоты 2 см (0,02 м) и так далее, увеличивая высоту на 1 см до тех пор, пока образец не разрушится.

Ударную прочность вычисляют по формуле (16).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 9.

Таблица 9. Результаты испытаний на ударную прочность

Наименование материала	Размеры образца, см		Объем образца $V, \text{см}^3$	Номер удара, разрушившего образец n	Ударная прочность $R_{уд}, \text{Дж/см}^3$
	диаметр	высота			

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 7. Определение истираемости

Истираемость – способность материала сопротивляться действию истирающих сил. Под действием этих сил происходит уменьшение материала в объеме и по массе. Материалы, подвергшиеся этому испытанию, применяют для устройства полов, лестничных ступеней, тротуаров, дорожных покрытий и др. К ним относятся бетоны, природные каменные материалы, материалы для полов на основе полимеров, керамическая плитка.

Образцы для испытания на истираемость должны иметь правильную геометрическую форму (кубы с ребром 5...7 см).

Приборы и материалы

1. Лабораторный круг истирания (машина ЛКИ).
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Образцы-кубы с ребром 7 см (бетон, гранит и др.).

Методика испытаний

Перед испытанием на истираемость образцы высушивают в сушильном шкафу, определяют массу m , измеряют площадь поверхности образца A , которая будет подвергаться испытанию.

Испытание на истираемость проводят на специальном оборудовании – круге истирания (рис. 4) в виде чугунного диска, который вращается на вертикальной оси от электродвигателя со скоростью 22 об/мин. Количество оборотов фиксируется

счетчиком. С помощью грузов и специального приспособления два образца прижимаются к поверхности диска с усилием 60 кПа на площадь образца. Над диском на станине укреплены два бачка для автоматической подачи шлифовального абразивного порошка (наждак или корунд крупностью около 0,5 мм или стандартный песок). Расход шлифовального порошка должен быть 20 г на 28 оборотов диска.

После 150 м пути истирания, сделанного по диску, т. е. после одного цикла испытания, машина автоматически отключается, образцы вынимают из обоймы, очищают от пыли, взвешивают, а затем снова вставляют в захваты, повернув на 90° в горизонтальной плоскости, и продолжают испытывать.

В конце испытания (после 4-х циклов) образцы вынимают, обтирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость в г/см² вычисляют с погрешностью до 0,1 г/см² по формуле 7.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение из определений, полученных на двух образцах.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 10

Таблица 10. Результаты испытаний на истираемость

Определения	Образцы		Среднее
	1	2	
Масса образца до испытания, m , г			
Масса образца после испытания m_1 , г			
Площадь истирания A , см ²			
Истираемость I , г/см ²			

Заключение

Сравнить величину истираемости испытанного материала с показателями, приведенными в технических нормативных правовых актах или с показателем для других материалов.

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Как вы понимаете свойства материалов: деформативность, упругость, пластичность, прочность?
2. Приведите примеры упругих и пластичных строительных материалов
3. Что такое твердость?
4. Как определяют твердость металлов?
5. Как определяют твердость по шкале Мооса?
6. Что такое прочность материала, и чем она характеризуется?
7. Приведите формулы определения прочности строительных материалов.
8. На каких образцах и как определить предел прочности при сжатии, при растяжении, при изгибе?
9. Что характеризует коэффициент конструктивного качества? Приведите примеры материалов с высоким коэффициентом конструктивного качества.
10. На каких образцах и как определить ударную прочность?
11. Как определить истираемость материалов?
12. Для каких материалов определяют истираемость?

Литература

1. Строительное материаловедение: Лабораторные работы (практикум) / Я.Н. Ковалев [и др.] – Минск: БНТУ, 2007. – 534 с.
2. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. Издательство Ассоциации строительных вузов. М., 1999. с.236
3. Дворкин Л. И. Справочник по строительному материаловедению Москва: Инфра-Инженерия, 2010. – 472 с.
4. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. Введ. 01.01.2003. – Минск: Минстройархитектуры, 2003.

Плотность и прочность некоторых строительных материалов

№ п/п	Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Предел прочности	
		средняя, ρ_c	истинная, ρ_u	при сжатии $R_{сж}$ МПа	при изгибе $R_{изг}$ МПа
1	Базальт	2200...3000	2300...3000	200...300	-
2	Бетон тяжелый	2400...2500	2600...2900	10...100	5,5...10
3	Бетон легкий	800...1800	2600...2700	8...60	-
4	Бетон ячеистый (газосиликат)	500	2500...2600	0,35...12,5	-
5	Гипс и гипсовые изделия	700...1300	2700	2...25	1,2...8
6	Гравий природный $\rho_{нас}=1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2600...2700	-	-
7	Гранит	2700...2900	2800...3000	120...300	-
8	Древесина (сосна)	400...500	1530	50	85
9	Древесноволокнистая плита (ДВП)	200	1500	-	-
10	Известняки тяжелые	1600...2100	2600	20...50	-
11	Известняки-ракушечники	1100...1600	2700	15...30	-
12	Керамзитовый гравий $\rho_{нас}=200...800$ кг/м ³	450...950	2600	-	-
13	Кирпич керамический полнотелый	1600...1900	2600...2840	7,5...30	1,0...4,5
14	Кирпич керамический сверх-эффективный пористо-пустотелый	900...1200	2600...2840	7,5...30	0,6...3,0
15	Кирпич силикатный	1800...2000	2600...2750	7,5 ...30	1,0 ... 4,5
16	Пенополистирол	10...50	1050	-	-
17	Пеностекло (ячеистое стекло)	150...300	2550	-	-
18	Песок кварцевый $\rho_{нас}=1500...1700$ кг/м ³	2500...2600	2500...2600	-	-
19	Стекло оконное листовое	2550	2550	-	-
20	Туф вулканический	800...2000	2400...2600	15...80	-
21	Цемент $\rho_{нас}=1100...1200$ кг/м ³	3000...3100	3000...3100	30...60	4,5...6,5
22	Сталь	7850	7850	$R_{раст} \approx 400...750$ МПа	
23	Алюминий	2600	2600	$R_{раст} \approx 90...120$ МПа	

Лабораторная работа № 3

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы

- Изучить коллекции природных каменных материалов и основных породообразующих минералов,
- Ознакомиться с нормативной литературой, методами, приборами и оборудованием по определению физико-механических и декоративно-отделочных свойств горных пород.
- Определить физико-механические и декоративно-отделочные характеристики горных пород.

3.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

- Что представляет собой горная порода и что называют минералом?
- По каким признакам классифицируют горные породы?
- Привести генетическую классификацию горных пород.
- Технологическая классификация горных пород.
- Классификация горных пород по долговечности.
- Основные породообразующие минералы магматических, осадочных и метаморфических горных пород.
- Какие строительные материалы и изделия получают из горных пород?
- Какие горные породы применяют для изготовления минеральных вяжущих веществ?
- Что такое фактура, текстура и структура?

3.2. Задания к лабораторной работе

1. Классификация нескольких видов горных пород и описание их породообразующих минералов.
2. Определение средней плотности горной породы на образцах неправильной геометрической формы.
3. Определение истинной плотности и пористости горных пород.
4. Определение предела прочности при сжатии горной породы.
5. Определение предела прочности при одноосном растяжении путем раскалывания.
6. Определение твердости горных пород по шкале Мооса.

7. Определение истираемости горных пород.
8. Изучение декоративно-отделочных (эстетических) свойств образцов из различных горных пород.

Общие сведения о природных каменных материалах

К природным каменным материалам относят строительные материалы, которые получают из горных пород путем механической обработки (дробление, раскалывание, распиливание, шлифование, плавление). Эти материалы практически полностью сохраняют физико-механические и технические свойства горной породы, из которой они изготовлены.

Горная порода представляет собой камневидное тело (механическое сочетание), состоящее из минералов, образовавшихся в земной коре под влиянием одинаковых условий.

Минералами называют природные или искусственно полученные соединения химических элементов, однородные по химическому составу, строению и физическим свойствам. Природные минералы образуются в результате сложных физико-химических процессов, происходящих на поверхности или в глубине земли.

Горные породы представляют собой сочетание различных минералов и могут быть моно- или полиминеральными. Их разделяют по трем характерным признакам:

- 1) происхождению (генетическая классификация);
- 2) методам обработки (технологическая классификация);
- 3) долговечности.

По происхождению горные породы делят на три генетических группы:

1. **Магматические (первичные)**, образовавшиеся в результате медленного затвердевания сложного природного силикатного расплава – магмы в толще земной коры или на ее поверхности. К ним относятся: гранит, диорит, сиенит, габбро, лабрадорит, базальт, порфиры, трахиты, пемза, вулканические пеплы и др.

2. **Осадочные (вторичные)**, образовавшиеся на поверхности земли, а также на дне морей, озер и рек, из продуктов разрушения ранее существовавших горных пород и остатков организмов. К ним относятся: известняки $CaCO_3$, доломиты $CaCO_3 \cdot MgCO_3$, песчаники, травертин, ракушечник, гипсовый камень $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, ангидрит $CaSO_4$, пески, гравий и др. (мергель, нефть, каменный уголь, торф).

3. **Метаморфические (видоизмененные)**, образовавшиеся путем перекристаллизации изверженных или осадочных горных пород под действием высокой

температуры и давления в земной коре. К ним относятся: мрамор, кварцит, сланцы, гнейсы, магматиты и др.

По методам обработки каменные материалы делят на три группы:

1. **Твердые** – твердость по шкале Мооса – 6...7 единиц (кварцит, гранит, сиенит, габбро, лабрадорит);

2. **Средней твердости** – твердость по шкале Мооса – не более 5 и предел прочности при сжатии – 20...120 МПа (мрамор, известняк, песчаник, доломит, туфы и др.);

3. **Мягкие** – твердость по шкале Мооса – 2...3 (гипсовый камень, известняк-ракушечник).

По долговечности природные каменные материалы тоже делят на три группы:

1. **Очень долговечные** – первые признаки разрушения наступают через 500 и более лет эксплуатации (кварцит и мелкозернистые граниты);

2. **Долговечные** – первые признаки разрушения – через 200 и более лет (крупнозернистые граниты, сиенит, габбро, лабрадорит);

3. **Относительно долговечные** – первые признаки разрушения – через 60 лет (белый мрамор, плотный песчаник и др.).

Природные каменные материалы разделяют по двум признакам: по способу получения и по назначению.

По способу получения различают: дробленые, сортированные, пиленые, колотые, шлифованные и полированные.

По назначению: нерудные (песок, гравий, щебень, песчано-гравийная смесь, бутовый камень); стеновые (камни и блоки); облицовочные (плиты и архитектурно-строительные изделия); дорожные (бортовые камни, брусчатка, колотый камень).

Большинство природных каменных материалов обладают высокой прочностью, долговечностью, морозостойкостью, упругостью и хорошими декоративно-художественными свойствами (цветом, блеском, красивой текстурой и различной структурой). Благодаря указанным свойствам они нашли большое применение в архитектурно-строительной практике. Их используют для изготовления: облицовочного камня, плит и профильных элементов для наружной и внутренней облицовки; ступеней и плит для наружных и внутренних лестниц и площадок; блоков для парапетов, столбов и стенок; стеновых камней и блоков; плит пола.

Для возведения стен можно использовать известняки, доломиты, песчаники, туфы.

Сырьем для производства каменной (минеральной ваты) могут быть мергели, сланцы, смеси известняков и доломитов с глинистыми и кремнеземистыми породами, металлургические или доменные шлаки, базальт, диабаз, габбро.

Задание 1. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ГОРНЫХ ПОРОД И ОПИСАНИЕ ИХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Студенты осматривают коллекцию горных пород и породообразующих минералов и определяют вид горной породы. Коллекция горных пород включает 10...15 представителей каждой группы генетической классификации.

Определение вида горной породы производится на основании сравнения диагностических признаков, характерных для соответствующей группы горных пород, с диагностическими признаками исследуемой породы.

Основными диагностическими признаками являются: структура, текстура, минералогический состав, кристаллическое строение, цвет, наличие и характер в породах жил и прожилок. Из коллекции горных пород осматривают 5...7 видов и, пользуясь классификацией, относят их к соответствующей группе.

В табл. 3.1 приведены основные горные породы и породообразующие минералы, а также приведены характерные отличительные показатели (цвет), истинная плотность, твердость основных породообразующих минералов.

Отличительными показателями минералов служат их химический состав, плотность и твердость.

Таблица 3.1

Породообразующие минералы и их отличительные показатели

Наименование		Химический состав	Плотность, кг/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
группы минералов	минерал				
1	2	3	4	5	6
1. Кремнеземистые	1.1. Кварц (в песке кварцевом)	SiO ₂	2650	7	молочный, дымчатый
	1.2. Опал (в трепеле, диатомите)	SiO ₂ ·nH ₂ O	2600	5,5	белый, желтый, серый, бурый, синий
	1.3. Халцедон	SiO ₂	2550...2600	6,5	светло-серый, голубоватый
2. Полевые шпаты (алюмосиликаты)	2.1. Ортоклазы (в граните, сиените, габбро)	K ₂ O·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂	2570	6...6,5	белый, кремовый, розовый

1	2	3	4	5	6
	2.2. Плагиоклазы	Альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ Анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	2600 2760	6 6...6,5	белый, буровато-желтый, серый, белый, желтоватый черный
3. Алумо-силикаты (слюды)	3.1. Биотит (в граните, сиените)	$\text{K}(\text{MgFe})_3 \cdot [\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] [\text{OH}, \text{F}]_2$	2800...3200	2...3	темно-зеленый
	3.2. Мусковит (белая слюда)	$\text{KAl}_2 [\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot [\text{OH}]_2$	2760...3100	2...3	бесцветный с желтоватым оттенком, серебристый, белый
Глинистые	7.1. Каолинит	$\text{Al}_4(\text{OH})_2 \cdot [\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	2600	1...2,5	белый, сероватый, желтоватый
4. Железисто-магнезиальные силикаты	4.1. Оливин (серпентин – разновидность хризотил-асбеста)	$(\text{Mg}, \text{Fe})_2 \cdot (\text{SiO}_4)$	3300...3400	6,5...7	оливково-зеленый, буроватый
	4.2. Пироксены (авгит)	$\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}) \cdot [(\text{Si} \text{ Al}_2)\text{O}_6]$	3300...3600	6,5	зеленый, бурый, черный
	4.3. Амфиболы (роговая обманка)	$(\text{Ca}_2 \text{ Na}) (\text{Mg}, \text{Fe})_4 (\text{Al}, \text{Fe}) [(\text{Si} \text{ Al}_4\text{O}_4)]_{12}$	3100...3500	5,5...6	черный, серо-зеленый, темно-зеленый
5. Карбонаты	5.1. Кальцит	CaCO_3	2700	3	белый, серый, желтый, голубой
	5.2. Магнезит	MgCO_3	3000...3100	3,5...4,5	белый, серый, желтый
	5.3. Доломит	$\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$	2800...2900	3,5...4	белый, серый, желтый
6. Сульфаты	6. Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2300	1,5...2	серый, белый, черный, розоватый

1	2	3	4	5	6
	6.2. Ангидрит	CaSO ₄	2800...3000	3...3,5	белый, сероватый, голубой, красноватый
	6.3. Барит	BaSO ₄			

Результаты испытаний

Результаты выполнения задания 1 заносят в табл. 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2

Классификация горных пород

Наименование породы	Классификация		
	Генетическая	Технологическая	По долговечности
Гранит Диорит Лабрадорит Известняк Доломит Кварц Мрамор и др.			

На лабораторных занятиях студенты изучают следующие минералы:

- | | |
|--------------|--------------|
| 1) кварц | 2) пироксены |
| 3) опал | 4) кальцит |
| 5) биотит | 6) магнезит |
| 7) мусковит | 8) доломит |
| 9) ортоклаз | 10) гипс |
| 11) каолинит | 12) ангидрит |

Студенты осматривают минералы, а затем заносят их характеристику в табл. 3.3.

Характеристика минералов, образующих горные породы

Наименование минералов	Плотность, кг/м ³	Химический состав	Цвет	Твердость по шкале Мооса	В какой горной породе преобладает
1. Кварц 2. Опал др.					

Заключение**Физические характеристики природных каменных материалов****Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА ОБРАЗЦАХ НЕПРАВИЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

Средняя плотность горных пород в зависимости от их происхождения изменяется в пределах от 900 до 3300 кг/м³.

Магматические горные породы имеют среднюю плотность 2600...3300 кг/м³, осадочные – 900...2600 кг/м³ и метаморфические 2600...2900 кг/м³.

Приборы и материалы

I.Весы технические.

II.Гидростатические весы.

III.Объемомер.

IV.Образцы горных пород неправильной формы (куски), по три каждой породы (изверженной, осадочной и метаморфической).

Методика испытаний

Образцы горной породы высушивают до постоянной массы, измеряют массу с точностью до 1 г, а затем парафинируют путем нанесения кистью тонкого слоя расплавленного парафина. Когда парафин застынет, образцы осматривают, удаляют на парафиновой пленке пузырьки или трещины, заглаживая нагретой металлической пластинкой. Затем образец перевязывают прочной нитью и вторично измеряют массу.

Объемомер наполняют водой несколько выше трубки и ждут, пока избыток воды вытечет, а затем под трубку подставляют взвешенный стакан.

Медленно погружают испытываемый образец в объемомер. Вытесненная вода будет вытекать из трубки в стакан. Когда падение капель из трубки прекратится, измеряют массу стакана с водой и определяют массу вытесненной воды.

Среднюю плотность породы вычисляют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_1 - V_n} \quad (3.1)$$

где m – масса сухого образца, г;

V_1 – объем образца с парафином в см^3 , численно равный массе воды в г, вытесненной образцом;

V_n – объем парафина в см^3 , затраченного на покрытие образца, который определяют по формуле:

$$V_n = \frac{m_1 - m}{\rho_n} \quad (3.2)$$

где m – масса сухого образца, г;

m_1 – масса образца, покрытого парафином, г;

ρ_n – плотность парафина, равная $0,93 \text{ г/см}^3$.

Определение средней плотности горных пород плотной структуры (без открытых пор) проводят на образцах неправильной формы без их парафинирования с использованием объемомера или гидростатических весов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Средняя плотность горных пород

Наименование породы	Масса образца, г		Объем, см^3			Средняя плотность породы ρ_0 , кг/м^3
	сухого m	покрытого парафином m_1	образца с парафином V_1	парафина V_n	Воды, вытесненной из объемомера $V_1 - V_n$	

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ

ГОРНЫХ ПОРОД

Истинная плотность горных пород изменяется в пределах:

- магматических от 2650 кг/м³ (гранит) до 3320 кг/м³ (габбро),
- осадочных от 2600 кг/м³ (известняк) до 2800 кг/м³ (доломит),
- метаморфических от 2700 кг/м³ (гнейсы) до 2900 кг/м³ (мрамор).

Пористость горных пород изменяется в широких пределах: от 0,2...0,8 % для плотных изверженных горных пород до 65 % для пористых осадочных.

Приборы и материалы

1. Прибор Ле-Шателье (объемомер)
2. Сито № 2
3. Сушильный шкаф
4. Агатовая или фарфоровая ступка
5. Технические весы (с точностью до 0,01 г)
6. Термометр
7. Штатив
8. Стеклянный сосуд (колба)
9. Навески порошков горных пород: изверженных, осадочных и метаморфических.

Методика испытаний

Для получения средней пробы массой 200-220 г отбирают и тщательно перемешивают кусочки горной породы. Затем ее сушат в сушильном шкафу при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы, после чего ее измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Порошок просеивают через сито № 02 с размером ячеек 0,2x0,2 мм.

Из просеянного порошка берут 180 г и снова высушивают, а затем охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе, где порошок хранят до проведения испытаний.

Прибор Ле-Шателье (объемомер) наполняют до нижней нулевой отметки жидкостью (керосином, спиртом или водой), которая должна быть инертной по отношению к порошку материала.

Затем тщательно протирают тампоном из фильтровальной бумаги свободную от жидкости часть объемомера (выше нижней черты). Прибор Ле-Шателье помещают в стеклянный сосуд с водой, температура которой 20°C (при этой температуре градуировали объемомер). Объемомер оставляют в воде на все время испытания,

чтобы он не всплывал, с этой целью его закрепляют на штативе так, чтобы градуировочная часть шейки находилась в воде.

На технических весах отмеряют 80 г порошка с точностью до 0,01 г и высыпаят его через воронку в прибор до тех пор, пока уровень не поднимется до черты с делением 20 см³. Остаток порошка взвешивают и вычисляют массу порошка, вытесненного в объемомер.

Истинную плотность породы $\rho_{и}$ в г/см³ вычисляют по формуле:

$$\rho_{и} = \frac{m_1 - m}{V} \quad (3.3)$$

где m – навеска порошка до опыта, г;

m_1 – остаток навески, г;

V – объем жидкости, вытесненной навеской порошка (т.е. он равен объему порошка в объемомере).

Пористость горной породы характеризует степень заполнения ее объема порами. Вычисляется пористость Π в % по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_{и}}\right) \cdot 100 \quad (3.4)$$

где ρ_0 – средняя плотность горной породы, г/см³;

$\rho_{и}$ – истинная плотность горной породы, г/см³.

Результаты испытаний

Результаты определения истинной плотности и пористости заносят в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Истинная плотность и пористость горных пород

Горная порода	Масса навески порошка, г			Объем вытесненной жидкости V , см ³	Истинная плотность $\rho_{и}$, кг/м ³	Пористость Π , %
	начальная m	оставшегося m_1	израсходованного $m - m_1$			

Заключение

Сделать анализ результатов опытов по изменению пористости в зависимости от средней плотности горных пород и их происхождения.

Механические характеристики природных каменных материалов

К механическим характеристикам горных пород, которые предлагается определить в этой лабораторной работе, относятся предел прочности при сжатии $R_{сж}$,

предел прочности при растяжении R_p , ударная прочность, твердость и истираемость.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Предел прочности горных пород зависит от их происхождения, средней плотности, пористости и минералогического состава (породообразующих минералов).

Предел прочности при сжатии составляет:

- для магматических горных пород – для гранита 100...250 МПа, диорита 150...300 МПа, габбро и лабрадорита 200...500 МПа;
- для осадочных пород – известняка плотного – 15...180 МПа, ракушечника 0,4...15 МПа, доломита – 15...200 МПа;
- для метаморфических пород – мраморов – 150...300 МПа; кварцитов – 300...400 МПа.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальной нагрузкой 1000 КН.
2. Штангенциркуль.
3. Весы технические.
4. Образцы природных каменных материалов в форме куба с ребром 50, 70 или 100 мм или образцы-цилиндры диаметром и высотой 50 или 70 мм (по 3 образца каждой породы).

Методика испытаний

Для определения предела прочности при сжатии испытывают 3 образца.

Определяют геометрические размеры поперечного сечения образцов с точностью до 1 мм. Каждый линейный размер образца вычисляют как среднее арифметическое результатов двух измерений в середине противоположных граней. Затем его устанавливают на нижнюю опорную плиту гидравлического пресса точно по центру и опускают верхнюю плиту пресса. Включают насос пресса и подают усилие на образец со скоростью ее нарастания 0,5...1 МПа в секунду. В момент наибольшего разрушающего усилия стрелка силоизмерителя остановится и начнет двигаться обратно.

Предел прочности при сжатии в МПа вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Результаты испытаний

Результаты выполненных испытаний по определению предела прочности при сжатии горных пород занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Предел прочности при сжатии горных пород

Наименование породы	Размеры, мм	Площадь образца A , мм ²	Разрушающее усилие F , Н	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа

Заключение

Сделать краткий анализ полученных результатов.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ ПУТЕМ РАСКАЛЫВАНИЯ

Природные каменные материалы и изделия хорошо работают на сжатие и значительно хуже – на изгиб и растяжение.

Предел прочности при растяжении горных пород составляет 7...12 % от предела прочности при сжатии и зависит от вида горной породы и образующих ее породообразующих минералов.

Сущность метода определения предела прочности при растяжении заключается в измерении разрушающего усилия, приложенного к образцу-цилиндру через стальные встречно направленные плиты или клинья к образцу-кубу.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальной нагрузкой 1000 КН.
2. Плиты стальные толщиной не менее 0,3 диаметра образца с плоскими рабочими поверхностями
3. Клинья стальные с радиусом закругления (10 ± 1) мм
4. Штангенциркуль.
5. Кубы с ребром 50 мм или цилиндры диаметром 50 или 70 мм

Методика испытаний

Образец размещают в центре опорной плиты гидравлического пресса между плитами-прокладками (образец-цилиндр, рис.3.1 а) или между стальными клиньями (образец-куб, рис. 3.1 б). Геометрические оси образца и лезвия клиньев должны находиться в одной плоскости. Отклонение от плоскости допускается не более 0,5 мм.

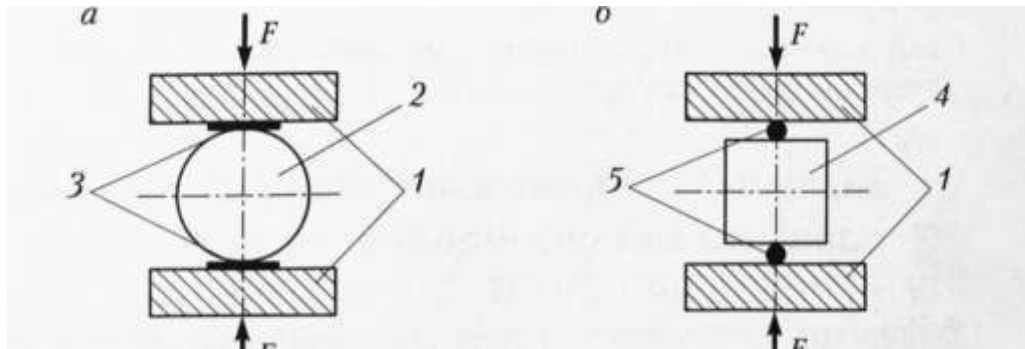


Рис. 2.1. Схема испытания образцов горной породы на растяжение путем раскалывания образцов-цилиндров (а) и образцов-кубов (б) 1 – плиты гидравлического пресса; 2 – образец-цилиндр; 3 – прокладка из фанеры; 4 – образец-куб; 5 – сферическая поверхность диаметром 20 мм

Образец нагружают, равномерно увеличивая усилие на 1...3 МПа в секунду. Усилие доводят до разрушения и фиксируют величину разрушающего усилия F .

Предел прочности при одноосном растяжении $R_{p,p}$ в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$R_{p,p} = K \cdot \frac{2F}{\pi A} \quad (3.6)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

K – коэффициент, $K=0,64$ при передаче усилия через плиты, $K=1,0$ при передаче усилия через клинья.

Результаты испытаний

Результаты определения предела прочности при растяжении горных пород заносят в табл. 3.7 и сравнивают предел прочности при растяжении горной породы с ее пределом прочности при сжатии.

Предел прочности при растяжении горных пород

Горная порода	Размеры образцов, мм			Площадь разрыва образца, мм	Предел прочности при растяжении $R_{p,p}$, МПа	Отношение $R_{p,p}$ $R_{сжс}$ %
	Цилиндров		Кубов			
	диаметр	высота	ребра			

Заключение

Предел прочности при растяжении $R_{p,p}$ составляет _____% от предела прочности при сжатии $R_{сжс}$ для _____ (название горной породы).

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ШКАЛЕ МООСА

Твердостью называют способность материала сопротивляться прониканию в него другого, более твердого тела. Этот показатель для природных каменных материалов имеет важное значение при их механической обработке (распиливание, шлифование, полирование и т.п.). Твердость в значительной степени зависит от структуры и свойств порообразующих минералов.

Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости (шкале Мооса). Она включает 10 минералов, первый и последний из них соответственно наименее и наиболее твердые. Минералы расположены в таком порядке, что на каждом из них все последующие оставляют черту (царапают их).

По шкале Мооса (табл.3.8) определяют условную твердость горных пород. Более точные показатели этой характеристики получают с помощью прибора ПМТ-3 (прибор для определения твердости). Принцип его действия основан на вдавливании в образец алмазной пирамиды.

Шкала твердости минералов

Показатель твердости по шкале Мооса	Наименование минерала	Твердость по ПМТ-3, МПа	Характерные признаки твердости
1	Тальк, мел	24	Грифель карандаша оставляет черту, легко чертится ногтем
2	Гипс, каменная соль	360	Ноготь человека оставляет черту
3	Кальцит, ангидрит	1 090	Стальной нож, медно-латунная монета оставляют черту
4	Флюорит (плавиковый шпат)	1 890	Никелевая монета оставляет черту
5	Апатит	5 360	Оконное стекло, стальной нож при сильном нажатии оставляют черту
6	Ортоклаз (полевой шпат)	7 950	Оконное стекло слегка царапает, стальной нож черты не оставляет
7	Кварц	11 200	Напильник, стальная игла оставляют черту, легко чертит стекло
8	Топаз	14 270	Обыкновенный стеклорез оставляет черту
9	Корунд	20 600	Алмазный стеклорез оставляет черту
10	Алмаз	106 000	–

Приборы и материалы

1. Набор минералов по шкале Мооса
2. Образцы горных пород с ребром куба 50...200 мм.
3. Цилиндры диаметром и высотой 50...150 мм.
4. Пластины размером 100x100x30 мм.
5. Прибор ПМТ-3

Методика испытаний

Для определения твердости берут образец горной породы и на его поверхности последовательно, начиная с первого минерала шкалы Мооса, проводят черту. Показателем твердости считают число, среднее между двумя номерами минералов, из которых один оставляет, а другой не оставляет царапины на горной породе.

Например, если горная порода чертится кварцем (соответствует показателю твердости 7), а сама чертит ортоклаз (номер 6), то твердость изучаемой породы будет 6,5.

Для более точного определения твердости горных пород используют прибор ПМТ-3, которым определяют твердость путем вдавливания в образец алмазной пирамиды.

Результаты испытаний

Результаты испытания на твердость горных пород заносят в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Результаты испытаний на твердость

Горная порода	№ минерала, царапающий горную породу	Твердость	
		по шкале Мооса	по прибору ПМТ-3, МПа
Кварцит			
Гранит			
Диорит			
Лабрадорит			
Мрамор			

Заключение

Проанализировать результаты испытаний на твердость, в зависимости от предела прочности при сжатии.

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Истираемость – это способность строительного материала уменьшаться в объеме и массе вследствие разрушения поверхностного слоя под действием истирающих усилий. Количественно она оценивается по потере массы в г, отнесенной к одному см² площади истирания. Истираемость имеет большое значение для каменных материалов, которые применяют для устройства полов в общественных и промышленных сооружениях, для устройства дорог, тротуаров, лестничных ступеней и др.

Стойкими к истиранию являются такие природные каменные материалы, как кварциты, граниты, диориты, базальты, диабазы.

Приборы и материалы

1. Круг истирания.
2. Весы технические.
3. Линейка измерительная.
4. Образцы-кубы с ребром 50 или 70 мм (гранит, мрамор, кварцит).

Методика испытаний

Испытанию на истирание подвергают одновременно два образца. Испытываемые образцы закрепляют в зажимных приспособлениях (рис. 3.2). Затем с помощью специального приспособления образцы прижимают к поверхности круга с усилием 6 Н/см^2 . В бачки засыпают истирающий порошок, который подается автоматически при вращении круга. Включают круг вращения.

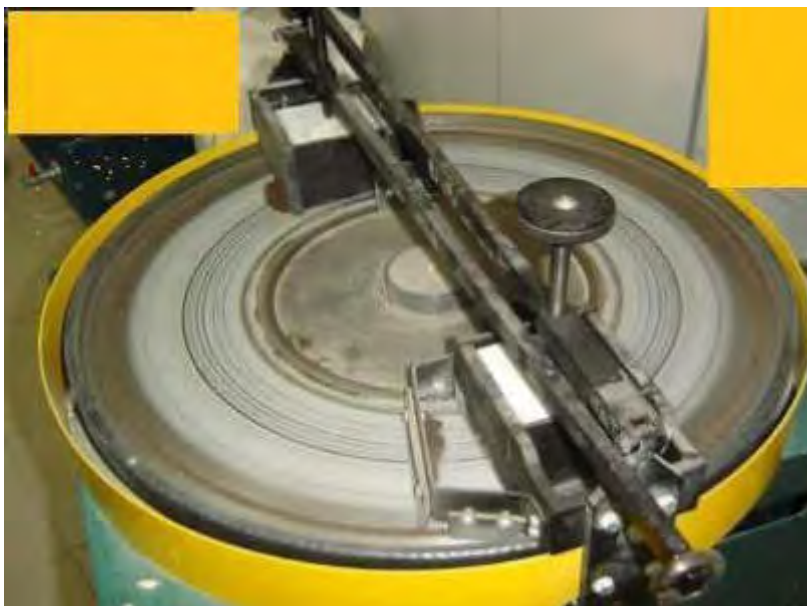


Рис. 3.2. Круг для испытания на истираемость

После 250 оборотов, что соответствует 500 м пути, проделанного образцом по диску, круг автоматически выключается. Образец вынимают из обоймы, очищают от пыли, взвешивают, затем опять вставляют в захваты и продолжают испытание. После 250 оборотов образец снова взвешивают. Если имеется большая разница потери в массе между первым и вторым испытаниями, то продолжают испытание еще на 250 оборотов диска.

Сопротивление истиранию вычисляют по потере массы образца в граммах за 1000 м пути. Показатель истирания I определяется в г/см^2 по формуле:

$$I = \frac{m_1 - m_2}{A} \quad (3.7)$$

где m_1 – масса образца до истирания, г;

m_2 – то же после истирания, г;

A – площадь истирания, см².

За окончательный результат истирания принимают среднее арифметическое значение, полученное для двух образцов.

Результаты испытаний

Результаты испытания по определению истираемости горных пород заносят в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Результаты испытаний на истираемость горных пород

Горная порода	Масса образца, г		Размеры образцов, см	Площадь истирания A , см ²	Истираемость I , г/см ²
	до испытания m_1	после испытания m_2			

Заключение

Проанализировать показатели истираемости горных пород в зависимости от их твердости.

Задание 8. ИЗУЧЕНИЕ ДЕКОРАТИВНО-ОТДЕЛОЧНЫХ (ЭСТЕТИЧЕСКИХ) СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

К декоративно-отделочным свойствам природных каменных материалов относятся цвет, блеск, структура, фактура и текстура.

Знание и оценка этих свойств для природного камня позволяет рационально выбрать область его применения в архитектурно-строительной практике.

Цвет и блеск природных каменных материалов

Под цветом материала понимают определенное зрительное ощущение. Оно является результатом воздействия на глаз потоков электромагнитного излучения в диапазоне видимой части спектра, отраженного от поверхности материала.

Цвета строительных материалов разделяют на *ахроматические* (белый, черный и серый) и *хроматические* (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый).

Природные каменные материалы различают *одноцветные* (мрамор, песчаник, кварцит) и *многоцветные* (граниты, сиениты, диабазы), состоящие из различных окрашенных породообразующих минералов. Для многоцветных природных камней характерен "средний" преобладающий цвет, четкость восприятия которого зависит от степени зернистости породы и контрастности расцветки минералов.

Блеск – это способность поверхности материала направленно отражать световой поток. Наибольший блеск характерен для идеальных гладких зеркальных поверхностей. Шероховатые и матовые поверхности рассеивают отраженный световой поток диффузно, т.е. равномерно во все стороны.

По оценке природных каменных материалов следует также учитывать их блеск. Различают *тусклый, жирный, перламутровый* и *яркий* блеск. Некоторые минералы (лабрадор) обладают *иризацией* (отблеском в изломе).

Структура каменных материалов

Под **структурой** горной породы понимают особенности ее внутреннего строения. Для природных каменных материалов их структуру определяют по размерам и форме кристаллов, способу цементирования (срастания) составных частей, степени кристалличности.

Различают структуры: *кристаллические* (крупно-, средне- и мелкозернистые), *равномерно-* и *неравномернозернистые*; *плотные* и *пористые*; *слоистые, волокнистые, пластинчатые* и *однородные*.

Фактура и текстура

Фактура – это видимое строение, характер лицевой поверхности материала, полученный путем ее обработки. По способам обработки поверхности природного камня фактуры делят на *ударные* и *абразивные*.

Ударные фактуры:

- фактура *скалы (скальная)* – получают сколом камня (высота рельефа 5...15 мм);
- *рифленая* – правильные непрерывные параллельные бороздки с чередованием бугров и впадин с высотой рельефа 1-3 мм;
- *бороздчатая* – равномерно шероховатая поверхность с прерывистыми бороздками и высотой рельефа 0,5-2 мм;
- *точечная* - равномерно шероховатая поверхность с точечными углублениями и высотой рельефа 0,5-2 мм.

Абразивные фактуры:

- *пиленая* – представляет собой бороздки с высотой рельефа до 2 мм;
- *шлифованная* – легкая равномерная шероховатость, вид матовый, высота рельефа – до 0,5 мм;

- *лощенная* – гладкая, бархатисто-матовая с выявлением рисунка камня;
- *зеркальная* – полированная, гладкая, дающая четкое отражение;
- *вскрытая* – очищенная, матовая с выявленным цветом и рисунком.

Под **текстурой** горных пород подразумевают характер расположения составных частей (минералов) породы. Текстура легко определяется при макроскопическом исследовании (невооруженным глазом).

Различают текстуры горных пород:

- *слоистую*,
- *сланцевую*,
- *пористую*,
- *массивную*.

Массивную текстуру имеют преимущественно магматические горные породы.

Приборы и материалы

1. Блескомер фотоэлектрический
2. Образцы-плитки из горных пород (кварцит, гранит, мрамор, известняк, плотный, лабрадорит)

Методика оценки декоративности

Изучение декоративных свойств каменных материалов проводят на образцах-плитках размерами 100x100x30 мм. Линейные поверхности образцов имеют абразивную или ударную фактуру.

Оценку степени декоративности проводят по цвету, фактуре, текстуре, структуре и блеску.

Определяется блеск с помощью фотоэлектрического блескомера типа ФБ-2 по доле отраженного света от поверхности образца. Мерой блеска является доля строго направленного (зеркальноотраженного) света в общем отраженном световом потоке.

Цвет, структура, фактура и текстура лицевой поверхности образцов-плиток оцениваются визуально.

Результаты оценки декоративно-отделочных свойств природных каменных материалов заносят в табл. 3.11.

Декоративно-отделочные свойства горных пород

Вид породы и место-рождение	Цвет	Структура	Фактура	Текстура	Показатель блеска
Мрамор					
Гранит					
Лабрадорит					
Кварцит					

18.3. Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Основные породообразующие минералы магматических горных пород.
2. Основные породообразующие минералы осадочных горных пород.
3. Основные минералы, образующие метаморфические горные породы.
4. Как определить среднюю и истинную плотность горной породы?
5. Как вычислить пористость горной породы?
6. На каких образцах определяется предел прочности при осевом растяжении при испытании путем раскалывания?
7. Какие горные породы определяют, используя раствор соляной кислоты *HCl*?
8. По какой формуле вычисляется предел прочности при осевом растяжении при испытании путем раскалывания?
9. Что такое твердость и как она определяется для горных пород?
10. Что такое истираемость и как она определяется?
11. Какие различают декоративно-отделочные свойства природных каменных материалов?
12. Как определить блеск лицевой поверхности природных каменных материалов?
13. Что такое фактура, и какие различают фактуры?

2.4. Литература

1. Оценка качества строительных материалов: основные О-93 методики лабораторных испытаний : учеб. пособие / В. С. Руднов [и др.] ; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И. К. Доманской. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 108 с.

2. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Ю. И. Киреева, Е. Н. Храмцова ; Министерство образования Республики Беларусь, Полоцкий государственный университет. - Новополоцк : ПГУ, 2018. - 119 с..
3. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / В. С. Руднов, Е. В. Владимирова, И. К. Доманская, Е. С. Герасимова ; под общей редакцией И. К. Доманской ; Министерство образования и науки Российской Федерации. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. — 203 с.
4. Сергеева В. В. Кристаллография и минералогия : учебно-методическое пособие / В. В. Сергеева ; научный редактор Ф. Л. Капустин. — Екатеринбург : Из-во Урал. ун-та, 2017. — 152
5. Минералы и горные породы:учеб.пособие / М.В.Венгерова, А. С. Венгеров. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 132 с.
6. ГОСТ 30629 Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытания.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ

Цель работы

- Изучить коллекции основных пород древесины;
- Ознакомиться с действующей технической нормативной документацией, с традиционными стандартными методами лабораторных исследований свойств древесины;
- Приобрести навыки работы с приборами и оборудованием по определению физико-механических и декоративно-отделочных свойств древесных пород.

4.1 Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

(с использованием учебников, конспекта лекций)

- К какому виду строительных материалов относится древесина?
- Какое влияние оказывает макроструктура древесины на ее свойства?
- Как Вы понимаете выражение: древесина – материал анизотропный?
- Какое влияние оказывает влажность древесины на ее свойства?
- Причины коробления изделий из древесины.
- Причины загнивания изделий из древесины.
- С какой целью при оценке свойств древесины введен показатель стандартной влажности?
- От чего зависит средняя плотность ρ_0 древесины?
- Какие изделия и конструкции получают из древесины, где их применяют в строительстве?
- По какой схеме испытывают древесину на изгиб?

4.2 Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение влажности древесины.

Задание 2. Определение линейной усушки (по ГОСТ 16483).

Задание 3. Определение плотности (средней плотности) и пористости древесины.

Задание 4. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон и коэффициента конструктивного качества.

Задание 5. Определение предела прочности при статическом изгибе.

Задание 6. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон.

Задание 7. Определение содержания поздней древесины в годичном слое и приближенная оценка прочности древесины *неразрушающим* методом.

Задание 8. Изучение микроструктуры древесины.

Задание 9. Определение качества пиломатериалов по наличию пороков.

Задание 10. Защита древесины от гниения и возгорания.

Общие сведения о древесных материалах

Древесина представляет собой природный органический материал волокнистого строения. Она, как строительный материал, обладает замечательными свойствами:

- сравнительно большой прочностью при небольшой средней плотности, т.е. высоким коэффициентом конструктивного качества $K_{к.к.}$

$$\left(K_{к.к.} = R_c / \rho_0 \right);$$

- упругостью;
- малым значением величины теплопроводности λ , т.е. малой пористостью;
- малой объемной теплоемкостью;
- простотой (легкостью) обработки;
- хорошими акустическими свойствами;
- гигиеничностью;
- декоративностью.

Благодаря этим положительным качествам и относительно невысокой стоимости, древесина широко применяется в строительстве.

Из нее изготавливают:

- 1) эффективные несущие конструкции (балки, фермы, арки);
- 2) столярные изделия (окна, двери, мебель);
- 3) наружные стены;
- 4) теплые полы;

Древесину широко используют для отделки интерьера и т.д.

Однако при использовании древесины в строительстве необходимо учитывать и некоторые негативные особенности этого материала, зависящие от его строения и состава:

1. **гигроскопичность**, из-за чего при колебаниях влажности окружающей среды древесина претерпевает деформации разбухания или усушки, т.е. коробления;

2. **неоднородность строения и свойств**, связанную с волокнистой структурой, наличием сучков, трещин, кривизны и других пороков;
3. **склонность к загниванию** при эксплуатации во влажных и теплых условиях;
4. **возгораемость** при действии огня и высокой температуры.

Поэтому при применении древесины в строительстве возникает необходимость в специальных мерах по защите древесины от вредных для нее воздействий. Применяя древесину, строители должны уметь ослабить влияние ее отрицательных качеств и в максимальной степени использовать положительные.

Особенностью древесины является сильно выраженная **анизотропность**: ее свойства в разных направлениях различны. Это связано с макро- и микроструктурой древесины (это необходимо проследить при выполнении заданий данной лабораторной работы).

Так, например, при набухании или усадке, вследствие изменения влажности, деформация поперек волокон на порядок больше, чем вдоль. Объясняется это строением древесины. Она состоит из довольно крупных клеток, имеющих вытянутую форму (длина клетки превышает ее ширину в 5...10 раз) и расположенных преимущественно вдоль ее ствола. Поэтому свойства древесины зависят от положения древесных волокон (клеток) по отношению к действующему фактору. При испытании древесины различают три направления приложения внешних воздействий: вдоль волокон (торцовое направление), поперек волокон перпендикулярно годовым

слоям (радиальное направление) и поперек волокон параллельно годовым слоям (тангентальное направление) (рис.4.1).

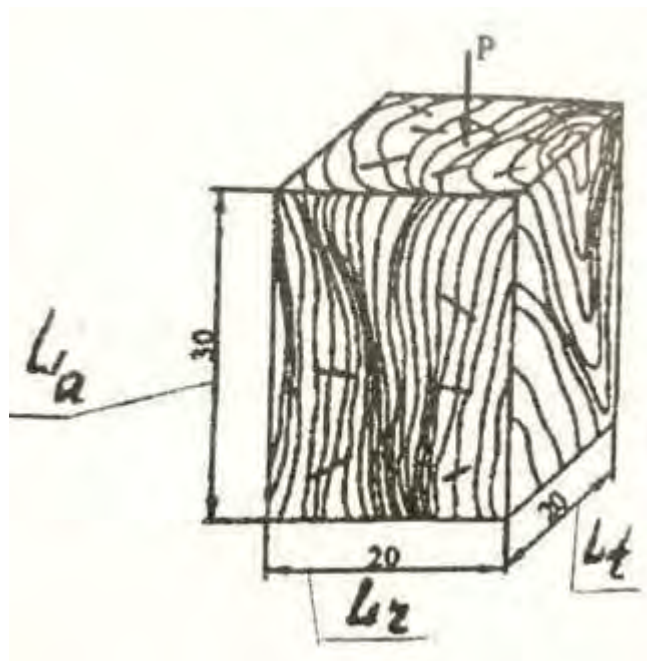


Рис.4.1 Образец древесины с обозначением размеров: L_a - вдоль волокон;
 L_r - в радиальном направлении;
 L_t - в тангентальном направлении

В строительстве используют древесину хвойных и лиственных пород. При известной общности древесина разных пород различается по структуре и свойствам.

Древесина – самовозобновляющийся строительный материал, из которого изготавливают готовые изделия и конструкции. Отходы древесины – сырье для производства изделий с использованием полимерных и минеральных вяжущих.

Клееные деревянные конструкции (КДК) полной заводской готовности, обладающая высокой прочностью, стойкостью в агрессивных условиях эксплуатации, малой плотностью (по сравнению с железобетонными конструкциями), позволяют значительно снизить расход металла. При изготовлении КДК может быть использована качественная древесина малых сечений и длин, что увеличивает процент полезного использования стволов деревьев. Переработка некондиционных и непригодных для КДК отходов в различные строительные материалы, изделия и конструкции (арболит, древесно-стружечные плиты ДСП, цементно-стружечные плиты ЦСП и др.) позволяет не только дать хорошие заменители древесины для полов, перегородок, дверей и др., но и повысить экономическую эффективность зданий с их применением.

В условиях дефицита энергоресурсов очень важно и то, что по сравнению с производством железобетонных и металлических конструкций производство КДК требует во много раз меньше энергозатрат. Древесина применяется в мостостроении (модифицированная и обычная) в качестве несущих конструкций и как опалубка для бетонных работ.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Вода, содержащаяся в древесине, может находиться:

1. в *свободном состоянии (капиллярная)*, располагаясь между волокнами, в полостях клеток и в сосудах;
2. в *физически связанном состоянии*, адсорбируясь на стенках пор и капилляров из воздуха (*гигроскопическая*). Эта вода поглощается древесиной непосредственно из воздуха;
 - в *химически связанном состоянии*, входя в состав целлюлозы $(C_6H_{10}O_5)_n$, где $n > 2500$.

Древесина относится к гидрофильным материалам, легко впитывающим и отдающим воду при изменении температуры и влажности окружающей среды. Изменение влажностного состояния влияет на ее физические и механические свойства. Усушка по различным направлениям неодинакова. Вдоль волокон древесины – наименьшая (0,1...0,3) %; в радиальном – (3...6) %; в тангентальном – (6...12) %.

При увеличении влажности древесины сначала возрастает масса образца древесины, а затем объем. Сравнение численных показателей всех свойств древесины проводится при стандартной влажности, которая, как и в международных стандартах ISO, так и в ГОСТ РФ установлена 12 %.

Определение влажности древесины стандартным весовым методом (согласно ГОСТ 16483.7)

Влажность древесины – это отношение содержащейся в ней свободной и связанной влаги к массе древесины в абсолютно сухом состоянии, выраженное в процентах.

Влажность древесины измеряют весовым методом или с помощью электровлажгомера (электрический метод определения влажности).

Наиболее распространенным и точным является весовой метод определения влажности древесины.

1. Сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$.
2. Весы технические с погрешностью взвешивания не более 0,01 г.
3. Штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм.
4. Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм (по 3 образца каждой породы).

Примечание: Эти же образцы используют для определения усушки (задание 2) и средней плотности (задание 3).

Методика испытаний

Влажность древесины по ГОСТ 16483.7 определяют следующим образом:

I. Массу образца определяют на технических весах;

II. Определяют размеры образцов (для определения линейной усушки для заданий 2 и 3), и результаты испытаний заносят в табл. 4.1 и 4.2. Образцы помещают в сушильный шкаф, в котором автоматически выдерживается температура $100 \dots 105^\circ\text{C}$. Температура не должна превышать 105°C , так как при большей температуре происходит выделение смолы (из древесины хвойных пород) и начинается химическое разложение древесины. Первый раз массу образцов определяют через определенное время после начала высушивания: для образцов из древесины всех пород кроме ясеня и дуба – через 6 часов, а из ясеня и дуба – через 10 часов. Второе и последующие взвешивания проводят через каждые 2 часа.

III. Затем образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы, то есть до тех пор, пока следующее взвешивание не даст тот же результат, что и предыдущие (в пределах точности взвешивания).

IV. Влажность W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100, \quad (4.1)$$

где m_1 – масса влажного образца, г;

m_2 – масса высушенного образца, г.

Достоинствами весового метода определения влажности являются: большая точность при любом значении начальной влажности; относительная простота при наличии необходимого оборудования.

Недостатком метода является большая продолжительность сушки образцов (от 12 до 24 ч.)

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 4.1.

Результаты определения влажности древесины

Определения	Маркировка образца		
	1	2	3
Масса образца до сушки m_1 , г			
Масса образца после сушки m_2 , г			
Масса испарившейся воды ($m_1 - m_2$), г			
Влажность древесины W , %			
Среднее арифметическое значение влажности W по результатам испытаний			

Определение влажности древесины экспресс–методом

Сушка древесины до постоянной массы – процесс длительный, поэтому в лаборатории, наряду с описанным выше методом используется экспресс–метод определения влажности древесины по электропроводности, с помощью электронного влагомера, снабженного двумя или тремя иглами-датчиками, которые погружают в образец из древесины на глубину 8 мм, пропуская через них электрический ток. Величину влажности (в диапазоне до 30 %) считывают по шкале прибора с погрешностью не более 1...1,5 %. Недостаток этого метода в том, что прибор дает возможность определить влажность только в месте контакта иглол с древесиной, а не среднюю влажность по сечению материала.

Приборы и материалы

- Электронный влагомер «ЭВ–2К» или другой прибор подобного типа (рис. 4.2).
- Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.



Рис. 4.2 Влагомер для измерения влажности

Метод измерения влажности с помощью электровлагомера основан на зависимости электрического сопротивления древесины от ее влажности: чем больше влажность древесины, тем меньше ее электрическое сопротивление. Рабочей частью наиболее распространенного влагомера является датчик, представляющий собой ручку с тремя металлическими иглами и с подведенными к ним электропроводами, которые соединены с прибором. Иглы датчика вдавливают (погружают) в древесину до упора рукоятки в поверхность древесины (на глубину 8 мм у электровлагомера ЭВ-2К), и включают прибор, пропуская через них (иглы) электрический ток. На шкале указывается влажность древесины в процентах.

Достоинства измерения влажности электровлагомером: оперативность и быстрота определения влажности и возможность проверки влажности лесоматериала или изделия из древесины любого размера.

Недостатками являются: определение влажности только в месте контакта иглолок с древесиной, а не средняя влажность по сечению материала и очень невысокая точность измерения. При влажности до 30 % погрешность измерения составляет 1...1,5 %, а при влажности более 30 % – погрешность 10%. Существуют и другие типы электровлагомеров.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 4.2.

Результаты определения влажности древесины экспресс-методом

Определения	Образцы		
	1	2	3
Влажность образца древесины по прибору W , %			
Среднее арифметическое значение влажности W , %			

Заключение

Проанализировать сходимость результатов, полученных по разным методикам.

**Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ УСУШКИ
(по ГОСТ 16483.37, СТБ 1725)**

Усушка древесины - уменьшение размеров древесины при удалении из нее связанной воды.

Удаление влаги из древесины называется *сушкой*. При сушке древесины сначала с ее поверхности испаряется свободная влага, а затем гигроскопическая. При увлажнении древесины влагой, содержащейся в воздухе, влажность древесины не может превысить предела гигроскопичности, поскольку увлажняются только клеточные стенки – микрофибриллы. Появление свободной влаги при этом невозможно, даже если воздух будет максимально насыщен водяными парами. При постоянных температуре и влажности воздуха, влажность древесины будет стремиться к определенной величине, которая называется **устойчивой влажностью**. Устойчивая влажность может быть получена в результате высыхания древесины (десорбция) или в случае поглощения древесиной влаги из воздуха (сорбция).

Приборы и материалы

1. Сушильный шкаф.
2. Штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм.
3. Образцы древесины, имеющие форму прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой вдоль волокон от 10 до 30 мм. При определении усушки вдоль волокон высота образцов должна быть 100 мм.
4. Бюксы с притертыми крышками или эксикатор с гигроскопическим веществом.

Методика испытаний

Определение проводится по методике ГОСТ 16488.37 и состоит в измерении размеров образцов в состоянии:

- а) исходной влажности W ;
- б) и после их высушивания.

Образцы для испытаний представляют собой прямоугольные призмы с основанием приблизительно 20х20 мм и длиной (высотой) вдоль волокон (от 10 до 30) мм. До испытаний образцы длительно выдерживаются в эксикаторе с гигроскопическим веществом для установления в них однородной равновесной влажности.

Исходную влажность древесины и влажность после высушивания удобно контролировать с помощью электронного влагомера или другого прибора.

Имеющиеся максимальные размеры каждого образца в радиальном $L_{r \max}$ и тангентальном $L_{t \max}$ направлениях, а также $L_{a \max}$ в направлении вдоль волокон, измеряют посередине радиальной и тангентальной поверхности штангенциркулем с точностью до 0,1 мм. Места установки штангенциркуля при замерах отмечают на образцах карандашом с тем, чтобы до и после сушки они производились в тех же местах.

Сушка образцов производится в сушильном шкафу при температуре (103 ± 2) °С. Образцы располагаются в бюксах² со снятыми крышками; но после сушки бюксы следует закрыть крышками и в таком состоянии охладить до комнатной температуры; затем снять крышки, извлечь образцы и *быстро* измерить их размеры.

Охлаждение необходимо, чтобы отделить интересующие нас влажностные деформации древесины от сопутствующих им температурных деформаций, а закрывать бюксы необходимо, чтобы предотвратить увлажнение образцов в процессе охлаждения.

По результатам измерения размеров определяют показатели линейной усушки:

- для направления вдоль волокон древесины $\beta_{a \max}$
- для радиального направления $\beta_{r \max}$
- для тангентального направления $\beta_{t \max}$.
- по объему (если это необходимо).

Максимальная усушка (в мм) определяется как разность в линейных размерах образцов до и после сушки, а относительная усушка (в процентах) – по формуле:

$$\beta = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}} \cdot 100, \quad (4.2)$$

где L_{\max} – размер образца при влажности W до сушки в соответствующем направлении, мм;

L_{\min} – то же, после сушки, мм

² Бюкс – стаканчик для взвешивания, изготовленный из алюминия или стекла с крышечкой на притертых шлифах, обеспечивающих герметичность. На стаканчиках для взвешивания и крышках должны быть выгравированы, вытравлены или нанесены несмываемой краской индивидуальные номера каждой пары (стаканчик и крышка).

Результаты испытаний

Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 4.3.

Разница в усушке древесины в тангентальном и радиальном направлениях и неравномерность высыхания сопровождается возникновением внутренних напряжений в древесине, что может вызвать ее коробление и растрескивание. Боковые края досок стремятся выгнуться в сторону выпуклости годовых слоев, а наибольшему короблению подвержены доски, выполненные из древесины, расположенные ближе к поверхности бревна и широкие доски.

Таблица 4.3

Результаты определения усушки древесины

Измерения	№ образца	Размеры, мм		Линейная усушка	
		до сушки L_{max} при влажности $W = _ \%$	после сушки L_{min} при влажности $W = _ \%$	$L_{max} - L_{min}$ абсолютная, мм	относительная β , %
Размер образца (вдоль волокон) L_a , мм	1				$\beta_{a \max} =$
	2				
	3				
	среднее	--	--		--
Ширина (в радиальном направлении) L_r , мм	1				$\beta_r \max =$
	2				
	3				
	среднее	--	--		--
Толщина (в тангентальном направлении) L_t , мм	1				$\beta_t \max =$
	2				
	3				
	среднее	--	--		--

Заключение

Необходимо сравнить величины относительных деформаций усушки древесины в разных направлениях; объяснить результаты опытов, исходя из рассмотрения микроструктуры древесины (см. задание 7).

На основании полученных данных студенты могут дать прогноз деформаций и коробления пиломатериалов, а также возможного трещинообразования в них при изменении влажностного состояния. Примеры конкретных ситуаций задает преподаватель; два примера приводятся ниже (рис.4.3).

Пример 1. Коробление досок

Студентам надлежит ответить, какому изменению влажности (увеличению или уменьшению) соответствуют случаи 1 и 2.



Рис. 4.3. Характерные деформации и коробление пиломатериалов

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ (СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ) И ПОРИСТОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью взвешивания не более 0,01 г.
2. Штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм.
3. Прибор или аппаратура для определения влажности древесины экспресс-методом.
4. Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм.

Методика испытаний

Среднюю плотность древесины ρ_w при влажности W в момент испытания определяют по методике, изложенной в ГОСТ 16483.1 и вычисляют в кг/м^3 по формуле:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \quad (4.3)$$

где m_w – масса образца при влажности W , кг (г);

V_w – объем образца при влажности W , м^3 (см^3).

Поскольку образец представляет собой прямоугольную призму, объем вычисляют как произведение длины, ширины и высоты.

Как изменится *плотность древесины* (т.е. плотность данного материала) при изменении влажности, например, при ее уменьшении? Очевидно, при уменьшении влажности древесина станет легче, но одновременно уменьшится и ее объем, как мы убедились в ходе выполнения задания 2. Поэтому изменение плотности не пропорционально изменению массы и в соответствии с ГОСТ 16483.1 определяется по таблице коэффициентов (табл.4.4).

Результаты испытаний пересчитывают на стандартную влажность 12 %, по формуле:

$$\rho_{12} = \frac{\rho_w}{K_{12}^w}, \quad (4.4)$$

где K_{12}^w – коэффициент пересчета, определяемый по табл. 13.4.

Древесина – относительно легкий материал. Это связано с тем, что древесина – материал с большой пористостью, (при рассмотрении микроструктуры древесины под микроскопом в задании 7, это подтвердится наглядно). Уже на основании результата проведенных испытаний можно определить величину пористости древесины в процентах по формуле:

$$П = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100, \quad (4.5)$$

где ρ_0 – плотность сухой древесины, равная отношению массы абсолютно сухой древесины к ее объему.

Величину ρ_0 можно рассчитать по формуле:

$$\rho_0 = \rho / 1,12, \quad (4.6)$$

где ρ – плотность древесинного вещества. Величина ρ составляет примерно 1,55 г/см^3 или 1550 кг/м^3 .

**Таблица коэффициентов изменения плотности
в зависимости от влажности**

Влажность W , %	Коэффициент K_{12}^W	Влажность, W , %	Коэффициент K_{12}^W	Влажность W , %	Коэффициент K_{12}^W
5	0,972	14	1,007	23	1,034
6	0,977	15	1,010	24	1,036
7	0,981	16	1,014	25	1,039
8	0,985	17	1,017	26	1,041
9	0,989	18	1,020	27	1,043
10	0,992	19	1,023	28	1,046
11	0,996	20	1,026	29	1,048
12	1,000	21	1,029	30	1,050
13	1,004	22	1,031		

Результаты испытаний

Результаты измерений и расчетов следует записать в табл. 4.5.

Заключение

Сравнить значение средней плотности древесины ρ_0 с этим показателем для других природных и искусственных материалов (например, кирпича).

Таблица 4.5

Результаты определения плотности древесины

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Влажность образца, W , %			
Масса образца m_w при влажности W , г			
Размеры образца, при влажности W , см: длина l_w ширина b_w толщина a_w			
Объем образца V_w при влажности W , см ³			
Плотность древесины ρ_w при влажности W , г/см ³			
То же, кг/м ³			
Коэффициент пересчета K_{12}^W на влажность 12 %			
Плотность древесины ρ_{12} при влажности 12 %, кг/м ³			
Среднее арифметическое значение ρ_{12} , кг/м ³			
Плотность сухой древесины, ρ_0 , кг/м ³			
Пористость древесины P при $W = 12$ %, , %			

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН И КОЭФФИЦИЕНТА КОНСТРУКТИВНОГО КАЧЕСТВА (К_{к.к.})

Приборы и материалы

1. Машина испытательная или пресс гидравлический со шкалой усилий до 10 т (100 кН).
2. Штангенциркуль с точностью до 0,1 мм.
3. Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием примерно 20x20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм.
4. Электронный влагомер или другой прибор такого типа.

Методика испытаний

Определение предела прочности проводится по методике, изложенной в ГОСТ 16483.10. Образцы в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм подвергают сжатию, используя гидравлический пресс. Предварительно штангенциркулем измеряют размеры поперечного сечения образца на середине его длины с погрешностью не более 0,1 мм для уточнения площади поперечного сечения. С помощью электронного влагомера измеряют влажность образца W .

Образец устанавливают торцевой поверхностью в центре нижней плиты пресса, опускают верхнюю плиту пресса до соприкосновения с образцом, затем включают привод пресса и регулируют скорость нагружения образца, так, чтобы усилие возрастало равномерно, и продолжительность испытания от начала нагружения до разрушения образца составляла $1 \pm 0,5$ мин или со скоростью 2500...5000 Н/мин. Разрушением образца считают такое его состояние, когда стрелка силоизмерителя, показав максимальное сжимающее усилие, останавливается и начинает отклоняться в обратную сторону.

Предел прочности древесины σ_w с измеренной влажностью W в момент испытания вычисляют в МПа по формуле:

$$\sigma_w = \frac{F_{\max}}{a \times b}, \quad (4.7)$$

где F_{\max} – максимальное усилие, Н;

a и b – размеры поперечного сечения образца, мм.

Предел прочности σ_w пересчитывают на стандартную влажность 12 % по формуле:

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_w}{K_{12}^w}, \quad (4.8)$$

где K_{12}^w – коэффициент пересчета, определяемый по табл 4.6 при известной плотности древесины;

W – влажность образца в момент испытания, %.

Вычисление производят с округлением до 0,5 МПа.

Т а б л и ц а 4.6

Влаж- ность, %	Коэффициент пересчета K_{12}^w при плотности ρ_{12} , кг/м ³										
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
5	1,485	1,480	1,475	1,463	1,450	1,430	1,403	1,380	1,348	1,310	1,270
6	1,393	1,385	1,380	1,375	1,363	1,345	1,330	1,308	1,280	1,250	1,220
7	1,321	1,315	1,308	1,300	1,250	1,275	1,262	1,245	1,221	1,200	1,176
8	1,240	1,235	1,230	1,228	1,221	1,210	1,200	1,188	1,170	1,150	1,135
9	1,172	1,170	1,168	1,163	1,163	1,151	1,142	1,132	1,120	1,110	1,098
10	1,108	1,105	1,103	1,102	1,100	1,035	1,030	1,083	1,078	1,070	1,061
11	1,048	1,046	1,045	1,044	1,042	1,041	1,040	1,038	1,032	1,030	1,028
12	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
13	0,945	0,947	0,948	0,949	0,950	0,951	0,955	0,960	0,963	0,968	0,970
14	0,838	0,899	0,900	0,901	0,903	0,910	0,915	0,920	0,925	0,935	0,941
15	0,849	0,850	0,852	0,855	0,860	0,868	0,873	0,882	0,892	0,902	0,915
16	0,803	0,808	0,810	0,815	0,820	0,833	0,850	0,855	0,865	0,880	0,890
17	0,768	0,770	0,775	0,780	0,783	0,798	0,806	0,818	0,848	0,855	0,870
18	0,725	0,730	0,735	0,741	0,751	0,764	0,780	0,790	0,808	0,830	0,850
19	0,690	0,695	0,700	0,708	0,720	0,730	0,740	0,760	0,785	0,810	0,830
20	0,655	0,660	0,670	0,608	0,685	0,700	0,720	0,740	0,760	0,788	0,810
21	0,625	0,630	0,638	0,645	0,655	0,672	0,693	0,710	0,738	0,765	0,795
22	0,600	0,605	0,611	0,620	0,631	0,650	0,670	0,690	0,716	0,746	0,780
23	0,570	0,580	0,582	0,595	0,608	0,625	0,647	0,668	0,695	0,730	0,765
24	0,550	0,556	0,561	0,570	0,585	0,608	0,628	0,650	0,676	0,714	0,750
25	0,525	0,533	0,540	0,550	0,560	0,585	0,610	0,630	0,660	0,700	0,736
26	0,503	0,512	0,520	0,530	0,542	0,567	0,590	0,612	0,645	0,686	0,723
27	0,480	0,490	0,500	0,510	0,525	0,548	0,570	0,600	0,632	0,672	0,710
28	0,460	0,470	0,480	0,490	0,508	0,530	0,552	0,580	0,620	0,660	0,698
29	0,444	0,452	0,464	0,475	0,492	0,515	0,536	0,570	0,607	0,650	0,688
≥30	0,428	0,432	0,446	0,460	0,476	0,502	0,555	0,555	0,596	0,640	0,680

Примечание. Коэффициент пересчета K_{12}^w для промежуточных значений плотности определяют линейным интерполированием коэффициентов K_{12}^w для смежных значений плотности.

Коэффициент конструктивного качества вычисляют по формуле:

$$K_{KK} = \frac{\sigma_{12}}{\rho_{12}} \quad (4.9)$$

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 4.7.

Т а б л и ц а 4.7

Результаты определения прочности древесины при сжатии

Порода _____

Определения	Маркировки образцов		
	1	2	3
Размеры поперечного сечения, мм a b			
Площадь поперечного сечения, мм ² (см ²)			
Максимальное усилие F_{max} , Н (кгс)			
Предел прочности σ_w при влажности 12 %, МПа			
Влажность в момент испытания W , %.			
Предел прочности при влажности 12 % R_{12} , МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при влажности 12 %, МПа			
Коэффициент конструктивного качества $K_{к.к.}$			

Заключение

Оценить поведение образца древесины при его полном разрушении. Полученные результаты испытаний сравнивают со справочными данными учебника или справочника по строительным материалам.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

Приборы и материалы

1. Испытательная машина (например, пресс гидравлический) со шкалой усилий до 100 кН (10 т).
2. Штангенциркуль с точностью до 0,1 мм.

3. Образцы-балочки древесины в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20x20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм.
4. Приспособление, обеспечивающее изгиб образца приложением нагрузки к его боковой поверхности в середине расстояния между центрами опор.
5. Прибор для определения влажности экспресс-методом.

Методика испытаний

Испытания проводятся на образце-балочке в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20x20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм.

Перед испытанием измеряют ширину и высоту балочки *на середине длины* и отмечают карандашом места установки опор и приложения нагрузки в соответствии со схемой испытаний (рис. 4.3).

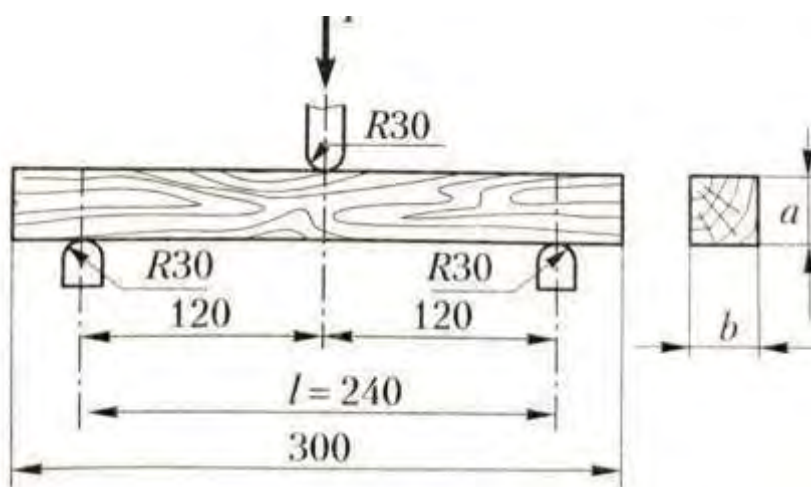


Рис. 4.3. Схема испытания древесины на статиче-

Образец устанавливают на нижнюю плиту гидравлического пресса так, чтобы изгибающее усилие было направлено в тангентальном направлении по касательным к годичным слоям. Испытание продолжают до разрушения образца. Предел прочности при статическом изгибе σ_w в МПа при данной влажности W вычисляют по формуле:

$$\sigma_w = \frac{3F_{\max} \times l}{2b \times h^2}, \quad (4.8)$$

где l - расстояние между центрами опор, мм;

b - ширина образца, мм;

h - высота образца, мм;

F_{\max} - разрушающее усилие, Н.

Полученный результат округляют до 1 МПа.

Предел прочности при изгибе σ_w должен быть пересчитан к влажности 12 % аналогично тому, как это сделано в задании 4 в отношении прочности при сжатии вдоль волокон по формуле:

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_w}{K_{12}^w}$$

где: K_{12}^w - коэффициент пересчета, определяемый по табл.4.8.

Таблица 4.8.

Средние коэффициенты пересчета K_{12}^w для предела прочности при статическом изгибе

Средние коэффициенты пересчета K_{12}^w для пород				
Влажность W , %	Белая акация, вяз, дуб, липа, ольха, ясень	Бук, груша, ива, осина, пихта, сосна кедровая и обыкновенная, тополь	Клен	Береза, граб, ель. лиственница, орех грецкий
5	1,375	1,360	1,400	1,360
6	1,310	1,310	1,340	1,300
7	1,260	1,260	1,260	1,245
8	1,195	1,195	1,205	1,195
9	1,140	1,140	1,150	1,150
10	1,100	1,090	1,100	1,100
11	1,050	1,050	1,050	1,045
12	1,000	1,000	1,000	1,000
13	0,955	0,955	0,955	0,955
14	0,915	0,915	0,915	0,920
15	0,880	0,880	0,880	0,885
16	0,845	0,845	0,845	0,850
17	0,815	0,815	0,815	0,820
18	0,780	0,780	0,780	0,785
19	0,755	0,750	0,755	0,760
20	0,725	0,720	0,730	0,720
21	0,700	0,700	0,710	0,695
22	0,680	0,670	0,690	0,670
23	0,665	0,655	0,670	0,650
24	0,650	0,640	0,660	0,630
25	0,640	0,625	0,650	0,610
26	0,630	0,610	0,650	0,590
27	0,625	0,600	0,650	0,580
28	0,620	0,595	0,650	0,570
29	0,620	0,590	0,650	0,560
≥30	0,615	0,580	0,650	0,550

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Результаты определения прочности древесины при статическом изгибе

Определения	Образцы		
	1	2	3
Ширина образца в радиальном направлении b , мм			
Высота образца в тангентальном направлении h , мм			
Расстояние между центрами опор l , мм			
Разрушающее усилие F_{max} , Н			
Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа			
Влажность в момент испытания W , %			
Предел прочности при изгибе при влажности 12 %, σ_{12} , МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при изгибе, МПа			

Заключение

Сравнить полученные результаты со справочными данными учебника или справочника по строительным материалам.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СКАЛЫВАНИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Приборы и материалы

- Испытательная машина (например, пресс гидравлический) со шкалой усилий до 100 кН (10 т).
- Штангенциркуль с погрешностью измерения до 0,1 мм.
- Образцы специальной формы с площадкой скалывания по тангентальной или радиальной плоскости.
- Приспособление к испытательной машине для закрепления образца.
- Прибор для определения влажности (например, влагомер ЭВ-2К).

Методика испытаний

Для проведения этого испытания по ГОСТ 16483.5 необходимо иметь приспособление для закрепления и испытания образца. Испытываются образцы специальной формы с площадкой скалывания по тангентальной или радиальной плоскости (рис.4.4).

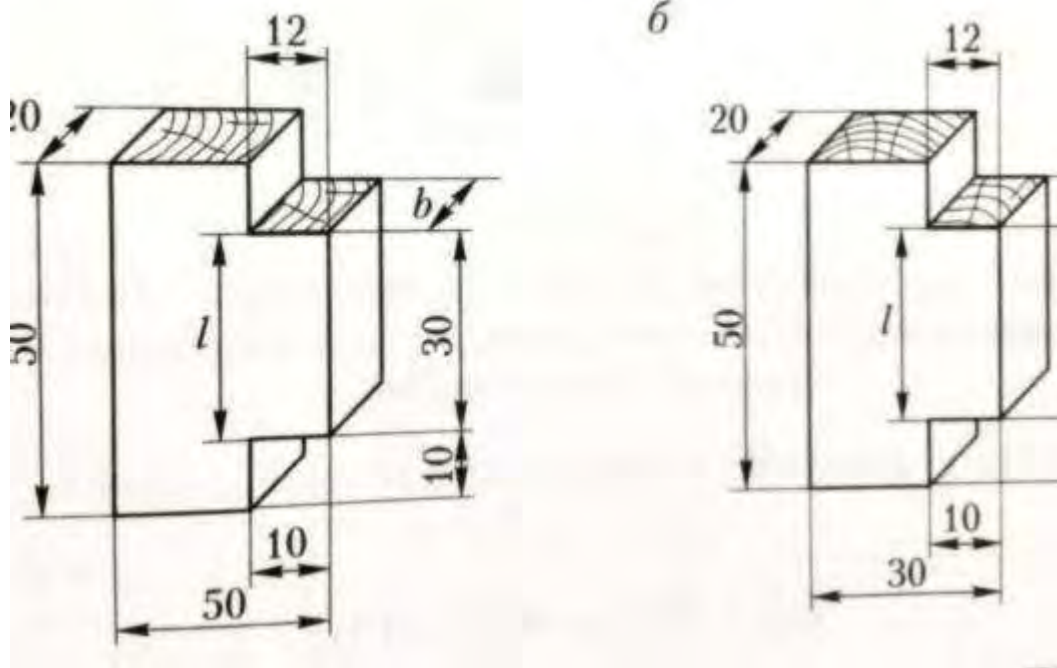


Рис. 4.4. Образцы для испытания древесины на скалывание вдоль волокон по плоскости: а) – тангентальной; б) – радиальной; b – ширина образца;

Перед испытанием ширина образца " b " и длина скалывания l измеряются штангенциркулем по ожидаемой плоскости скалывания с погрешностью не более 0,1 мм. Затем образец устанавливают в приспособление, слегка зажимают винт приспособления (5), чтобы образец не выпал, и помещают в центр опорной плиты

пресса. В связи с незначительной нагрузкой, необходимой для скалывания, перемещения передвижной плиты производят *осторожно*, чтобы не повредить образец. Затем включают привод пресса и доводят нагрузку до разрушения образца.

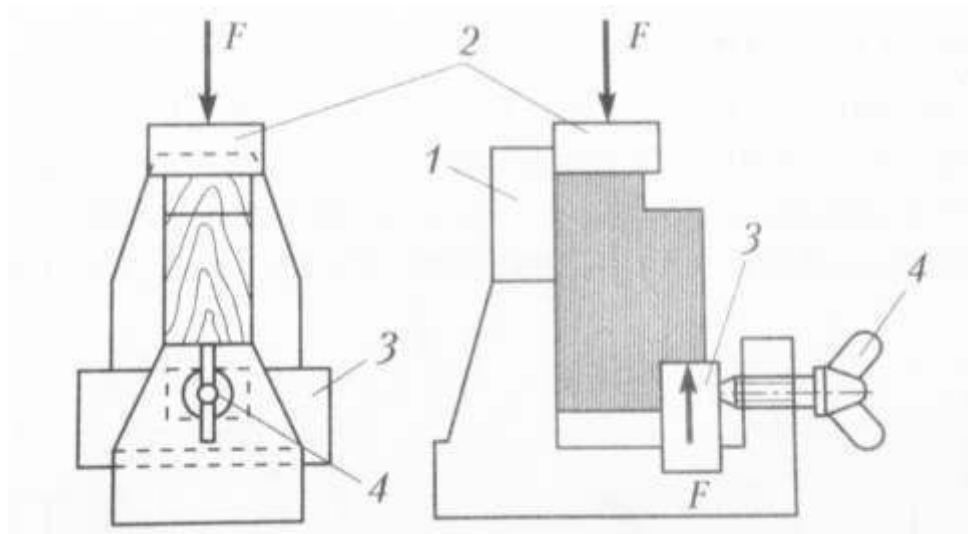


Рис. 4.5. Форма образца для испытания на скалывание вдоль волокон и приспособление для крепления и испытания образца

1 – образец; 2 – корпус прибора; 3 – нажимная

Предел прочности древесины при скалывании вдоль волокон в МПа с влажностью в момент испытания W вычисляют по формуле:

$$R_{ск} = \frac{F_{max}}{b \times l}, \quad (4.10)$$

где: F_{max} - максимальное усилие Н;

b – толщина образца, мм;

l – длина скалывания, мм

Полученное значение пересчитывают на влажность 12 % по формуле:

$$R_{ск(12)} = R_{ск(w)} [1 + \alpha (W - 12)], \quad (4.11)$$

где α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,03 для всех пород на 1% влажности;

W – влажность образца в момент испытания, %.

В случае влажности образцов, равной или большей предела гигроскопичности (30 %), прочность при скалывании и при изгибе при стандартной влажности определяется по формуле:

$$R_{12} = \frac{R_w}{K_{12}^{30}}, \quad (4.2)$$

где: K_{12}^{30} - коэффициент пересчета при влажности 30%, равный:

0,650 – для клена;

0,615 – для акации, липы, ольхи, ясеня;

0,580 – для бука, груши, ивы, сосны, пихты и тополя;

0,550 – для березы, граба, ели, лиственницы и ореха.

Среднее значение предела прочности при сжатии и статическом изгибе древесных пород приведено в табл.4.10

Таблица 4.10

Основные физико-механические свойства некоторых пород древесины
(среднее значение при влажности 12%)

Порода дерева	Плотность ρ_0 , кг/м ³	Коэффициент объемной усушки, %	Предел прочности (МПа) вдоль волокон при:			
			растяжении	сжатии $R_{сж}$	скалывании радиальном	статическом изгибе $R_{изг}$
Хвойные породы						
Лиственница	660	0,52	125	64,5	9,9	111,5
Сосна обыкновенная	500	0,44	103,5	48,5	7,5	86
Ель	445	0,43	103	44,5	6,9	79,5
Пихта сибирская	375	0,39	67	39	6,4	68,5
Лиственные породы						
Дуб	690	0,43	123	57,5	10,2	107,5
Береза	630	0,54	168	55	9,3	109,5
Бук	670	0,47	123	55,5	11,6	108,5
Липа	495	0,49	121	45,5	8,6	88
Ольха	520	0,43	101	44	8,1	80,5
Осина	495	0,41	125,5	42,5	6,3	78

Результаты испытаний

Результаты испытания заносит в табл. 4.11, перед которой следует указать, в какой плоскости производится скалывание – в тангентальной или радиальной.

Результаты определения прочности древесины при скалывании

Плоскость скалывания _____

Определения	Образцы		
	1	2	3
Ширина образца b , мм			
Длина скалывания l , мм			
Площадь скалывания S , мм ²			
Максимальное усилие F_{max} , Н			
Предел прочности при скалывании $R_{ск}^W$, МПа			
Влажность в момент испытания W , %			
Предел прочности при влажности 12% $R_{ск(12)}$, МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при скалывании, $R_{ск(12)}$ МПа			

Заключение

После получения результатов испытания, предусмотренных заданиями 4, 5 и 6 становится ясно, насколько различны могут быть показатели прочности древесины в зависимости от расположения ее волокон и направления усилия. Это подлжет учету при расчете врубок стропил, стоек, узлов деревянных ферм и других конструкций. Один из возможных примеров приведен на рис. 4.6.

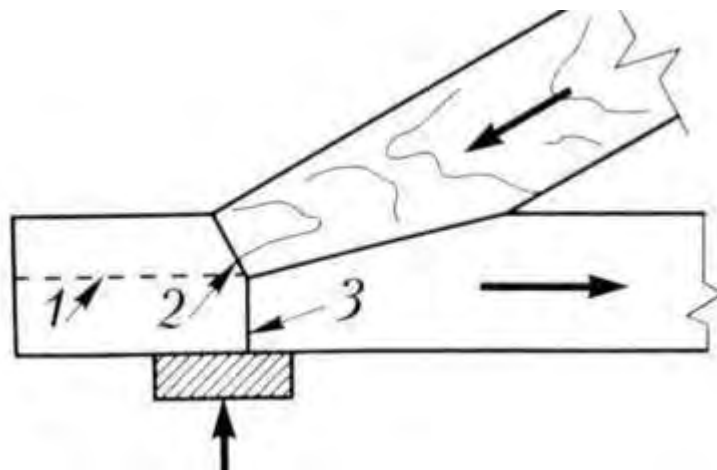


Рис. 4.6. Узел стропильной системы
 1 – площадь скалывания; 2 – площадь восприятия сжимающего усилия от верхнего пояса; 3 – площадь растяжения

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ В ГОДИЧНОМ СЛОЕ И ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

Приборы и материалы

- Линейка измерительная с погрешностью измерения не более 0,5 мм.
- Микроскоп инструментальный по ГОСТ 8074 или прибор-измеритель с точностью измерения до 0,1 мм.

Методика испытаний

На поперечном срезе ствола (рис.4.7) видны годовичные кольца, каждое из которых состоит:

- из слоя *ранней* древесины (весна – лето), **светлоокрашенной**, пористой, малопрочной и недолговечной;
- из слоя *поздней* древесины (лето – осень), **темной** за счет насыщения смолой, плотной, прочной и водостойкой.

Рассматривая под *микроскопом* раннюю и позднюю древесину годовичных слоев, можно сделать вывод, **что чем больше в сечении поздней древесины, тем выше ее плотность**, а, следовательно, и прочность при сжатии.

Содержание поздней древесины можно приблизительно определить по ГОСТ 16483.18 следующим образом.

На гладко обработанной поверхности поперечного разреза древесины проводят линию в радиальном направлении (перпендикулярно касательным к годичным кольцам) и на ней отмечают отрезок длиной l , например, 30 мм (но не менее 20 мм).

На этом отрезке с помощью измерителя под лупой замеряют ширину слоев поздней древесины (темные участки) в каждом поперечном слое ($a_1, a_2, a_3 \dots a_n$) (рис. 4.7).

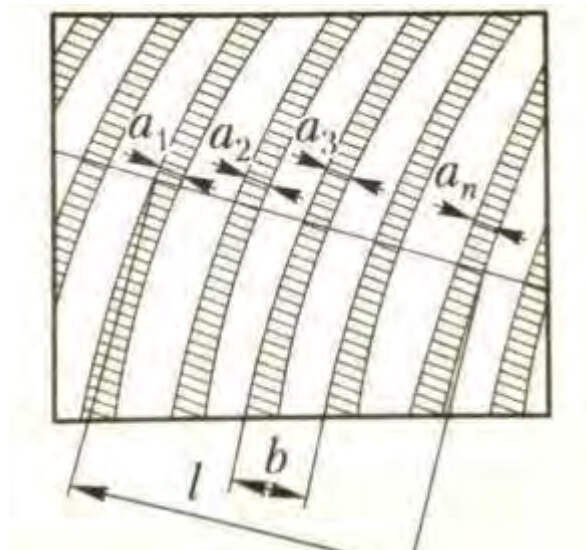


Рис. 4.7. Определение процентного содержания поздней древесины

Все полученные величины (в мм) суммируют ($\sum a_i$) и вычисляют по формуле содержание поздней древесины m в процентах.

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{l} \times 100, \quad (4.13)$$

где $\sum a_i = (a_1 + a_2 + a_3 \dots a_n)$ – общая ширина поздней древесины, см;

l – протяжение годичных слоев по радиальному направлению, см.

Средняя плотность ρ_0 зависит от породы дерева, его пористости. С увеличением плотности прочность древесины возрастает.

Именно эти зависимости положены в основу эмпирических формул расчета прочности древесины при сжатии вдоль волокон в МПа, которые были получены в результате обобщения большого объема экспериментальных данных.

Эмпирические формулы позволяют ориентировочно оценить прочность древесины:

1. по содержанию поздней древесины m ;

2. по величине средней плотности древесины ρ_0^{12} при стандартной влажности.

Прочность древесины при сжатии $R_{сж}^{12}$ в МПа при стандартной влажности рассчитывают по формулам

$$R_{сж, 12} = A \cdot m + B, \quad (4.14)$$

$$R_{сж, 12} = C \cdot \rho_{ср, 12} + D, \quad (4.15)$$

где m – содержание поздней древесины, %

$\rho_{ср, 12}$ – средняя плотность древесины при стандартной влажности, г/см³, (формула 13.4);

A, B, C, D – эмпирические коэффициенты, принимаемые по табл. 4.12.

Т а б л и ц а 4.12

Значение эмпирических коэффициентов для ориентировочной оценки прочности древесины при W=12 %

Вид испытания	Коэффициенты			
	А		В	
	Лиственные породы	Хвойные породы	Лиственные породы	Хвойные породы
Сжатие вдоль волокон	0,32	0,6	30,0	30,0
	С		D	
	68	61	-	10

Эмпирические формулы позволяют ориентировочно оценить прочность древесины, зная содержание в ней поздней древесины.

Для древесины сосны предел прочности при сжатии вдоль волокон в МПа можно оценить по формуле:

$$R_{сж} = 0,6 m + 30 \quad (4.16)$$

Результаты испытаний

Результаты испытания следует записать в табл. 4.13.

**Результаты определения содержания поздней древесины
в годичном слое**

Порода _____

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Общая длина отрезка l по радиальному направлению на плоскости поперечного разреза, мм			
Суммарная ширина частей поздней древесины в годичных слоях $\sum a_i$, мм			
Содержание поздней древесины m , %			
Ориентировочный предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон по эмпирической формуле, МПа			

Заключение

Полученные значения сравнивают с результатами испытания древесины разрушающими методами при стандартной влажности.

Задание 8. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ

Каждый студент рассматривает **под микроскопом** микроструктуру древесины, используя имеющуюся на кафедре коллекцию шлифов различных пород. Рассмотрению подлежат поперечный, радиальный и тангентальный разрезы древесины. Характерные текстуры древесины в указанных разрезах необходимо зарисовать, обратив особое внимание на клеточное строение древесины, ее пористость (связать с результатами из задания 3), специфику формы и расположения клеток, приводящую к тому, что на одинаковых по длине участках в трех характерных направлениях – вдоль волокон, радиальном и тангентальном – размещается различное число клеток. Именно этим и объясняется различная величина линейной усушки в указанных направлениях (задание 2).

При рассмотрении поперечного разреза ствола дерева следует обратить внимание на особенность строения годичных слоев, состоящую в том, что каждый из них состоит из более светлой и пористой *внутренней* части, образованной в начале вегетационного периода и более темной и плотной *наружной* части, образованной в конце вегетационного периода каждого года. Это соответственно ранняя и поздняя древесина годичного слоя.

Задание 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПО НАЛИЧИЮ ПОРОКОВ

Студентам предлагается определить качество (сортность) образцов пиломатериалов по наличию в них пороков, используя для этого ГОСТ 2140 "Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения" и Технические условия на пиломатериалы хвойных и лиственных пород (СТБ 1713 и СТБ 1714).

Результаты испытаний

Результаты осмотра и измерения представляют в табл.4.14.

Таблица 4.14

Оценка качества пиломатериалов по наличию пороков

Вид пиломатериала	Порода древесины	Пороки	Сорт пиломатериалов по ГОСТ	Норма ограничения пороков для данного сорта

Задание 10. ЗАЩИТА ДРЕВЕСИНЫ ОТ ГНИЕНИЯ И ВОЗГОРАНИЯ

Для повышения долговечности древесины и огнезащиты применяют защитные средства, которые подразделяются на антисептики, антипирены и средства комбинированного действия. Студенты знакомятся с некоторыми защитными средствами, определяют по ГОСТ 20022.1 их назначение, основные свойства и область применения, записывают необходимую информацию в табл. 4.5.

Результаты испытаний

Результаты осмотра заносят в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Методы защиты древесины от гниения и возгорания

Наименование защитного средства	Состав	Назначение	Растворимость и вымываемость	Область применения

Заключение

Подведение итогов лабораторной работы завершается перечислением строительных конструкций и изделий, в которых эффективно применяется древесина. Итоговые значения физико-технических показателей древесины по всему циклу лабораторных заданий, посвященных древесине заносят в таблицу 4.16.

Таблица 4.16

Физико-технические показатели древесины

Определения	Полученные результаты			
	1	2	3	среднее
1. Влажность W , %				
2. Линейная усушка, % <ul style="list-style-type: none"> • вдоль волокон • в радиальном направлении • в тангентальном направлении 				
3. Плотность при влажности 12 %, кг/м ³				
4. Пористость, %				
5. Предел прочности при влажности 12 %, МПа <ul style="list-style-type: none"> • при сжатии вдоль волокон • при статическом изгибе • при скалывании вдоль волокон 				
6. Микроструктура				
7. Содержание поздней древесины, т %				
8. Качество пиломатериалов по наличию пороков				
9. Защитные средства				

4.3 Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Чем объясняется высокое значение коэффициента конструктивного качества древесины?
2. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета коэффициента конструктивного качества древесины?
3. С какой целью определяется коэффициент конструктивного качества?
4. Перечислите положительные и отрицательные свойства древесины.
5. К какому виду строительных материалов относится древесина?
6. Каково макростроение?

7. По каким направлениям разрезов ствола дерева изучается микроструктура древесины?
8. Как определить среднюю плотность древесины?
9. В каком направлении древесина характеризуется наибольшей прочностью при сжатии и растяжении?
10. При каком направлении действия разрушающего усилия древесина лучше работает на изгиб?
11. Как анизотропность древесины влияет на ее свойства?
12. Как определить влажность древесины?
13. По какой формуле вычисляют влажность древесины?
14. Что такое гигроскопическая и капиллярная влажность древесины?
15. Какая величина стандартной влажности древесины?
16. В каких пределах изменяется линейная усушка в радиальном и тангентальном направлениях?
17. В каком из направлений наблюдается наибольшая усушка древесины при уменьшении влажности и наибольшее разбухание при увеличении влажности?
18. В каком из направлений наблюдается наименьшая усушка древесины при уменьшении влажности и наименьшее разбухание при увеличении влажности?
19. В каком направлении вероятно выпучивание (коробление) доски при увеличении влажности древесины?
20. В каком направлении вероятно выпучивание (коробление) доски при уменьшении влажности древесины?
21. Нарисуйте и объясните схему коробления досок при высыхании.
22. В каком направлении ствола вытянуты клетки древесины?
23. В каком направлении наименьшая теплопроводность древесины?
24. Какая часть древесины годичного слоя плотнее: внутренняя (ближе к оси ствола) или наружная?
25. Какое значение имеет содержание поздней древесины? Что такое поздняя древесина?
26. Чем определяется сорт пиломатериалов?
27. Виды пороков древесины.
28. Для чего предназначены антисептики?
29. Для чего предназначены антипирены?
30. При каком испытании на прочность из числа выполненных в ходе данной лабораторной работы древесина показала наименьшее сопротивление?
31. Как влияет влажность древесины на ее прочность, теплопроводность и электропроводность?

4.4 Литература

1. Герке Л.Н. Древесиноведение : учебное пособие / Герке Л.Н., Башкиров В.Н., Князева А.В.. — Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. — 103 с.
2. Леонтьев Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник / Л.Л. Леонтьев. – 2-е изд., стер. – Санкт-. Петербург: Лань, 2018. – 416 с.
3. ГОСТ 16483.1.– 84 Древесина. Метод определения плотности.
4. ГОСТ 16483.12.–72 Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон.
5. ГОСТ 16483.7. –71 Древесина. Методы определения влажности.
6. ГОСТ 16483.10.–73 Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон.
7. ГОСТ 2140.–81 Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения.
8. ГОСТ 7319.–2019 Пиломатериалы и заготовки лиственных пород. Атмосферная сушка и хранение.
9. СТБ 1713-2007. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия.
10. ГОСТ 16483.0.–89 Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям
11. ГОСТ 16483.3.–84 Древесина. Метод определения прочности при статическом изгибе.
12. ГОСТ 16483.18–72 Древесина. Метод определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое.
13. ГОСТ 20022.2–2018 Защита древесины. Классификация.
14. ГОСТ 20022.5–93 Защита древесины. Автоклавная пропитка маслянистыми защитными средствами.
15. ГОСТ 9625–2013 Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе
16. СТБ 1714-2007 Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия.

Лабораторная работа № 5

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

(керамический и силикатный кирпич)

Цель работы

1. Ознакомиться с образцами кирпича разных видов из имеющейся в лаборатории коллекции.
2. Освоить методики стандартных испытаний кирпича на лабораторном оборудовании для определения физико-механических свойств.
3. Освоить навыки определения основных показателей качества кирпича в соответствии с требованиями технической нормативной документации (СТБ, ГОСТ).
4. Определить особенности применения различных видов кирпича с учетом их свойств.

5.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какое основное и вспомогательное сырье используют для получения керамического и силикатного кирпичей?
2. Общая технология получения керамических изделий и силикатного кирпича.
3. Классификация керамических изделий по их назначению.
4. Какие стеновые керамические материалы Вы знаете?
5. По каким свойствам оценивают качество стеновых штучных материалов (кирпича силикатного и керамического)?
6. Какие отделочные керамические материалы Вы знаете?
7. Какие свойства определяют качество керамических материалов для наружной отделки зданий? Для внутренней отделки (полов и стен)?
7. Какими свойствами обладает глина? известковое тесто?
9. Какие керамические материалы получают методом полусухого прессования?
10. Какие керамические материалы получают способом пластического формования?
11. Какие керамические материалы получают литьевой (шликерной) технологией?
12. С какой целью при производстве керамических изделий применяют глазирование и ангобирование?
13. Что вызывают известковые включения в керамическом кирпиче?

5.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Оценка качества стеновых материалов по показателям внешнего вида и по отклонениям от геометрических размеров.

Задание 2. Определение средней плотности кирпича.

Задание 3. Определение плотности вещества (истинной плотности) кирпича и пористости кирпича.

Задание 4. Определение водопоглощения и прогноз морозостойкости кирпича.

Задание 5. Оценка теплопроводности кирпича и расчет требуемой толщины стены.

Задание 6. Определение показателей прочности кирпича.

Задание 7. Определение коэффициента размягчения силикатного кирпича.

Общие сведения о стеновых материалах

Кирпич керамический

Керамическими называют искусственные каменные материалы, получаемые из минерального сырья с отощающими добавками или без них путем его формования, сушки и обжига при высоких температурах.

Основные свойства *керамических* материалов, такие как средняя плотность ρ_c , прочность R ; теплопроводность λ зависят от степени обжига и их структуры. При обжиге до температуры 950-1000 °С получают изделия с пористостью более 8...38 % (стеновые, кровельные, облицовочные, теплоизоляционные материалы). Более высокие температуры обжига дают возможность получать изделия большей плотности, а значит более прочные, водонепроницаемые (плитки для полов, дорожный кирпич, канализационные трубы и др.).

К керамическим материалам, нашедшим широкое применение, относятся:

– кирпич обыкновенный одинарный (полнотелый) и эффективный (пустотелый, а также пористо-пустотелый). Специально созданные отверстия называются пустотами.

– пустотелые керамические камни.

Основное назначение кирпича – кладка стен, поэтому к нему предъявляются требования по:

- прочности на изгиб;
- прочности на сжатие;
- морозостойкости (для кладки наружных стен)
- показателям внешнего вида;
- водопоглощению и др.

Сырьем для производства керамического кирпича служат, главным образом, глинистые породы; кроме того, могут быть использованы также кремнеземистые

породы (трепел, диатомит) и некоторые промышленные отходы, например, золы тепловых электростанций (ТЭС).

Для получения кирпича используют различные способы производства, самыми популярными являются:

1) Способ пластического формования (изделия изготавливают методом экструзии). Влажность сырья $W=20\dots 25\%$;

2) Способ полусухого прессования (изделия изготавливают способом компрессии) $W=8\dots 12\%$, $P=15\dots 40$ МПа;

По первому способу сырье (пластичные глины) раздробляют, увлажняют и перемешивают с отощителем³ до получения пластичной однородной массы с влажностью примерно 20...25 %. Из такой массы на шнековых ленточных прессах формируют ленту (брус), разрезаемую на выходе из пресса на отдельные кирпичи, которые затем высушивают и обжигают при температуре 1000 °С (режим сушки и обжига устанавливают на основе исследования каждого вида сырья). Наиболее простой, наименее металлоемкий.

По второму способу кирпич прессуют при давлении от 15 до 40 МПа из порошка малой влажности (8...12 %), получаемого помолом сырья или сушкой суспензий в распылительных аппаратах, затем обжигают (сушка в данном случае не обязательна). Можно использовать *малопластичные глины*.

Также керамические материалы и изделия изготавливают жестким способом (разновидность современного развития пластического способа с формованием на мощных вакуумных прессах при давлении до 20 МПа, $W=13\dots 18\%$), сухой способ (разновидность современного развития полусухого производства (изготавливают дорожный кирпич, плитки для полов); $W=2\dots 6\%$), шликерный способ (литье изделий сложной формы, W до 40%)

Кирпичи отличаются по внешнему виду: кирпич пластического формования имеет шероховатую поверхность, видны следы формования и резки; кирпич полусухого прессования имеет плотную, гладкую поверхность, более ровные грани и ребра, точные размеры, коническую форму пустот.

Полусухой и сухой способы производства керамического кирпича имеют преимущества перед пластическим: они требуют меньших затрат теплоты на сушку изделий; позволяют использовать малопластичные глины; уменьшается потребность в производственных площадях и рабочей силе.

Размеры одинарного (обыкновенного) кирпича: 250 x 120 x 65 мм. Выпускают также кирпич утолщенный (толщиной 88 мм), керамические камни (250 x 120 x 138 мм) и т.д. (СТБ 1160) (рис.5.1).

³ Отощители – песок кварцевый, шамот, бой изделий

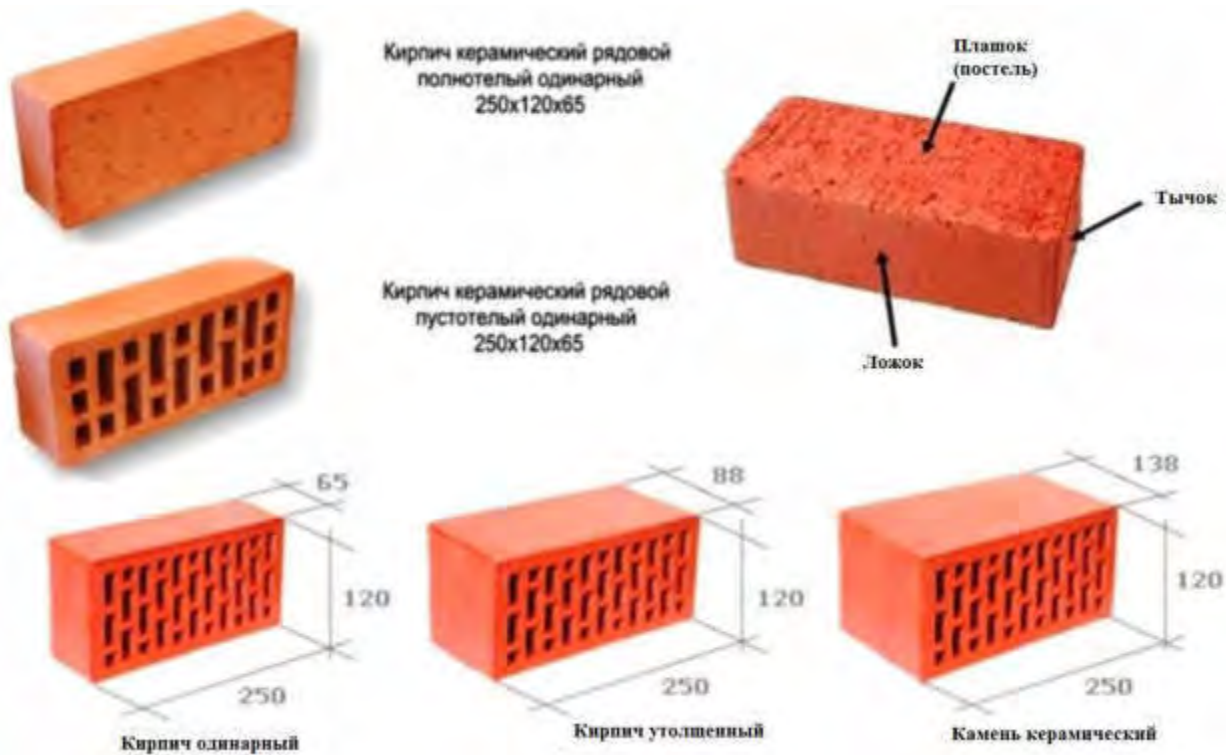


Рис. 5.1 Разновидности керамических стеновых материалов

Стеновые материалы измеряются в штуках условного кирпича. Они приводятся в пересчете на условный кирпич размером 250 x 120 x 65 мм (объем 1950 см³). Коэффициент пересчета K керамических и силикатных камней в условный кирпич вычисляется по формуле:

$$K = V / 1950, \quad (5.1)$$

где V - объем камня брутто, см³;

1950 – объем стандартного кирпича, см³.

Чтобы получить кирпич требуемых размеров, кирпич-сырец формуют несколько крупнее с учетом усадки при сушке и обжиге. В силу неоднородности сырья и технологических режимов усадка не всегда одинакова, поэтому размеры кирпича более или менее отличаются от указанных выше. В связи с этим стандарт предусматривает допускаемые отклонения от установленных размеров:

- ± 5 мм по длине;
- ± 4 мм по ширине;
- ± 3 мм по толщине.

Средняя плотность керамического пустотелого кирпича около 1600 кг/м³, пористо-пустотелого – 900... 1200 кг/м³.

Кирпич, улучшающий теплотехнические свойства (имеющий более низкую теплопроводность) стен (ограждающих конструкций) и позволяющий уменьшить их толщину и массу по сравнению с толщиной и массой стен, выполненных из

обыкновенного (сплошного кирпича), называется *эффективным* (или пористой керамикой). Он характеризуется средней плотностью не более 1400 кг/м³. Такой кирпич может быть пористый, пустотелый или пористо-пустотелый. Применение эффективных изделий дает возможность уменьшить расход материала для изготовления стен, расход раствора для их кладки и снизить стоимость строительства.

Пористый кирпич получают из пористого исходного сырья (трепела, диатомита) либо из глины с выгорающими при обжиге добавками, например, с древесными опилками, торфом, вспененным полистиролом, переработанным бытовым мусором (бумагой).

Пустотелый кирпич формуют со сквозными (при пластическом формовании) или несквозными (при полусухом прессовании) пустотами. Размеры пустот по теплотехническим соображениям ограничиваются.

Кирпич для безрастворной кладки имеет паз и гребень.

Кирпич силикатный

Силикатный кирпич отличается от керамического как по сырью и технологии производства, так и по свойствам. Сырьем служат кварцевый песок SiO_2 (мелкий или частично молотый), молотая известь-кипелка CaO и вода. Расход извести небольшой – до 8 % от массы всей смеси в расчете на CaO . При увлажнении смеси известь CaO гасится. Формование кирпича осуществляется на прессе под давлением 15 МПа, после чего кирпич-сырец подвергается автоклавной обработке (температура насыщенного водяного пара 174 °С, давление 0,8... 1,2 МПа), в результате которой гашеная известь и кварцевый песок вступают в химическую реакцию типа



В автоклавах реакция между известью (гидроксидом кальция) и кварцевым песком происходит *только на поверхности песчинок*. Образовавшиеся *гидросиликаты кальция* связывают зерна песка, образуя прочный искусственный камень, вяжущим в котором является не только известь, но и та часть кварцевого песка, которая вступает в реакцию (часть кварцевого песка, которая не вступила в реакцию с известью, остается в кирпиче как наполнитель). Такая связь легко нарушается при систематическом увлажнении конструкций (фундаменты, цоколи, парапеты, ограды). При нагревании силикатного кирпича до температуры выше 575 °С кварц песка переходит в другую модификацию с увеличением объема, кроме того, происходит *дегидратация* гидросиликата кальция ($CaO \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$) и гидроксида кальция $Ca(OH)_2$, которые связывают зерна, и кирпич разрушается. Поэтому *нельзя применять силикатный кирпич во влажных условиях и при систематическом действии высоких температур*, например, для кладки печей и труб (т.е. он не выдерживает длительного воздействия высокой температуры).

Силикатный кирпич дешевле керамического, его производство менее энергоемко (в 1,5...2 раза), обеспечено сырьевой базой. По внешнему виду и некоторым показателям силикатный кирпич лучше керамического, но по ряду важных свойств уступает ему. Вследствие более низкой стойкости к воде и к растворенным в ней веществам силикатный кирпич в отличие от керамического *нельзя применять* для кладки фундаментов и цоколей зданий ниже гидроизоляционного слоя. **Не допускается** использовать силикатный кирпич для стен зданий с мокрым режимом эксплуатации (бань, прачечных и др.) без специальных мер защиты стен от увлажнения. В этих конструкциях можно применять силикатный кирпич только повышенной морозостойкости (F 50).

Для определения марки кирпича по результатам прочностных испытаний целесообразно воспользоваться числовыми примерами.

Задание 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВНЕШНЕГО ВИДА И ПО ОТКЛОНЕНИЯМ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Приборы и материалы

1. Линейка измерительная металлическая.
2. Угольник поверочный 90°.
3. Кирпичи керамические.
4. Кирпичи силикатные.

Методика испытаний

Изучению и сравнению подлежат два вида кирпича: кирпич керамический полнотелый одинарный или пустотелый утолщенный и кирпич силикатный полнотелый одинарный или пустотелый утолщенный. Технические требования и методы контроля кирпича керамического изложены в СТБ 1160, силикатного – в ГОСТ 379.

Дефекты формы, отклонения от размеров, наличие трещин, отбитостей не только ухудшает эстетичный вид изделий, но и снижает эксплуатационные свойства. Для определения размеров изделия замеры производят в 3-х местах:

- длины и ширины – по ребрам и середине *плашка* (постели)
- толщины – по середине *тычка* и *ложка*.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение параллельных определений, рассчитываемое по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5.3)$$

где x_i – результат i -го испытания,

n – число результатов испытаний образцов.

Для измерения *отклонения от перпендикулярности* смежных граней на изделии зачищают заусеницы ребер и поочередно прикладывают угольник опорной стороной поочередно к одному тычку, ложку и плашку и замеряют зазор между угольником и наиболее удаленной точкой смежных с ними, соответственно, обоих ложков, плашков и тычков. Угольник прикладывают в середине граней (рис. 5.2).

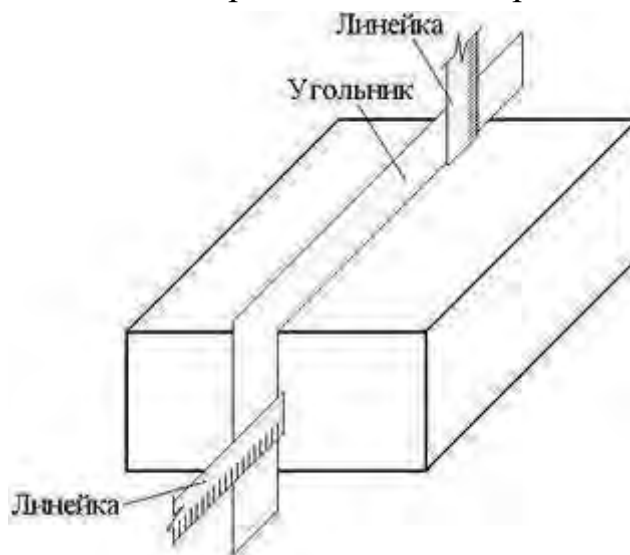


Рис. 5.2. Измерение отклонения от перпендикулярности смежных граней

Глубину отбитости и притупленности углов и ребер измеряют по перпендикуляру от вершины угла или ребра, образованного угольником, до поврежденной поверхности.

Шероховатости и срывы граней определяют измерением зазора между гранью изделия и ребром приложенной к ней металлической линейки.

Протяженность трещин по плашку (постели) изделия измеряют по перпендикуляру, соединяющему наиболее удаленную точку трещины с точкой, находящейся на ребре грани, через которую проходит трещина.

Для определения *параллельности опорных граней* измеряют четыре ребра изделия по длине, ширине и высоте и вычисляют разность между наибольшим и наименьшим значениями результатов измерений.

Для силикатного кирпича допускаемые стандартами предельные отклонения от номинальных размеров значительно меньше, чем для керамического (не более ± 2 мм по всем размерам).

Кроме показателей внешнего вида и габаритных размеров образцы кирпича подлежат изучению на следующие требования стандартов:

для кирпича керамического – наличие недожога, пережога, "дутика";

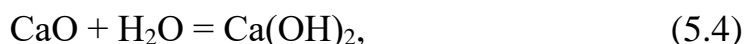
для кирпича силикатного – наличие включений песка, глины в изломе, непогасившихся зерен.

Кирпич-недожог (т.е. обожженный при недостаточно высокой температуре) имеет малую прочность, недостаточную водостойкость и морозостойкость.

Кирпич-пережог (обожженный при слишком высокой температуре) – это спекшийся материал повышенной плотности, малой пористости и большой теплопроводности.

Наличие в кирпиче как **недожога**, так и **пережога** *не допускается*. Определить недожог и пережог легко *по цвету при сравнении с цветом* эталона – нормально обожженного кирпича из данного сырья или по звучанию при простукивании. Нормально обожженный кирпич должен быть по всему объему одинакового цвета, при ударе молотком он "звенит". При недожоге цвет кирпича алый, при ударе молотком он издает глухой звук. Пережженный кирпич, как правило, бурого цвета, искривлен, имеет участки оплавления и вспучивания.

"**Дутик**" в керамическом кирпиче образуется при наличии в исходном глинистом сырье включений известняка ($CaCO_3$) в виде зерен. При недостаточно тщательной переработке сырья (без помола) зерна известняка попадают в кирпич, при обжиге превращаются в известь-кипелку (CaO), которая при увлажнении кирпича гасится с увеличением объема



что может вызвать разрушение кирпича. Поэтому СТБ 1160 предусматривает определение наличия известковых включений (дутиков) путем пропаривания кирпича над кипящей водой в сосуде с крышкой в течение *одного часа*.

В силикатном кирпиче в результате недостаточно тщательного перемешивания смеси могут быть включения комков песка, глины, которые могут привести к снижению стойкости кирпича, поэтому они ограничиваются стандартом.

Опасны в силикатном кирпиче также *непогасившиеся зерна* – дефекты от недогашенной извести. Как было указано выше, негашеная молотая известь-кипелка при увлажнении смеси должна загаситься. Если в сформованном кирпиче останется негашеная известь (вследствие недостаточного количества воды для затворения), она обычно гасится в процессе автоклавной обработки, что приводит к вздутию, образованию трещин и разрыхлению структуры.

Результаты осмотра и измерения

Результаты осмотра и измерения образцов при сопоставлении их с требованиями технических нормативных правовых актов (ТНПА) заносятся в таблицу.

5.1. Полная таблица приведена в журнале лабораторных работ.

Результаты осмотра и измерения образцов

Показатели внешнего вида	Кирпич керамический		Кирпич силикатный	
	Требования СТБ 1160	Результаты осмотра образцов	Требования ГОСТ 379	Результаты осмотра образцов
Номинальные размеры: длина, мм 250 ширина, мм 120 толщина, мм 65 (88)	±5 ±4 ±3		±2 ±2 ±2	
Трещины протяженностью мм, шт.				

Кроме показателей, отраженных в таблице, подлежат изучению следующие требования стандартов.

Для кирпича керамического – **отсутствие** недожога; пережога; "дутика".

Для кирпича силикатного – **отсутствие** зерен песка, комков глины в изломе; непогасившихся зерен

Примечание: для сравнения желательно в лаборатории иметь кирпичи с указанными дефектами.

Заключение

Результаты определения качества стеновых материалов (керамического и силикатных кирпичей) сравнить с данными технических нормативных правовых актов (СТБ, ГОСТ и др.) и сделать заключение об их использовании (для наружных и внутренних стен; без штукатурки или с ней).

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ КИРПИЧА**Приборы и материалы**

1. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах 100...110 °С.
2. Весы технические.
3. Линейка измерительная металлическая.
4. Объемомер.
5. Кирпич керамический (3 шт.) и кирпич силикатный (3 шт.).

Методика проведения испытания

Когда кирпич имеет форму прямоугольного параллелепипеда, его среднюю плотность можно определить делением массы кирпича на произведение номинальных размеров, т.е. на объем (V_e).

Согласно ГОСТ 7025, объем образцов определяется по их геометрическим размерам, измеренным с погрешностью не более 1 мм. Для определения размеров изделия замеры производят в трех местах: длины и ширины – по ребрам и середине плашка (постели), толщины – по середине тычка и ложка. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение трех измерений.

Среднюю плотность образца в сухом состоянии вычисляют по формуле:

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_e}, \text{ г/см}^3 \quad (5.5)$$

где: m_c – масса высушенного кирпича, г;

V_e – объем кирпича в сухом состоянии, см^3 .

Объем образцов-кирпичей *неправильной геометрической формы* (т.е. с дефектами) определяют с помощью объемомера, который представляет собой металлический цилиндр со сливной трубкой. Объемомер наполняют водой комнатной температуры и, когда прекратится падение капель со сливной трубки, под нее ставят предварительно взвешенный сосуд. Затем образец-кирпич, насыщенный водой, осторожно погружают в объемомер; при этом вода, вытесненная образцом, будет стекать по сливной трубке в сосуд. После прекращения падения капель сосуд вновь взвешивают и определяют массу воды. Масса вытесненной воды в граммах соответствует объему образца (V_e) в см^3 .

За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений. Среднюю плотность кирпичей определяют с точностью до 10 кг/м^3 .

В соответствии с ГОСТ 379 силикатные кирпичи в зависимости от средней плотности в сухом состоянии подразделяются на классы (табл. 5.2)

Таблица 5.2

Классы средней плотности силикатного кирпича

Класс средней плотности	Средняя плотность, кг/м^3	Класс средней плотности	Средняя плотность, кг/м^3
1,0	900-1000	1,8	1601-1800
1,2	1001-1200	2,0	1801-2000
1,4	1201-1400	2,2	2001-2200
1,6	1401-1600		

Результаты испытаний

Результаты определений записывают в табл. 5.3.

Результаты испытаний

Определения (показатели)	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича m_c , г						
Объем образца (кирпича) V_e , см ³						
Средняя плотность сухого кирпича ρ_c , г/см ³						
То же, кг/м ³						
Среднее арифметическое результатов определения ρ_c кг/м ³						

Заключение

Сравнить полученные величины средней плотности между собой и сделать прогноз по прочности и теплопроводности для каждого вида кирпича. Указать класс средней плотности силикатного кирпича.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА (ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ) КИРПИЧА И ПОРИСТОСТИ КИРПИЧА

Приборы и материалы

1. Прибор Ле-Шателье.
2. Весы технические.
3. Шкаф сушильный электрический.
4. Порошок от размолотого керамического кирпича.
5. Порошок от размолотого силикатного кирпича.

Методика испытаний

Плотность вещества материала, или его **истинная плотность** – это отношение массы материала к объему его вещества в абсолютно плотном состоянии, т.е. без пор. Чтобы получить материал без пор, его измельчают в тонкий порошок, пористостью частиц которого можно пренебречь. Для выполнения данной лабораторной работы студентам представляются *готовые тонкодисперсные порошки*, приготовленные из керамического и силикатного кирпича.

Ускоренное определение плотности вещества ρ_u проводится в приборе Ле-Шателье. Сущность определения состоит в вытеснении порошком заданного объема жидкости (например, бензина или воды), при этом фиксируют массу израсходованного порошка и делят ее на объем вытесняемой жидкости.

Истинную плотность ρ_u вычисляют по формуле:

$$\rho_u = \frac{m - m_1}{V}, \text{ г/см}^3 \quad (5.6)$$

где m – масса высушенной навески порошка, г;

m_1 – масса остатка порошка после высыпания, г;

V – объем воды, вытесненной порошком, см³.

Зная истинную плотность вещества ρ_u и среднюю плотность кирпича ρ_c (из задания 2), рассчитывают пористость кирпича Π в % по формуле:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_u} \right) \times 100, \% \quad (5.7)$$

Пористость – это степень заполнения порами объема материала – относительная величина, показывающая, какая часть этого объема материала занята внутренними порами. С величиной пористости кирпича связаны такие важнейшие свойства, как прочность R , водопоглощение B , водопроницаемость, теплопроводность λ , морозостойкость F .

Пористость стеновых каменных материалов косвенно контролируется по величине водопоглощения по массе, минимальное значение которой ограничивается соответствующими стандартами (не менее 8 % для керамического материала и не менее 6% для силикатного кирпича).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Результаты определения истинной плотности кирпича

Определения	Кирпич керамический		Кирпич силикатный	
	1	2	1	2
Исходная навеска сухого порошка m , г				
Масса остатка от навески m_1 , г				
Израсходовано порошка $(m - m_1)$, г				
Объем жидкости, вытесненной порошком V , см ³				
Истинная плотность вещества кирпича ρ_u , г/см ³				
То же, кг/м ³				
Среднее арифметическое значение истинной плотности ρ_u , кг/м ³				
Средняя плотность кирпича ρ_c , (из задания 2), кг/м ³				
Пористость кирпича Π , %				

Заключение

Сравнить полученные значения плотности, объяснить, почему они получились близкими.

Задание 4. Определение водопоглощения и прогноз морозостойкости кирпича.

Кирпич как стеновой материал должен иметь невысокую теплопроводность, поэтому он должен быть не плотным, а *пористым*. Водопоглощение характеризует пористую структуру материала, а косвенно – также и его теплопроводность. Чем больше величина водопоглощения кирпича, тем больше его открытая пористость, а, следовательно, тем *меньше* теплопроводность. Непосредственное определение теплопроводности кирпича затруднительно, поэтому стандарты предусматривают косвенную характеристику структуры кирпича посредством методически более простого испытания *на водопоглощение*.

Водопоглощение – свойство материала самопроизвольно поглощать и удерживать воду при непосредственном с ней контакте (соприкосновении) без приложения давления.

Различают водопоглощение по массе B_M и по объему B_V .

Водопоглощением по массе называется количество воды, проникающее в открытые поры, которое может поглотить данный кирпич в стандартных условиях насыщения. Оно характеризуется отношением в процентах массы воды, поглощенной в установленный срок *полностью погруженным в воду* кирпичом при нормальном атмосферном давлении, к массе сухого кирпича. Водопоглощение по массе B_M в процентах определяется по формуле:

$$B_M = \frac{m_n - m_c}{m_c} \times 100, \% \quad (5.9)$$

где m_n – масса образца материала в насыщенном водой состоянии, г;

m_c – то же в высушенном состоянии, г.

Водопоглощение по объему – отношение массы поглощенной кирпичом воды к объему кирпича в естественном состоянии. Водопоглощение по объему B_V в процентах определяется по формулам:

$$B_V = \frac{m_n - m_c}{\rho_v \cdot V} \times 100, \% \quad (5.9)$$

$$B_V = B_M \times \rho_c, \% \quad (5.10)$$

где V – объем кирпича, см³;

ρ_v – плотность воды, г/см³,

ρ_c – средняя плотность кирпича, г/см³,

Для кирпича керамического полнотелого одинарного (нормального формата) согласно СТБ 1160 величина водопоглощения по массе должна быть *не менее 8 %*, для кирпича силикатного (ГОСТ 379) – *не менее 6%*. Это требование мотивировано

тем, что меньшее водопоглощение может иметь только пережженный керамический кирпич, а такой кирпич для кладки стен непригоден, так как характеризуется повышенной теплопроводностью λ .

Способность *предварительно насыщенного водой* материала выдерживать многократное попеременное замораживание при $t = -(15 \dots 20)^\circ\text{C}$ и оттаивание при $t = +(15 \dots 20)^\circ\text{C}$ без признаков разрушения называется **морозостойкостью**. Морозостойкость материала зависит от его пористости, формы и размера пор и степени насыщения их водой.

Плотные материалы морозостойки. Непосредственное определение морозостойкости кирпича попеременным замораживанием и оттаиванием в насыщенном водой состоянии – процесс длительный. Для предварительной оценки морозостойкости могут быть использованы данные, уже полученные в ходе этой лабораторной работы.

Разрушение материала при замораживании связано с тем, что вода, замерзая, увеличивает свой объем примерно на 9 % и может разорвать (разрушить) материал, если для замерзающей воды не окажется достаточно свободного объема. Пористый материал морозостоек, когда для расширяющейся воды имеется резервный объем пор, т.е. в том случае, когда водопоглощение по объему B_V значительно меньше пористости Π .

Водопоглощение по объему (B_V) соответствует объему пор, заполненных водой. Степень заполнения пор водой характеризует **коэффициент насыщения** $K_{нас}$, равный отношению водопоглощения по объему B_V к пористости материала Π .

$$K_{нас} = \frac{B_V}{\Pi} \quad (5.11)$$

Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$ показывает в относительных единицах объем пор, занятых водой. Значения величины пористости кирпича Π получают из задания 3.

Если величина $K_{нас}$ не превышает **0,85**, можно полагать, что материал будет морозостойким. При $K_{нас} > 0,85$ замерзающая вода не имеет так называемых пустых (“буферных”) ячеек и будет разрушать стенки пор материала.

Если $K_{нас} = 0$, то все поры закрытые, если $K_{нас} = 1$, то все поры открытые.

Приборы и материалы

1. Сосуд с решеткой.
2. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах $100 \dots 110^\circ\text{C}$.
3. Технические весы.
4. Ванна для воды с решеткой.

5. Кирпич керамический (3 шт.) и кирпич силикатный (3 шт.).

Методика испытаний

Водопоглощение кирпича определяют по методике ГОСТ 7025. Образцы кирпича выдерживают в воде с температурой плюс 15...20 °С в течение 48 часов. Поэтому для выполнения этой работы в ходе кратковременных лабораторных занятий студентам предоставляются образцы, уже выдержанные в воде, причем их масса в сухом состоянии записана на образцах несмываемой краской.

Образцы вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашку весов, включают в массу насыщенного водой образца. Водопоглощение вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний трех образцов.

Результаты испытаний

Результаты определений заносятся в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Результаты испытаний

Определения (показатели)	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича m_c , г						
Масса кирпича, насыщенного водой m_n , г						
Водопоглощение по массе V_M , %						
Среднее значение V_M , %						
Объем кирпича V (из задания 2), см ³						
Водопоглощение по объему V_V , %						
Среднее значение V_V , %						
Требования стандартов к водопоглощению по массе V_M						
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$						
Прогноз морозостойкости кирпича						

Заключение

Сравнивая полученные результаты по водопоглощению с требованиями технических нормативных актов сделать вывод о возможности применения испытанных материалов в качестве стеновых. Сделать вывод о морозостойкости испытанных видов кирпичей.

Задание 5. ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КИРПИЧА И РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ

ТОЛЩИНЫ СТЕНЫ

Методика испытаний

Теплопроводность – один из главных показателей свойств каменных стеновых материалов. Она зависит от целого ряда факторов: общей пористости материала Π , размера и формы пор, вида твердой фазы и т.д.

Теплопроводность λ характеризует теплозащитные качества материала. Для кирпича теплопроводность можно вычислить, зная величину относительной плотности d , по формуле, предложенной профессором В.П.Некрасовым:

$$\lambda = 1,163\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,163, \text{ Вт/(м }^\circ\text{C)}, \quad (5.12)$$

где d – относительная плотность, выражающая отношение плотности материала ρ_c к плотности стандартного вещества, при определенных физических условиях.

В качестве стандартного вещества удобно принять воду при 4°C (точнее при $3,98^\circ\text{C}$), имеющую при этой температуре $\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$

Однако эту зависимость между плотностью и теплопроводностью можно использовать лишь для ориентировочной оценки теплофизических свойств кирпича.

В учебной лаборатории имеются графики, отражающие зависимость расчетной теплопроводности λ кирпичной кладки от плотности кирпича ρ_c в сухом состоянии, построенные отдельно для керамического и силикатного кирпича на основе лабораторных и натуральных исследований, выполненных в научно-исследовательских институтах.

На основе полученных данных (см. задание 2) по графикам можно определить теплопроводность керамического и силикатного кирпича. Результаты определения полезно сопоставить с величинами их пористости (из задания 3) и объяснить.

Знание теплопроводности λ того или иного стенового материала позволяет правильно оценить его качество и рассчитать толщину наружного ограждения из этого материала по заданным условиям.

Требуемая толщина δ кирпичных стен из условия необходимого уровня теплозащиты R_T рассчитывается по формуле:

$$\delta = R_T \cdot \lambda, \text{ м} \quad (5.13)$$

где: R_T – требуемое термическое сопротивление стен, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$,

(согласно действующего ТНПА.);

λ – теплопроводность кирпичной кладки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Результаты расчета

Результаты расчета записывают в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Толщина стены в зависимости от вида кирпича

Вид кирпича	Средняя плотность сухого кирпича ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность кладки λ , Вт/(м·°К)	Требуемая толщина стен (в м) для обеспечения термического сопротивления 3,2 (м²К)/Вт	Толщина стен с учетом кратности размерам кирпича	
				в кирпичах	в метрах
Керамический полнотелый		0,52			
Силикатный полнотелый		0,70			
Эффективный керамический		0,46			

Заключение

Проанализировать данные таблицы с учетом материальных и трудовых затрат на 1 м² стен разной толщины; сравнить с подобными расчетами толщины стен из эффективного кирпича и других материалов.

Сделать заключение, что может дать замена обычного кирпича на эффективный (пористо-пустотелый); как сделать стену здания более легкой и тонкой.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КИРПИЧА

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический и его схема (плакат).
2. Линейка измерительная металлическая.
3. Пластика металлическая или стеклянная размерами 270x150x5 мм.
4. Войлок технический толщиной 5...10 мм.
5. Картон толщиной 3...5 мм.
6. Песок кварцевый по ГОСТ 8736.
7. Портландцемент марки 400.
8. Приспособление для испытания на изгиб.
9. 15 кирпичей (керамических или силикатных).

Методика испытаний

Кирпич является стеновым материалом, поэтому в эксплуатационных условиях он испытывает сжимающие и изгибающие усилия.

Для определения марки кирпича по прочности необходимо отобрать от каждой партии (в соответствии с СТБ 1160 и ГОСТ 379) 10 образцов для испытаний на сжатие и 5 на изгиб.

Испытание на сжатие и на изгиб проводят по методике, предписанной ГОСТ 8462. Согласно этому стандарту, прочность при сжатии керамического кирпича определяют испытанием образцов, составленных из двух целых кирпичей или из двух половинок, соединенных слоем цементного раствора, и с выровненными тем же раствором опорными гранями (рис.5.3)

Для испытания керамического кирпича на изгиб необходимо предварительное выравнивание *цементным или гипсовым раствором* участков плашков (постелей) в местах опирания и приложения усилия.

Необходимость специальной подготовки образцов для испытания керамического кирпича затрудняет выполнение этой работы в пределах времени, отводимого на лабораторные занятия. Поэтому студенты на лабораторном занятии испытывают на сжатие и изгиб *только силикатный кирпич*, для которого по ГОСТ 8462 выравнивания граней раствором не требуется. Таким образом, образцы из силикатного кирпича *испытывают насухо*, не производя выравнивания их поверхностей цементным раствором. В учебной лаборатории на сжатие и изгиб испытывается по 5 образцов, затем вычисляются средний и наименьший показатель для каждого из пределов прочности. По среднему и наименьшему показателям прочности находят марку стенового материала (например, силикатного кирпича).

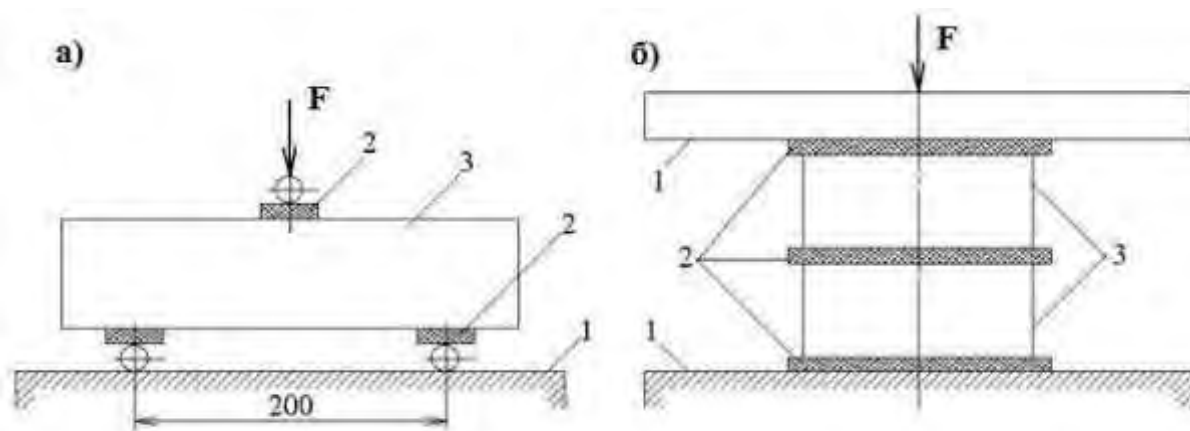


Рис.5.3. Схема испытаний кирпича на изгиб (а) и сжатие (б) при определении его марки по прочности

1 – плита прессы; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич;

Расчет предела прочности *при изгибе* в МПа (кгс/см²) производится по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3}{2} \times \frac{Fl}{bh^2} , \quad (5.14)$$

где F — наибольшее усилие при испытании образца, Н (кгс);

l – расстояние между опорами, мм; 200 мм (20 см);

b – ширина образца, мм (см);

h – высота образца в середине пролета, мм (см).

Предел прочности *при сжатии* вычисляется в МПа по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (5.15)$$

где A – площадь поперечного сечения образца, вычисляемая как среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней его поверхностей, мм²;

F – наибольшее усилие, установленное при испытании образца, Н(кгс).

Результаты испытаний

Результаты определения предела прочности при изгибе силикатного кирпича заносят в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Результаты определений прочности при изгибе

Определения	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Расстояние между осями опор l , см (мм)					
Ширина кирпича b , см (мм)					
Высота образца посередине пролета (толщина) h , см (мм)					
Разрушающее усилие при изгибе F , кгс (Н)					
Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$, кгс/см ² (МПа)					
Среднее значение предела прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа					
Наименьший предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа					
Марка кирпича по пределу прочности при изгибе					

Результаты определения предела прочности при сжатии силикатного кирпича заносят в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Результаты определения предела прочности при сжатии

Определения	Номер образца				
	1	2	3	4	5
Площадь поперечного сечения образца A , см ² (мм ²)					
Разрушающее усилие при сжатии F , кгс (Н)					
Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$, кгс/см ² (МПа)					
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж.ср}$ для пяти образцов, МПа					
Наименьший предел прочности при сжатии из пяти изделий $R_{сж}$, МПа					
Марка кирпича по пределу прочности при сжатии					

Заключение

1. Установление марки кирпича силикатного

По пределу прочности при сжатии кирпич соответствует марке _____

По пределу прочности при изгибе кирпич соответствует марке _____

Марка кирпича по прочности _____

2. Определение марки по прочности кирпича керамического

Для определения марки керамического кирпича по результатам прочностных испытаний целесообразно воспользоваться числовыми примерами (табл.5.9). Преимущество такого метода состоит в том, что он дает возможность сэкономить учебное время, избавив студентов от необходимости изготовления пяти образцов для испытания на сжатие и пяти образцов для испытания на изгиб.

Таблица 5.9

Задания по определению марки кирпича по результатам испытания образцов

№ вариантов задания	Предел прочности, МПа									
	при сжатии					при изгибе				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1 (14) ⁴	14	16	13	10	18	3	2,7	3,2	2,4	2,9
2 (15)	20	23	17	16	25	3	3,2	3,7	1,5	2,7
3 (16)	25	23	21	12	21	3,6	3,4	2,6	2,4	2,8
4 (17)	27	32	34	23	20	4,4	5,1	1,6	5,6	3,5
5 (18)	13	15	10	17	16	2,7	3,4	2,5	3,2	4,3
6 (19)	27	26	23	21	29	2,7	2,9	3,6	2,4	2,7
7 (20)	12	14	17	7	2	2,6	2,4	1,3	2,1	1,9
8 (21)	17	16	13	14	18	2,4	2,6	2,3	1,0	1,8
9 (22)	14	11	12	13	15	1,9	2,4	0,7	2,4	1,8
10 (23)	23	21	18	16	24	2,5	2,7	3,2	1,5	3,8
11 (24)	12	11	8	9	10	2,2	2,6	1,8	0,8	3,6
12 (25)	10	12	6	8	4	1,6	1,8	0,9	2,6	2,2
13	21	15	17	18	14	3,2	3,1	1,8	2,4	2,2

Результаты расчета сводятся в табл.5.7, 5.8.

⁴ В скобках даны результаты для кирпича полусухого прессования

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМЯГЧЕНИЯ

СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Приборы и материалы

1. Сосуд с решеткой.
2. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах 100...110 °С.
3. Пресс гидравлический.
4. Линейка измерительная металлическая,
5. Кирпичи силикатные.

Методика испытаний

Насыщают водой не менее 3-х образцов в течение 48 часов, и одновременно 3 образца высушивают до постоянной массы. Отношение предела прочности при сжатии материала, насыщенного водой $R_{нас}$, к пределу прочности при сжатии материала в сухом состоянии $R_{сух}$, называется коэффициентом размягчения $K_{разм}$.

$$K_{разм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}, \quad (5.16)$$

Этот коэффициент характеризует водостойкость материала. Материалы с $K_{разм} > 0,8$ относят к водостойким. Материалы с $K_{разм} < 0,8$ в местах, подверженных систематическому увлажнению, применять не разрешается.

Для выполнения работы студентам предоставляются образцы, выдержанные в воде. Значения предела прочности при сжатии образцов-кирпичей в сухом состоянии можно взять из задания 7.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносятся в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Результаты испытаний кирпича на водостойкость

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Площадь поперечного сечения образцов A , мм ²			
Разрушающее усилие при сжатии F , Н			
Предел прочности при сжатии $R_{нас сж}$; МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{нас сж}$; МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сух сж}$ (из задания 6), МПа			
Коэффициент размягчения $K_{разм}$			
Прогноз водостойкости кирпича			

Заключение

По полученному прогнозу водостойкости можно сделать прогноз об использовании данного кирпича в определенных частях здания.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ КИРПИЧА

По результатам испытаний кирпича делают заключение о его соответствии требованиям стандартов и пригодности для выполнения строительных работ. При этом следует выделить области применения керамического и силикатного кирпича в соответствии с их свойствами, оценив возможность их использования для кладки внутренних и наружных стен, в том числе без дополнительной отделки фасадов, при сухом, нормальном и влажном режиме эксплуатации зданий для кладки цоколей и стен подвала, печей, дымоходов, труб.

По результатам испытания кирпич силикатный может быть использован

По результатам испытания кирпич керамический может быть использован

В условное обозначение стеновых керамических и силикатных материалов (кирпичи, камни) кроме названия, показателя марки по прочности входят значения марки по морозостойкости в количествах циклов замораживания и оттаивания и буквенные обозначения:

К – керамический;

С – силикатный;

О – одинарный;

Р – рядовой, Л – лицевой, Д – декоративный;

П – пустотелый;

У – утолщенный (для кирпича), укрупненный (для камня);

М – модульных размеров;

Г – с горизонтальным расположением пустот;

В конце обозначения указывается СТБ 1160 или ГОСТ 379.

Примеры условных обозначений:

Кирпич КПО 150/15/ СТБ 1160 – кирпич керамический пустотелый одинарный марки по прочности 150, по морозостойкости F15.

Кирпич СОР 150/15/1,4 СТБ ГОСТ 379 – кирпич силикатный одинарный рядовой марки по прочности 150, по морозостойкости F15, класс средней плотности 1,4.

Кирпич КПУ 125/25/ СТБ 1160 – кирпич керамический пустотелый утолщенный марки по прочности 125, по морозостойкости F25.

Камень КУГ 50/15 СТБ 1160 – камень керамический укрупненный с горизонтальным расположением пустот марки по прочности 50, по морозостойкости F15.

5.3 Контрольные вопросы к защите выполненной лабораторной работы

1. Из какого сырья получают керамические изделия?
2. В чем состоит разница между пластическим и полусухим способом изготовления кирпича? Как влияет способ формования на качество кирпича?
3. Какое сырье требуется для производства силикатного кирпича?
4. В чем различие терминов “кирпич керамический” и “камень керамический”?
5. У какого кирпича более жесткие допуски по размерам: у силикатного или керамического? Почему?
6. Что происходит при автоклавной обработке силикатного кирпича? Физический смысл и химическая реакция.
7. Почему допускаемые стандартами отклонения от номинальных размеров для силикатного кирпича меньше, чем для керамического?
8. Чем отличается эффективный кирпич от обыкновенного?
9. Как зависит теплопроводность кирпича от его плотности, пористости? Показать на примерах.
10. Как зависит толщина наружных стен от теплопроводности материала?
11. По каким показателям определяется марка кирпича по прочности?
12. Как испытывают силикатный кирпич для определения его марки по прочности?
13. Почему силикатный кирпич не применяют для кладки стен подземной части зданий или для кладки печей?
14. Где не рекомендуют применять силикатный кирпич?
15. Как определить пористость кирпича?
16. На какие свойства кирпича влияет пористость?
17. Как оценить теплопроводность материала, и от чего она зависит?
18. Написать формулы для расчета предела прочности при сжатии $R_{смж}$ и при изгибе $R_{изг}$.
19. Почему недопустимо испытывать керамический кирпич на сжатие без специальной обработки образца?
20. Какие технические показатели характеризуют качество стенового материала?
21. Что значит выражение – марка кирпича 75, 100, 300?
22. Как практически определить предел прочности при сжатии?
23. Как практически определить предел прочности при изгибе?
24. В чем преимущество применения пустотелого кирпича по сравнению с полным?

25. Водопоглощение по объему, смысл и определение. Почему согласно ГОСТ к стеновым материалам предъявляют требования по водопоглощению?
26. Как определить водопоглощение кирпича по массе? Методика определения.
27. Как определить водопоглощение кирпича по объему? Изложить методику.
28. Что такое коэффициент насыщения $K_{нас}$; какое свойство кирпича он характеризует?
29. На какие свойства кирпича влияет величина средней плотности?
30. По каким критериям судят о результатах испытаний на морозостойкость?

5.4. Литература

1. Оценка качества строительных материалов: основные методики лабораторных испытаний : учеб. пособие / В.С. Руднов [и др.] ; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И.К. Доманской. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 108 с.
2. СТБ 1160. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
3. ГОСТ 379. Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия.
4. ГОСТ 7025. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
5. ГОСТ 8462. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

Лабораторная работа № 6
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ
Цель работы

- Определить механические и деформативные характеристики арматурной стали.
- Определить твердость металлов.
- Выполнить технологические испытания (на изгиб) стержневой арматуры.

**6.1. Вопросы для подготовки к выполнению
лабораторной работы**

- Какие металлы относятся к черным?
- В чем основное отличие чугуна от стали?
- Где применяются в строительстве черные металлы?
- Какие металлы относятся к цветным?
- Какие сплавы на основе цветных металлов широко применяются в строительной практике?
- Какие механические показатели свойств определяются для строительных металлов?
- Как разделяют стали по составу (по количеству углерода)?
- Как разделяют арматуру по технологии изготовления?
- Каким образом получают легированные стали?
- Какие напряжения возникают в рабочей арматуре железобетонных изгибаемых конструкций?

6.2 Задания к лабораторной работе

Задание 1. Испытание арматурной стали на растяжения.

Задание 2. Определение твердости металлов.

Задание 3. Проведение технологических испытаний арматурной стали.

Общие сведения о строительных металлах

Металлы – это вещества, которые обладают высокой прочностью, пластичностью и упругостью, электропроводностью и теплопроводностью, ковкостью и свариваемостью, а также металлическим блеском.

Металлы разделяют на черные и цветные. К **черным** относятся железо (Fe) и сплавы на его основе – стали, содержащие до 2,14 % углерода (C), и чугуны с содержанием углерода (C) более 2,14 %. К **цветным** относятся алюминий (Al), медь (Cu), цинк (Zn), свинец (Pb), магний (Mg) и титан (Ti), которые в чистом виде в строительной практике применяются редко, а широко используются сплавы на их основе. Изделия из стали имеют наибольшую степень применения в строительстве: стальные профили для металлических конструкций, стальная арматура и проволока для армирования железобетонных конструкций, стальные трубы, заклепки, болты, гвозди и другие изделия.

По составу стали делят на *углеродистые* и *легированные*.

Углеродистые стали различаются по содержанию углерода (C). Низкоуглеродистые – менее 0,25 %, среднеуглеродистые – 0,25...0,65 % и высокоуглеродистые – 0,65...2,14 %. Эти железоуглеродистые сплавы содержат неизбежные примеси марганца (Mn) (до 0,08 %), кремния (Si) (до 0,5 %), серы (S) (до 0,06 %), фосфора (P) (до 0,07 %) и газов (кислорода (O), водорода (H), азота (N)), присутствующих в очень малых количествах – тысячных долях процента.

Легированные стали содержат определенное количество легирующих добавок – ($Mn, Cr, Ni, Mo, W, Ti, Si$), которые, вступая во взаимодействие с углеродом и другими компонентами стали, изменяют ее физические, механические и химические свойства.

Арматура – линейно-протяженные элементы в железобетонной конструкции, предназначенные для восприятия растягивающих (главным образом) и сжимающих усилий (СТБ 1704, СТБ 1768, СНБ 5.03.01) в зданиях и сооружениях применяют стальную арматуру в виде проволоки, стержней и витых контуров.

Арматуру для железобетонных конструкций *по технологии изготовления* разделяют на *горячекатаную стержневую арматуру* (сталь любого диаметра и профиля) и *холоднотянутую проволочную арматуру*.

По профилю поверхности различают арматуру периодического профиля и гладкую.

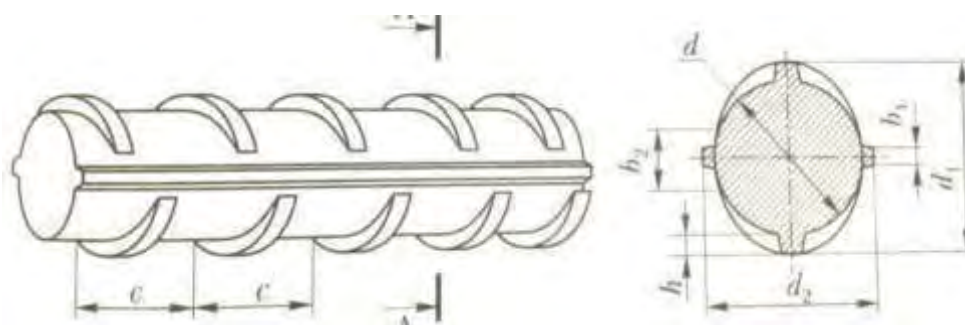


Рис. 6.1. Арматура периодического зерновидного профиля

По условиям применения различают арматуру для армирования обычных железобетонных конструкций и арматуру для армирования *предварительно* напряженных конструкций.

Стержневая арматурная сталь выпускается диаметром от 6 до 80 мм. Она делится на горячекатаную гладкую класса А-240 и горячекатаную периодического профиля классов А-240, А-300, А-400, А-600, А-800, А-1000, А-1200, где числа 240, 300 и т.д. – значение предела текучести σ_T в МПа. В табл. 6.1. приведены механические характеристики указанной арматуры.

Сортамент стержневой арматуры построен по номинальным диаметрам стержней d_n . Для стержней гладкого профиля он равен фактическому диаметру d_f . Для стержней периодического профиля номинальный диаметр равен диаметру одинакового с ним по площади поперечного сечения гладкого стержня.

Таблица 6.1.

Механические характеристики стержневой арматурной стали

Класс арматуры по СНБ 5.03.02	Класс согласно СНиП 2.03.01	Вид	Марка	Диаметр d_n , мм	Предел текучести σ_T , МПа, не менее	Временное сопротивление σ_B , МПа, не менее	Относительное удлинение δ , %, не менее	Испытание на изгиб в холодном состоянии, угол загиба, град.
S240	А-240 А-1	Круглая гладкая	Ст3сп 18Г2С	6...40 40...80	235	373	25	180° C=0,5d
S400	А-400 А-III ¹	Периодического профиля	25Г2С 35ГС	6...40	392	590	14	90° C=3d
S500	А-500	То же	20Г2Ц 80С	10...22	490	583	6	45° C=5d
S 800	А-800 А-V ¹	То же	23ХГ2 Т	10...22	785	1030	7	45°
S1200	А-1200 А-VI ¹	То же	20Х2Г2 АЮ 20Х2Г2 Р 20Х2Г2 СА 20ХС2	10...32	1200	1450	6	C=5d

Холоднотянутая проволочная арматура по форме сечения выпускается круглой гладкой и периодического профиля по классам прочности 400, 600, 1200, 1300, 1400, 1500. В табл. 6.2 приведены механические характеристики холоднотянутой проволоки.

Таблица 6.2

Механические характеристики холоднотянутой проволоки

Класс арматурной проволоки (ГОСТ или ТУ)	Класс прочности	Номинальный диаметр, $d_{ном}$, мм	Разрывное усилие, F, кН	Усилие, соответствующее условному пределу текучести, кН	Относительное удлинение после разрыва, δ , % не менее	Число перегибов на 180 °
В, Вр ВиВр ГОСТ 7348	1400		32,8	27,5	4	5 (3)

Примечание: в скобках приведены данные для проволоки периодического профиля

В железобетонных конструкциях арматура работает на растяжение. Кроме того, ее приходится загибать в холодном состоянии при изготовлении арматурных каркасов этих конструкций.

Стержневую и проволочную арматуру испытывают на растяжение для определения предела текучести σ_m , временного сопротивления σ_v , относительного удлинения при разрыве δ . Испытывают арматуру также на загиб в холодном состоянии

Задание 1. Испытание арматурной стали на растяжение

Испытание на растяжение является наиболее важным для практических целей, так как позволяет вычислить прочность, упругость и пластичность арматурной стали.

Прочность - способность арматурной стали сопротивляться внутреннему напряжению под действием внешних сил, не разрушаясь.

Чтобы вычислить прочность арматурной стали при растяжении, измеряют наибольшее усилие F_{max} , предшествующее разрыву образца при испытании. Ее отношение к площади первоначального поперечного сечения образца S_0 является пределом прочности (временное сопротивление) при растяжении арматурной стали

$$\sigma_r = \frac{F}{S_0} \tag{6.1}$$

Упругость - способность арматурной стали изменять свою форму под действием нагрузки и восстанавливать ее после пре-крашения действия этой нагрузки.

В упругой стадии образец остается растянутым только под действием нагрузки, а после ее снятия возвращается к прежней длине.

Напряжение, возникающее на упругой стадии в образце, называют **пределом пропорциональности**. При проведении испытаний трудно установить границы, разделяющие упругое и неупругое состояние арматурной стали. Поэтому при определении упругости арматурной стали определяют усилие Pe , после снятия которого образцы способны восстановить свою первоначальную длину с остаточным удлинением не более 0,005 %.

Предел упругости, вычисляют по формуле

$$\sigma_s = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (6.2)$$

Пластичность - способность арматурной стали, не разрушаясь, изменять форму под действием усилия и сохранять полученную форму после того, как усилие перестает действовать.

Если арматурная сталь обладает достаточной пластичностью, то при увеличении усилия Fe до F_T , она как бы течет, т.е. образец удлиняется при неизменяемом усилии F_T , которая в свою очередь вызывает в образце напряжение о называемое пределом текучести:

$$\sigma_T = \frac{F}{S_0} \quad (6.3)$$

По достижении определенной деформации процесс «течения» арматурной стали прекращается - она как бы вновь приобретает прочность. Напряжения в арматурной стали растут до значений σ_b .

При испытании на растяжение пластичность арматурной стали характеризуется относительным удлинением δ и относительным сужением φ , которые принято вычислять по формулам

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100 \quad (6.4)$$

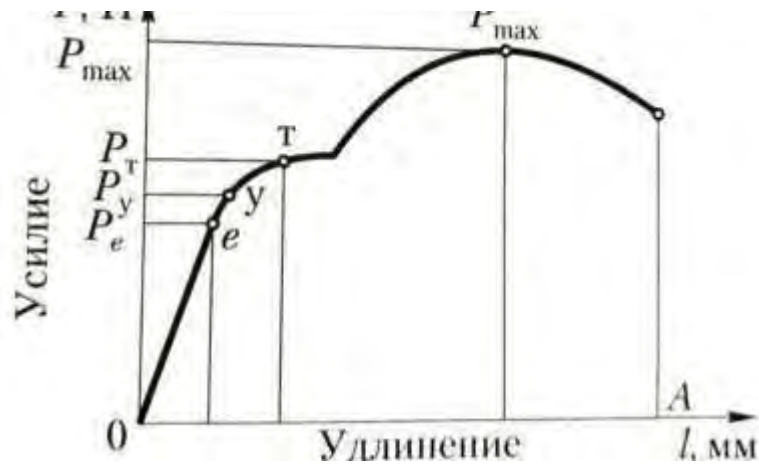


Рис.6.2. Диаграмма растяжения арматурной стали

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100 \quad (6.5)$$

где l_k - длина образца после разрыва, см; l_0 - первоначальная длина образца, см; F_0 - первоначальная площадь поперечного сечения образца, см²; F_1 - площадь поперечного сечения образца сечения разрыва, см²

Значения пределов прочности, упругости и пластичности можно определить, используя диаграмму растяжения (рис. 6.2).

По оси ординат на диаграмме отложены значения усилий, приложенных к образцу, по оси абсцисс - значения удлинения образца в каждый момент испытания. По точкам на кривой диаграммы можно определить напряжение образца, вычисляемое делением усилия в данной точке на первоначальную площадь поперечного сечения образца.

Участок на диаграмме от нуля до точки e показывает, что между усилием, прилагаемым к образцу, и его удлинением существует пропорциональная зависимость, т.е. во сколько раз возросло усилие, во столько же раз возросло удлинение образца. При усилении равном P напряжение образца достигает предела упругости, т.е. такого значения, при котором остаточное удлинение впервые достигает некоторой малой величины.

При усилении, соответствующем горизонтальному участку на диаграмме, происходит удлинение образца без приращения величины усилия.

Напряжение в точке Pe характеризует предел пропорциональности арматурной стали.

Напряжение в точке P_e характеризует предел пропорциональности арматурной стали. Напряжение в точке P_T , характеризует физический предел текучести арматурной стали.

Предел текучести P_y - условный, $\sigma_{0,2}$ - напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2 % начальной длины образца.

При усилии больше P_{max} , происходит непрерывное удлинение образца. При усилии $P_{тах}$ предшествующем разрыву, образец начинает уменьшаться в поперечном сечении. Затем образец разрушается. Напряжение при усиллии m_x характеризует предел прочности арматурной стали σ_b .

Пластичность арматурной стали образца определяется длиной отрезка OA на оси абсцисс. Чем больше длина отрезка, тем пластичнее арматурная сталь.

Приборы и материалы

- Штангенциркуль.
- Разрывная испытательная машина марки Р-10.
- Индикаторный деформометр.
- Образцы низкоуглеродистой арматурной стали диаметром 10 мм и длиной 200 мм.

Методика испытаний

Методика выполнения работы

1. Подготовительная работа.

Перед проведением испытания определяют размеры и массу образца, вычисляют площадь поперечного сечения.

Диаметр гладких стержней определяют как среднее арифметическое значение измерений диаметра стержня в трех местах по длине (с погрешностью 0,1 мм). Площадь поперечного сечения гладких стержней вычисляют по среднему значению диаметра.

Площадь поперечного сечения образцов периодического профиля S_0 вычисляют по

где m - масса образца, г (определяется взвешиванием с погрешностью для стержней диаметром менее 10 мм - до 1 г, диаметром 10...20 мм - до 2 г, диаметром более 20 мм - до 10 г); ρ - плотность стали, равная 0,00785 г/мм³ (7850 кг/м³); l - длина испытываемого образца, мм (измеряется с погрешностью не более 0,5 мм).

С помощью рисок, наносимых керном, образцы размечают на в равных частей на несколько большей длине, чем рабочая l_0 (рис. 6.3, а). Расстояние между рисками

принимают: для стержней диаметром 10 мм и более - не больше их диаметра, для стержней менее 10 мм - не более 5 мм. (рис. 6.3). Образцы из арматурной стали: до

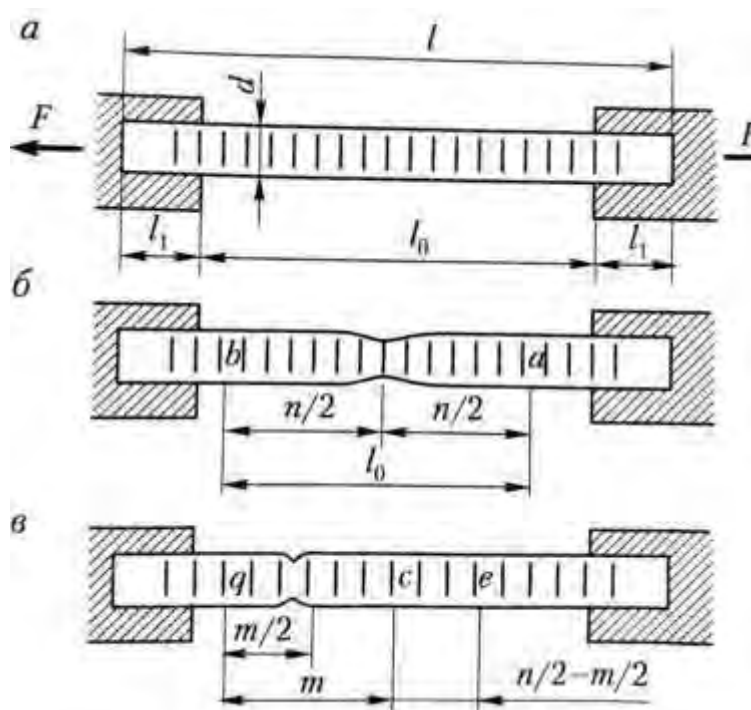


Рис.6.3. Образцы из арматурной стали: а) до испытаний, б)в) после испытаний на растяжение

испытаний (а) и после испытаний (б, в) на растяжение

2. Определение предела текучести σ_T .

На образце закрепляют индикаторный деформометр на базе измерения 100 мм. Образец из арматурной стали закрепляют в захваты разрывной машины и центрируют. Стрелку силоизмерителя машины устанавливают на нуль и включают двигатель, обеспечивая нарастание усилия со скоростью 10 МПа/с. За нарастанием усилия и деформации следят по движению стрелки силоизмерителя.

При достижении арматурной сталью предела текучести σ_T , стрелка силоизмерителя останавливается, а затем вновь начинает перемещаться. Величину усилия P , в момент остановки стрелки прибора фиксируют и принимают за усилие, соответствующее до 5 МПа по формуле (6.3).

3. Определение предела прочности σ_B .

После разрыва образца полученные части складывают вместе так, чтобы их оси образовывали прямую линию. Если между сложенными концами имеется зазор, получившийся в результате выкрашивания арматурной стали при испытании, то его включают в длину расчетной части образца после разрыва. От места разрыва в одну

сторону откладывают $n/2$ интервалов и ставят метку a (рис. 6.3, б). Дробную величину $n/2$ (при нечетном значении n) округляют до целого числа в большую сторону. Участок от места разрыва до первой риски принимают для расчета за полный интервал. От метки a в сторону места разрыва откладывают $n/2$ интервалов и ставят метку b . Отрезок ab принимают за конечную расчетную длину образца l_k .

Если место разрыва окажется ближе, чем $n/2$, к краю захвата машины, то конечную расчетную длину образца l_k полученную после разрыва, определяют следующим образом (рис. 6.3, в). Вычисляют число интервалов от места разрыва до крайней риски q и обозначают через $m/2$. Затем от точки q к месту разрыва откладывают $m/2$ интервалов и ставят метку c . От метки c в том же направлении откладывают $(n/2 - m/2)$ интервалов и ставят метку e . Конечную расчетную длину образца вычисляют по формуле

$$l_k = c q + 2ce, \quad (6.7)$$

где cq , ce - длины участков образца соответственно между метками c и q и метками c и e , мм.

Измерив конечную длину l_k вычисляют относительное удлинение δ и относительное сужение φ по формулам (6.4), (6.5).

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 6.3.

Таблица 6.3.

Показатель	№ образца			Среднее ариф.
	1	2	3	
Длина образца, мм				
до испытания d_0				
после испытания на разрыв				
Площадь поперечного сечения образца, мм				
начальная S_0				
после испытания на разрыв S_1				
Расчетная длина образца, мм				
начальная l_0				
конечная l_k				
Усилие на образец, Н				
Соответствующее пределу текучести, F_T				
максимальное, F_{max}				
Предел текучести σ_T , МПа				
Временное сопротивление σ_B , МПа				

Показатель	№ образца			Среднее ариф.
Относительное удлинение после разрыва δ , %				
Относительное сужение после разрыва φ , %				

Результаты испытаний арматурной стали на растяжение

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

Задание 2. Определение твердости металлов

Твердость - свойство поверхностного слоя металла сопротивляться деформации (или разрушению) при местном контактом силовом воздействии на него другого, более твердого тела (индентора) определенной формы и размеров. По этой характеристике оценивают качество металла в деталях и изделиях.

Для определения твердости используются стандартные методы:

Бринелля, Роквелла и Виккерса.

Сущность *метода Бринелля* (ГОСТ 9012-59) заключается в том, что в поверхность испытываемого образца (изделия) статическим усилием вдавливают стальной закаленный шарик диаметром D . Усилие прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени, и после снятия усилия измеряют диаметр отпечатка d (рис. 6.4). По размеру полученного отпечатка судят о твер-

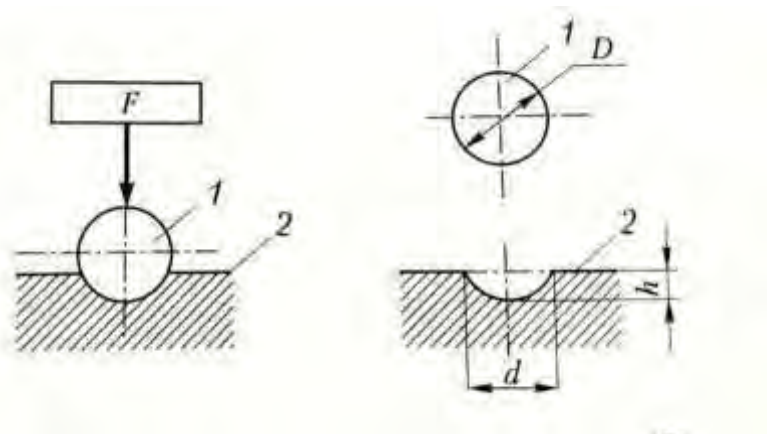


Рис.6.4. Схема определения твердости металлов по Бринеллю: 1– шарик, 2 –металл

сти металла НВ.

Сущность *метода Роквелла* (ГОСТ 9013-59) заключается во вдавливании в металл стального шарика диаметром 1,588 мм или алмазного конуса с углом при вершине 120° (рис. 6.5). Для проведения испытания используют прибор типа ТК или ТР 5006, аналогичный твердомеру ТШ для определения твердости по Бринеллю.

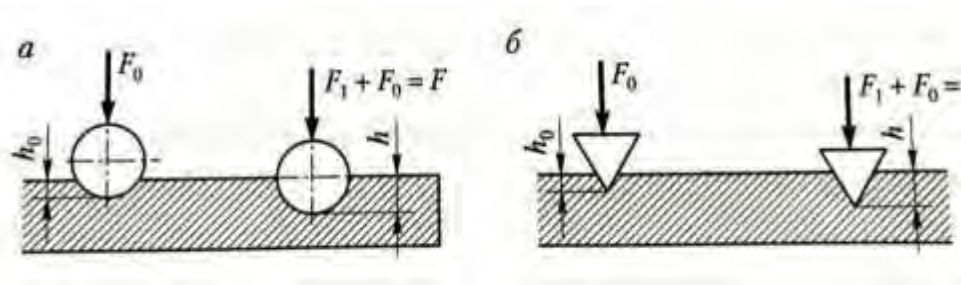


Рис. 6.5. Схема определения твердости по Роквеллу:

а - шариком; б - алмазным конусом;

F_0 - предварительное усилие; F_1 - основное усилие; F - общее усилие; h_0 - глубина вдавливания от предварительного усилия; h - глубина вдавливания от общего усилия

Шарик или алмаз вдавливают в образец под действием двух последовательно прилагаемых усилий: вначале предварительное $F_0 = 100$ Н и затем общее F , которое равно сумме предварительного и основного F_1 . Основное усилие F_1 составляет 600, 1000 и 1500 Н. Вдавливание шарика или конуса продолжается 5...6 с. Глубина вдавливания h определяется с помощью индикатора, установленного на приборе. Индикатор имеет 3 шкалы – А, В, С, которые соответствуют различным условиям испытаний. Так, шкалы А и С служат для испытания алмазным конусом при основном усилии F_1 соответственно 600 и 1500 Н, шкала В – для испытания стальным шариком при нагрузке 1000 Н. По глубине вдавливания обозначают и число твердости: при испытании алмазным конусом твердость обозначают HRA или HRC; при испытании стальным шариком – HRB, например, HRB 110.

Метод Виккерса (ГОСТ 2999)

Сущность метода состоит в том, что с помощью прибора – твердомера марки ТП в образец металла вдавливается алмазная четырехгранная пирамида с углом при вершине $\alpha = 136^\circ$. Затем по длине диагонали полученного отпечатка определяют твердость по таблицам, приведенным в ГОСТ 2999 или вычисляют ее по формуле:

$$HV = 0,1854 \frac{F}{d^2}, \text{ Н/мм}^2 \quad (6.8)$$

где F – усилие, Н;

d – диагональ отпечатка, мм.

Усилие может быть от 149 до 1980 Н и продолжительность его действия 10..25 с. Для закаленных стальных изделий усилие составляет 490 Н.

Приборы и материалы

1. Прибор Бринелля – твердомер шариковый ТШ (рис.6.6).
2. Шарики стальные с номинальным диаметром 2,5, 5 и 10 мм.
3. Образцовые меры твердости.
4. Микрометр.
5. Образцы металла (чугун, мало- и высокоуглеродистые стали, бронза) со шлифованной поверхностью.

Методика выполнения работы

Определение твердости металлов методом Бринелля

Поверхность образца должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидов пленки. Образец во время испытаний не должен прогибаться и смещаться. Диаметры стальных шариков, которые вдавливают в испытываемый образец, устанавливают в зависимости от прилагаемого усилия. При диаметре 2,5 мм усилие на стальной шарик составляет 625 и 1875 Н (62,5 и 187,5 кгс); при диаметре 5 мм – 2450 и 7355 Н (250 и 750 кгс); при диаметре 10 мм – 9800 и 29430 Н (1000 и 3000 кгс).

Испытания проводят с применением усилий, зависящих от диаметра шарика D (табл. 1 ГОСТ 9012).

Толщина образца (мм) выбирается такой, чтобы на его противоположной стороне после испытания не было следов деформации.

Подготовленный образец закрепляют на столике, плотно прижимая к шариковому наконечнику, прилагая усилие 1 кН. Затем указательную стрелку измерительного прибора устанавливают на нулевое деление и приступают к испытанию. Включают прибор и усилие увеличивается плавно до максимальной величины.

Продолжительность выдержки τ под усилием должна быть для черных металлов – от 10 до 15 с, а для цветных металлов и сплавов – от 10 до 180 с в зависимости от материала и его твердости (она обычно указывается в технических нормативных документах на металлические изделия).

Диаметр отпечатка d , который получается на образце после снятия усилия, измеряют отсчетным микроскопом с ценой деления 0,05 мм и с полем зрения не менее 6,5 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее $4d$, а расстояние от центра отпечатка до края образца не менее $2,5d$. Для металлов с твердостью менее 3,5 НВ эти расстояния должны быть соответственно $6d$ и $3d$.

Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За окончательный результат берут среднее арифметическое. Значение измеренного диаметра отпечатка должно находиться в пределах

$$0,2 D < d < 0,6 D \quad (6.9)$$

где: D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Если это условие не выполняется, то испытание считается недействительным и его повторяют снова.

Твердость по Бринеллю выражают числом твердости **HB**, которое вычисляют по формуле:

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi Dh} = \left(\frac{2F}{D - \sqrt{D^2 - d^2}} \right) \quad (6.10)$$

где: F – усилие в Н;

S – площадь отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

На практике чаще всего пользуются расчетными таблицами, приведенными в приложении 3 ГОСТ 9012, где по диаметру отпечатка, диаметру шарика и величине усилия находят число твердости **HB**.

Твердость по Бринеллю при условиях испытания $D = 10$ мм, $F = 30$ кН и продолжительности выдержки под усилием от 10 до 15 с обозначается цифрами, характеризующими величину твердости и буквами HB, например, HB 185.

При других условиях испытания после букв HB указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика мм, усилие кгс и продолжительность выдержки под усилием с. Например, 250HB 5/750/20, где число 250 – твердость по Бринеллю, определенную с применением шарика $D = 5$ мм, при усилении 750 кгс и продолжительности выдержки под усилием в течение 20 с.

Результаты испытаний заносят в табл. 6.4.

Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Наименование материала	Толщина образца, мм	Диаметр, мм		Величина усилия, Н(кгс)	Значение твердости НВ
		шарика D (индентора)	отпечатка d		

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний, сопоставляя твердость испытанных металлов.

Задание 3. Технологические испытания арматурной стали

Определение способности арматурной стали к изгибу в холодном состоянии относится к технологическим испытаниям, которые позволяют оценить способность арматурной стали воспринимать деформации без нарушения целостности, т.е. без появления трещин, надрывов, расслоений, принимая при этом заданную форму. От механических испытаний технологические отличаются тем, что при испытании учитывают величину усилия для осуществления той или иной деформации и определяют полученные дефекты на арматурных стержнях.

Для арматурной стали проводят испытание на изгиб в холодном состоянии (стержневая арматура) и на перегиб (арматурная проволока). Испытания арматурной стали на холодный изгиб не-обходимы, потому что в железобетонных конструкциях арматура должна иметь на концах крюки с углом загиба 180° и отгибы по длине арматуры на 45 и 90°

Приборы и материалы

1. Испытательная машина любого типа.
2. Образцы различных арматурных сталей и проволоки.
3. Катковые опоры и оправки толщиной 5, 10, 30 и 50 мм.
4. Ножовка по металлу.
5. Штангенциркуль.

Методика выполнения работы

От стержней арматурной стали отпиливают образцы длиной L , определенной по формуле

$$L = 5d + 150 \text{ мм}, \quad (6.11)$$

где d - диаметр стержня, мм.

Для испытания образцы арматурной стали подвергают холодному изгибу на испытательной машине (рис. 6.7).

На нижней плите 1 устанавливают две опоры 2, в верхней части которых расположены два ролика 3. Ролики могут лежать в цилиндрической выточке в верхней части опор или быть размещены на оси. Образец 4 устанавливают на опоры 2. Усилие на образец передается оправкой 6, установленной посередине между опорами (рис. 9.7, а).

Ширина оправки 6 и опор 2 должна быть больше ширины образца. Толщину оправки устанавливают в соответствии с нормативным документом. Длину образца, отпиливаемого от стержня испытываемой арматурной стали, вычисляют по формуле (6.11).

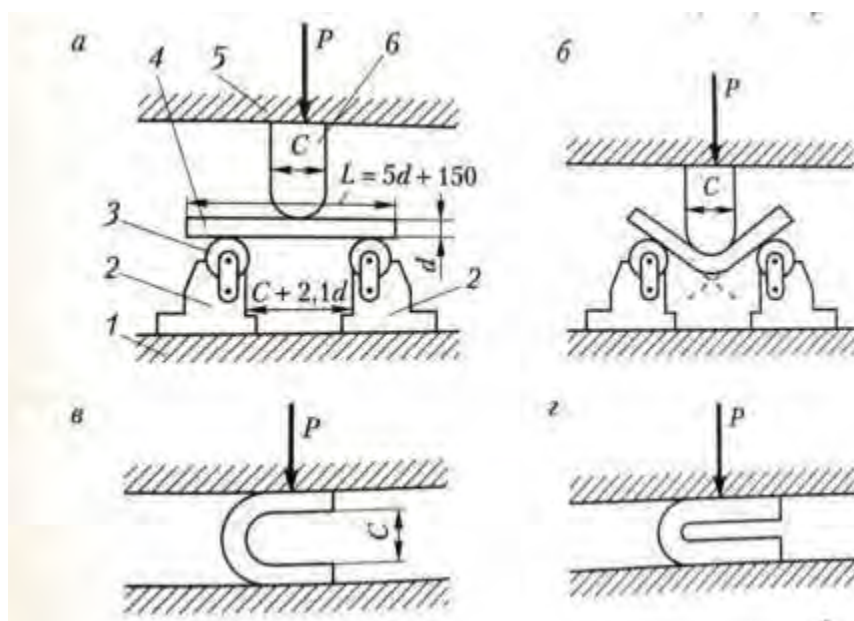


Рис.6.7. Испытание арматурной стали на холодный изгиб: а – схема установки образца, 1, 5 – плиты пресса; 2 – опоры; 3 – ролики; 4 – образец; 6 – оправка; б – загиб до заданного угла; в – загиб на угол 180° вокруг оправки; г – загиб вплотную.

В зависимости от угла и способа загиба испытания могут быть следующих типов.

Испытание на загиб до заданного угла α . Образцы устанавливают на ролики опор, размещенных на расстоянии $C + 2,1d$, где C - толщина оправки, мм. Оправку помещают на середину образца (рис. 6.7, а) и плавно увеличивают усилие на образец до тех пор, пока угол изгиба не достигнет заданной величины (рис. 6.7, б).

Испытание на загиб до параллельности сторон (на угол 180°).

Испытания проводят после предварительного загиба по вышеуказанной схеме на угол не менее 150° и с последующим догибом концов образца до их плотного соприкосновения с поверхностями плит пресса (рис. 9.7, в).

Испытание на загиб вплотную (до соприкосновения сторон).

Испытания проводят также после предварительного загиба по вышеуказанной схеме на угол не менее 150° и с последующим догибом концов образца до их плотного соприкосновения между собой (рис. 6.7, г).

Толщину оправки (мм) принимают в зависимости от марки стали или класса арматурной стали: для стали марки Ст3 - $C = 0,5d$, для арматурной стали класса S400 - $C = 3d$, для арматурной стали класса S800 и высокопрочной проволоки класса S1400 - $C = 5d$.

Усилия на образцы увеличивают плавно, пока концы образца не создадут заданный угол, равный 45° для классов арматурных сталей S800, S1200 и 90° для арматурной стали класса S400. Для арматурной стали класса S240 и всех видов арматурной проволоки изгиб в холодном состоянии осуществляется на угол 180° так, что-Испытание на загиб до параллелого

Испытания проводят после предварительного загиба по вышеуказанной схеме на угол не менее 150° и с последующим догибом концов образца до их плотного соприкосновения с поверхностями плит пресса (рис. 9.7, в).

Испытание на загиб вплотную (до соприкосновения сторон).

Испытания проводят также после предварительного загиба по вышеуказанной схеме на угол не менее 150° и с последующим догибом концов образца до их плотного соприкосновения между собой (рис. 6.7, г).

Толщину оправки (мм) принимают в зависимости от марки стали или класса арматурной стали: для стали марки Ст3 - $C = 0,5d$, для арматурной стали класса S400 - $C = 3d$, для арматурной стали класса S800 и высокопрочной проволоки класса S1400 - $C = 5d$.

Усилия на образцы увеличивают плавно, пока концы образца не создадут заданный угол, равный 45° для классов арматурных сталей S800, S1200 и 90° для арматурной стали класса S400. Для арматурной стали класса S240 и всех видов арматурной проволоки изгиб в холодном состоянии осуществляется на угол 180° так, чтобы концы образца стали параллельными.

После окончания испытания образец осматривают. Если трещин, помолов, надрывов, расслоений не обнаружено, то арматурная сталь считается выдержавшей испытания.

Результат испытаний заносят в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Результаты испытаний арматурной стали на изгиб

№ образца	Марка стали, класс арматурной стали	Диаметр образца d, мм	Длина образца L, мм	Результат испытаний (выдержал, невыдержал)
1	2	3	4	5

Заключение

Сравнить полученные результаты с требованиями ТНПА по марке стали и классу арматурной стали.

6.3 Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. По каким признакам разделяют арматуру для железобетонных конструкций?
2. Какие характеристики определяют при испытании арматурной стали?
3. Что понимают под пределом текучести и временным сопротивлением стали?
4. Как определить предел текучести и временное сопротивление арматурной стали?
5. Как влияет термическая обработка стали и температура нагрева на ее механические характеристики?
6. Как определяется относительное удлинение арматурной стали?
7. Как влияет пластическая деформация арматурной стали на ее предел текучести?
8. Какие существуют методы определения твердости металлов?
9. В чем сущность метода определения твердости по Бринеллю?
10. С какой целью проводят технологические испытания арматурной стали?
11. В чем сущность испытания арматурной стали на изгиб?
12. Что такое технологические испытания арматурной стали?
13. Что служит критерием качества арматурной стали при испытании на загиб?
14. Какова цель проведения испытаний на загиб арматурной стали?

6.4 Литература

1. Герасимова Н.С. Методы испытания и контроля качества металлов, учеб. пособие / Н.С. Герасимова. М. : МГТУ , 2019, 42 с.
2. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханическая упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия.
3. СТБ 1704–2012 Арматура ненапрягаемая для железобетонных конструкций. Технические условия.
4. СТБ 1768-2007 Строительство. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные. Термины и определения.
5. ГОСТ 12004-83. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
6. ГОСТ 14019-80. Металлы и сплавы. Методы испытания на изгиб.
7. ГОСТ 1579-93. Проволока. Метод испытания на перегиб.
8. ГОСТ 9012. (ИСО 410-82, ИСО 6506-86) Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
9. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
10. ГОСТ 9013. (ИСО 6508-86) Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Роквеллу.
11. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Методы измерения твердости по Виккерсу.
12. СТБ 1701-2006. Сталь арматурная горячекатаная, упрочненная вытяжкой. Технические условия.

Лабораторная работа № 7

ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Цель работы

- Ознакомить с особенностями гипсового вяжущего;
- Закрепить связи теоретических представлений о процессах, происходящих при получении и использовании этого вяжущего с результатами опытов;
- Приобрести навыки работы с нормативной документацией
- Ознакомить студентов с методиками определения марки гипса и соответствия его техническим требованиям;
- Научить определять основные показатели качества материала и его технологические свойства;
- Приобрести навыки научно-исследовательской работы.

7.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. По каким признакам (свойствам) классифицируются гипсовые вяжущие вещества?
2. Сырье и технология получения гипсового вяжущего (строительного гипса).
3. К какому классу минеральных вяжущих по условиям твердения относится гипсовое вяжущее (ГВ)?
4. По каким показателям низкообжиговые гипсовые вяжущие отличаются от высокообжиговых?
5. Основные стадии процесса твердения минеральных вяжущих веществ.
6. По каким показателям оценивают качество гипсового вяжущего?
7. Что влияет на водопотребность ГВ; какая связь между водопотребностью и прочностью гипсового камня?
8. Какие периоды по теории твердения минеральных вяжущих веществ фиксируются при определении начала и конца схватывания?
9. Каким образом можно регулировать процесс гидратации ГВ?
10. Каким образом можно повысить водостойкость ГВ?
11. Способы ускорения набора прочности гипсовыми изделиями.
12. По каким техническим показателям определяют марку и вид ГВ?
13. Чем отличаются свойства гипсовых смешанных вяжущих от свойств гипсового вяжущего?
14. Применение гипсовых вяжущих в строительстве.

7.2. Задания к лабораторной работе

1. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста.
2. Определение конца текучести и сроков схватывания гипсового теста стандартной консистенции.
3. Определение тонкости помола гипсового вяжущего.
4. (исследовательское) Регулирование сроков схватывания гипсового теста.
5. (исследовательское) Определение водостойкости гипсового камня.
6. (исследовательское) Получение высокопрочного гипсового камня фильтрационным методом.
7. (исследовательское). Исследование влияния волокнистого наполнителя на свойства гипсового камня.

Общие сведения о гипсовых вяжущих веществах **Процесс получения и твердения гипсовых вяжущих**

Гипсовые вяжущие вещества – это воздушные вяжущие, получаемые путем термообработки (обжига) гипсового сырья и помола продуктов обжига.

Сырьем для получения гипсовых вяжущих являются:

- 1) природный гипсовый камень – осадочная горная порода, состоящая, в основном, из минерала гипса (двуводного гипса) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- 2) природный ангидрит CaSO_4 или ангидритосодержащие отходы промышленности;
- 3) гипсосодержащие отходы химической промышленности.

Природный гипсовый камень на территории Республики Беларусь не добывается. Сырье приходится завозить из других стран с немалыми расходами на транспорт. В то же время остаются не использованными 14 млн т фосфогипса (отходы производства фосфорной кислоты на ОАО «Гомельский химический завод»), которые почти целиком состоят из двуводного сульфата кальция, представляющего собой первосортное сырье для производства вяжущих. Однако содержащиеся в отходах примеси фосфорной кислоты, кислых фосфатов и фторидов затрудняют их переработку в вяжущее. К тому же эти примеси токсичны, поэтому представляют серьезную угрозу для экологической обстановки. Также необходимо найти пути утилизации фосфогипсовых отходов. Этой проблемой заняты многие организации в нашей стране и за рубежом. Значительная работа по нейтрализации вредных примесей и получению высококачественного гипсового вяжущего из фосфогипса в свое время проводилась в БНТУ на кафедре «Строительные материалы и технология строительства».

Сырье для ГВ на ОАО «Белгипс» размалывают, затем в виде порошка подвергают термической обработке в гипсоварочных котлах при температуре 120...165 °С.

Цель термической обработки - частичная (неполная) дегидратация двуводного сульфата кальция до образования полугидрата сульфата кальция $\text{CaSO} \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$:

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO} \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}. \quad (7.1)$$

Образовавшийся водяной пар отводится. Полуводный сульфат кальция (полуводный гипс) придает продукту термообработки свойства вяжущего вещества, поскольку приобретает способность активно взаимодействовать с водой, гидратироваться и твердеть.

Кроме полуводного гипса в продукте термообработки могут присутствовать:

- примеси, содержащиеся в сырье (чем их меньше, тем выше качество вяжущего);
- в негидратированный двуводный гипс (если температура термообработки была недостаточно высокой);
- полностью гидратированный гипс – ангидрит CaSO_4 (если температура термообработки была слишком высокой).

Двуводный гипс и ангидрит с водой не реагируют, вяжущими свойствами не обладают, и поэтому их присутствие в гипсовом вяжущем нежелательно.

Высокопрочный гипс – разновидность полуводного гипса.

При получении гипсового вяжущего термообработкой сырья при атмосферном давлении образующийся полугидрат сульфата кальция приобретает кристаллическую форму β -модификации. Если же термообработку природного гипса вести в герметически закрытых аппаратах (автоклавах) под давлением 0,2...0,3 МПа с последующей сушкой при $t = 160 \dots 180^\circ\text{C}$, можно получить кристаллы полугидрата α -модификации. Полуводный гипс α -модификации имеет более крупные кристаллы, обуславливающие меньшую водопотребность гипса (40-45 % воды), что позволяет получать гипсовый камень с большей плотностью и прочностью. В этом случае качество гипсового вяжущего, в частности, прочность получаемых из него изделий, резко возрастает. Прочность его за 7 суток достигает 15...40 МПа. Однако усложнение технологии, естественно, ведет к дополнительным расходам. Поэтому из экономических соображений основной объем гипсовых вяжущих в настоящее время производят термообработкой сырья при атмосферном давлении, т.е. с получением полуводного гипса β -модификации.

Процесс твердения гипсового вяжущего основан на реакции гидратации (присоединения воды) полуводного гипса



т.е. идет реакция, обратная происходящей при термообработке сырья.

Таким образом, термообработка природного минерала выводит его из устойчивого состояния, придает ему химическую активность, и в результате взаимодействия с водой вещество снова возвращается в термодинамически устойчивое состояние, но уже не в горной породе, а в строительных материалах, изделиях и конструкциях.

Процесс твердения гипсового вяжущего при взаимодействии с водой начинается с растворения полуводного гипса в воде (рис.7.1). Растворимость двуводного гипса в 5 раз меньше растворимости полуводного, поэтому насыщенный по отношению к полуводному гипсу раствор оказывается пересыщенным по отношению к двуводному. В этих условиях двуводный гипс, связывая воду, выделяется из раствора в виде геля, что ведет к загустеванию гипсового теста, называемому *схватыванием*. Далее сравнительно быстро (по сравнению, например, с цементом) происходит образование кристаллических сростков, т.е. твердение.

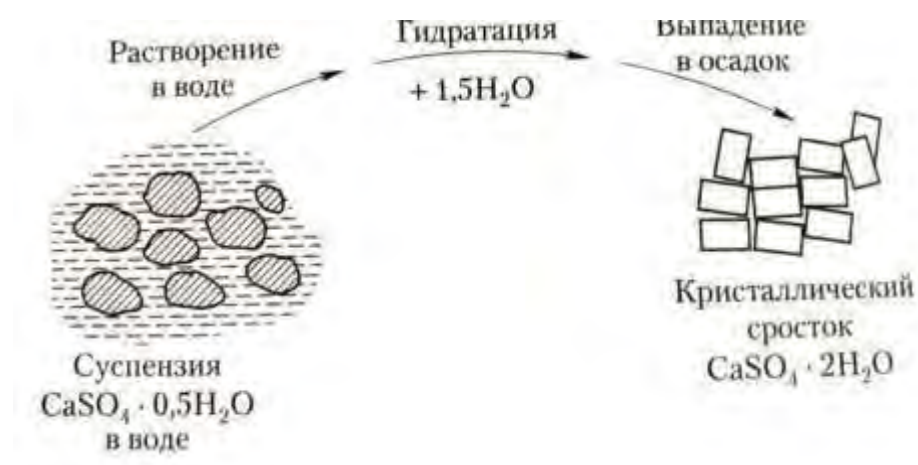


Рис. 7.1. Схема твердения гипса

По условиям твердения гипсовые вяжущие относятся к типично воздушным вяжущим веществам. Изделия из них обладают невысокой водостойкостью, т.е. при увлажнении их прочность резко снижается. Поэтому, как правило, они применяются для выполнения строительных работ в помещениях с сухим и нормальным режимами эксплуатации.

К основным **показателям качества** гипсового вяжущего относят:

- ▶ водопотребность, нормальную густоту затворенная (в/г);
- ▶ сроки схватывания;
- ▶ прочность на растяжение при изгибе и при сжатии образцов из затвердевшего гипсового теста (марка);
- ▶ тонкость помола.

- ▶ расширение при нагревании.

Кроме того, гипсовые вяжущие обладают такими характерными показателями, как:

- ▶ быстрое схватывание и твердение
- ▶ расширением при твердении с увеличением в объеме до 1 %.
- Свойства гипсовых вяжущих регулируют путем введения:
 - химических добавок, ускоряющих или замедляющих сроки схватывания и твердение;
 - волокнистых минеральных и органических наполнителей и заполнителей, которые снижают ползучесть влажной гипсовой отливки, повышают предел прочности при изгибе и при растяжении, уменьшают хрупкость гипсового камня и его плотность.

Виды и марки гипсовых вяжущих

Гипсовые вяжущие (ГВ) по ГОСТ 125 в зависимости от свойств разделяются на марки, группы и виды. Это деление ГВ основано на таких показателях, как сроки схватывания, тонкость помола, прочность при изгибе и сжатии.

В зависимости от сроков схватывания ГВ разделяют на: быстротвердеющие (А), нормальнотвердеющие (Б) и медленнотвердеющие (В) (табл. 7.1)

Таблица 7.1

Виды гипсового вяжущего по срокам схватывания

Виды вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющее	А	2	15
Нормальнотвердеющее	Б	6	30
Медленнотвердеющее	В	20	не нормируется

В зависимости от значений пределов прочности различают 12 марок гипсовых вяжущих, обозначаемых Г-п, где п – минимальный предел прочности при сжатии образцов балочек в возрасте 2 ч. Например, марка вяжущего Г-5 соответствует пределу прочности при сжатии половинок балочек не менее 5 МПа (а при изгибе – не менее 2,5 МПа), как показано в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Марки гипсовых вяжущих (по прочности)

Обозначение марки вяжущего	Предел прочности образцов в возрасте 2 ч, не менее	
	при сжатии $R_{сж}$, МПа (кгс/см ²)	при изгибе $R_{изг}$, МПа (кгс/см ²)
Г-2	2 (20)	1,2 (12)
Г-3	3 (30)	1,8 (18)
Г-4	4 (40)	2,0 (20)
Г-5	5 (50)	2,5 (25)
Г-6	6 (60)	3,0 (30)
Г-7	7 (70)	3,5 (35)
Г-10	10 (100)	4,5 (45)
Г-13	13 (130)	5,5 (55)
Г-16	16 (160)	6,0 (60)
Г-19	19 (190)	6,5 (65)
Г-22	22 (220)	7,0 (70)
Г-25	25 (250)	8,0 (80)

Наиболее употребляемые в строительстве марки гипсовых вяжущих – Г-4 ... Г-10.

В зависимости от степени (тонкости) помола различают вяжущее грубого (I), среднего (II) и тонкого (III) помола (табл. 7.3).

Увеличение тонкости помола повышает их водопотребность, скорость твердения и набора прочности.

Таблица 7.3

Виды гипсовых вяжущих в зависимости от степени помола

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Остаток на сите с сеткой 02 с размерами ячеек в свету 0,2 мм не более
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Области применения ГВ в зависимости от их свойств определены стандартом и указаны в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Области применения ГВ в зависимости от его марки и вида

Области применения ГВ	Рекомендуемые марки и виды
1. Изготовление гипсовых строительных изделий всех видов	Г-2...Г-7 всех сроков твердения и степеней помола
2. Изготовление тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей	Г-2...Г-7 быстрого и нормального твердения, тонкого и среднего помола
3. Производство штукатурных работ, заделка швов и специальные цели	Г-2...Г-25 нормального и медленного твердения, среднего и тонкого помола
4. Изготовление форм и моделей в фарфоро-фаянсовой, керамической, машиностроительной и других отраслях промышленности, а также в медицине	Г-5...Г-25 нормального срока твердения, тонкого помола

На основе ГВ изготавливают:

- I.пазогребневые гипсовые плиты;
- II.декоративные гипсовые плиты для подвесных потолков;
- III.декоративные гипсовые плиты для внутренних поверхностей стен (ГКЛ и ГВЛ).

ГВ используют:

- для устройства теплозвукоизоляционных слоев и саморазравнивающихся (самонивелирующихся) стяжек полов;
- для производства штукатурных работ растворами из сухих гипсовых смесей;
- для устройства оснований автодорог из полуводного гипса или фосфогипса (отхода производства ортофосфорной кислоты и сложных концентрированных удобрений), двойного суперфосфата, аммофоса.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНОЙ КОНСИСТЕНЦИИ (НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ) ГИПСОВОГО ТЕСТА

Гипсовое тесто представляет собой пластичную тестообразную массу, состоящую из гипсового вяжущего и воды, взятых в определенном соотношении и тщательно перемешанных до полной однородности.

Количественное соотношение воды и гипсового вяжущего в тесте называется *водогипсовым отношением* (В/Г).

Оно зависит от состава сырья, способа получения вяжущего, тонкости помола, температуры гипса и воды в момент затворенная, применяемых добавок. Для получения теста нормальной густоты из строительного и формовочного гипса нужно от 50 до 80 % воды, для высокопрочного гипса – от 35 до 45 %.

Под *нормальной густотой* принято понимать такую консистенцию гипсовой массы после затворенная, при которой диаметр расплыва при вытекании из полого цилиндра без дна (вискозиметр Суттарда) при его поднятии должен быть равен (180 ± 5) мм.

Количество воды, соответствующее нормальной густоте, выражается в процентах как отношение массы воды, необходимой для получения гипсовой смеси стандартной консистенции, к массе гипсового вяжущего

$$X = \frac{B}{G} \cdot 100, \% \quad (7.3)$$

Приборы и материалы:

- Прибор (вискозиметр Суттарда) в виде цилиндра из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью.
- Весы по ГОСТ 19191-74 с погрешностью определения массы не более 1 г.
- Ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1-2мм.
- Стекло с рядом нанесенных концентрических окружностей диаметром от 150 до 220 мм через каждые 10 мм, а окружности диаметром от 170 до 190 мм – через 5 мм.
- Чашка из коррозионностойкого материала вместимостью более 500см³.
- Цилиндр для отмеривания воды.
- Нож или линейка.
- Гипсовое вяжущее.
- Секундомер.

Методика испытаний

Определение нормальной густоты гипсового вяжущего производят на приборе (вискозиметре Сутгарда) из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью в виде цилиндра высотой 100 мм, внутренним диаметром 50 мм (рис. 7.2).

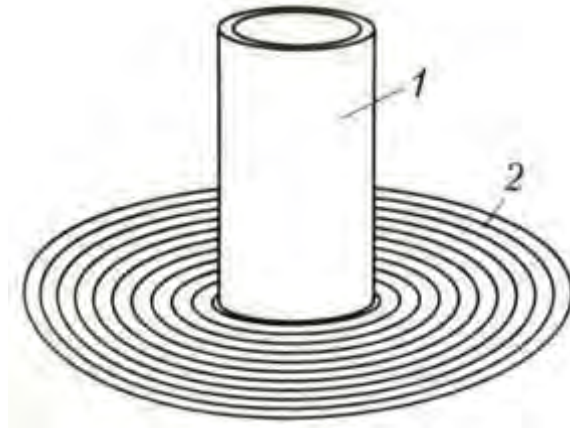


Рис. 7.2. Вискозиметр Сутгарда:
1 – цилиндр, 2 – стеклянная пластина, 3 – концентрические окружности

На стекле или специальной бумаге, которая будет находиться под стеклом, нанесены концентрические окружности через каждый сантиметр, облегчающие замер расплыва.

Последовательность действия во время опыта:

1. Подготовить вискозиметр Сутгарда. Тщательно очистить цилиндр, *протереть влажной мягкой тканью его внутреннюю поверхность* и стекло и поместить цилиндр строго в центре окружностей. *Круглодонную чашку для затворения гипсового теста также следует очистить и протереть влажной тканью.*
2. Отвесить 300 г гипса и отмерить воду (50-70 % от массы гипса).
3. Влить воду в смесительную чашку, а затем в течение 2-5 с всыпать гипсовое вяжущее (а не наоборот). Массу перемешивать ручной мешалкой снизу вверх в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала всыпания ГВ в воду до получения вполне однородной массы.

Изделия из гипсовых вяжущих формируют методом литья, поэтому для получения пластичной массы нормальная густота должна быть 50-70 %, в то время как для гидратации гипса необходимо около 20 % воды от его массы.

4. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, быстро наполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают влажным ножом или линейкой. Через 45 с, считая от начала засыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр очень быстро поднимают строго вертикально на высоту 15-20 см и отводят в сторону. Таким образом, время перемешивания строго соблюдают, так как вязкость гипсового теста быстро возрастает во времени и нарушение продолжительности перемешивания дает искаженные результаты испытания.

Гипсовое тесто растекается по поверхности стекла в виде конической лепешки. Нижний диаметр этой лепешки характеризует консистенцию теста.

Диаметр расплыва измеряют непосредственно после поднятия цилиндра в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва не соответствует 180 ± 5 мм, испытание повторяют с иным количеством воды.

Если диаметр лепешки меньше 18 см, - тесто слишком густое, следовательно, воды для затворения гипса было взято мало. Если диаметр лепешки больше 18 см, - тесто слишком жидкое и содержит лишнюю воду.

Примечание. Ввиду быстрого схватывания гипсовых вяжущих необходимо строго выдерживать время, отведенное стандартом на выполнение той или иной операции.

После окончания каждой операции необходимо немедленно очищать приборы от гипсового теста.

Результаты испытаний

Результаты определения стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста заносят в лабораторный журнал в виде табл.7.5.

Таблица 7.5

Результаты определения нормальной густоты гипсового теста

№ опыта	Масса гипсового вяжущего (ГВ), г	Масса воды, В, г	Время приготовления теста, с		Диаметр расплыва, Ø, мм
			перемешивание	заполнение цилиндра и выдержка	
1	300		30	15	
2					

Заключение.

На основании полученных данных стандартная определить водопотребность. Узнать, от чего зависит прочность отливок, пористость, водостойкость и многие другие характеристики.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ И НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ГИПСОВОГО КАМНЯ

Согласно ГОСТ 23789 прочность затвердевшего гипсового теста (гипсового камня) характеризуется пределом прочности на растяжение при изгибе и на сжатие. В зависимости от этих показателей и различают марки гипсовых вяжущих. Прочность гипсового вяжущего зависит от качества сырья (минимальное содержание примесей 2...3 %) и способа получения вяжущего.

Чтобы получить более прочные отливки, растворы или бетоны, искусственно снижают нормальную плотность гипса, применяют пластификаторы (вещества, разжижающие гипсовую массу).

Приборы и материалы

1. Чашка из коррозионностойкого материала вместимостью более 500 см³.
2. Мешалка ручная, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1...2 мм.
3. Весы с погрешностью определения массы не более 1 г.
4. Формы из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40 × 40 × 160 мм по ГОСТ 310.4.
5. Установка для испытания на растяжение при изгибе по ГОСТ 310.4-81.
6. Установка для испытания на сжатие, состоящая из двух металлических пластин твердостью по Роквеллу HRC не менее 60.
7. Установка испытательная для определения предела прочности образцов при сжатии с предельным усилием до 1000 Н.
8. Образцы, изготовленные из гипсового теста стандартной консистенции.
9. Дилиндры мерные стеклянные для отмеривания требуемого количества воды.
10. Гипсовое вяжущее

Методика испытаний

Определение предела прочности образцов на растяжение при изгибе и на сжатие на образцах из гипсового вяжущего производят по ГОСТ 23789 следующим образом.

1. Изготавливают три образца-балочки размером 40х40х160 мм.

Для этого берут пробу гипсового вяжущего массой 1,3 кг и в течение 20 с засыпают в чашку с водой, взятой *в количестве, необходимом для получения теста стандартной консистенции (нормальной густоты)*. После засыпания вяжущего в воду смесь интенсивно перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста, которое затем немедленно заливают в металлические трехгнездные формы, внутренняя поверхность которых слегка смазана минеральным маслом.

Все три отсека формы наполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно продвигают над формой, разливая гипсовое тесто тонкой струей.

Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают, поднимая и опуская ее за торцевую сторону на высоту 8-10 мм. После наступления начала схватывания излишки гипсового теста снимают линейкой или ножом, передвигая их по верхним граням формы перпендикулярно к поверхности образцов.

Через 15 ± 5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы, осматривают, маркируют и хранят в помещении для испытаний.

2. *Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции, производят через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой (затворения).*

Определение предела прочности на растяжение при изгибе производят испытанием трех образцов-балочек на приборе типа МИИ-100 или на другом испытательном приборе. Образец устанавливают на опоры прибора таким образом, чтобы те грани, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении (рис. 7.3). Включают прибор и доводят образец до разрушения. На шкале прибора фиксируют числовые значения предела прочности при изгибе в

кгс/см² или МПа. Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое результатов трех испытаний и переводят в МПа.

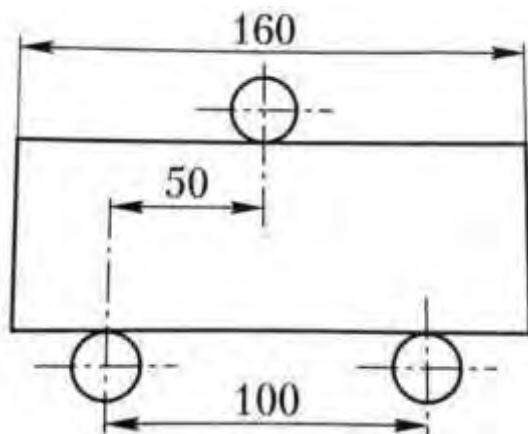


Рис. 7.3. Схема испытания балочки на изгиб: 1 – опоры, 2 – нагружающий валик, 3 – балочка

3. Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подвергают испытанию на сжатие. Для этого каждую половинку балочки помещают между двумя стальными пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились в плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе (рис. 7.4).

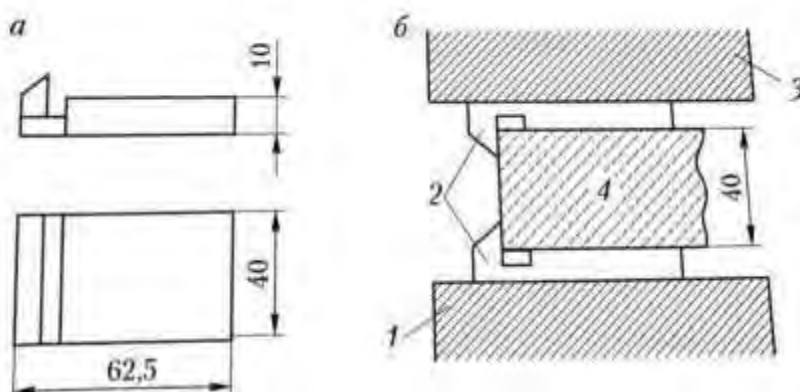


Рис. 7.4. Схема испытания балочки на сжатие: 1 – нижняя плита прессы; 2 – пластинки; 3 – верхняя плита прессы; 4 – образец – половинка балочки

Время от начала равномерного нагружения образца до его разрушения должно составлять от 15 до 30 с, средняя скорость нарастания усилия при испытании должна быть $1 \pm 0,5$ МПа в секунду.

Расчет предела прочности на сжатие производят по формуле

$$R_{см} = \frac{F}{A}, \text{ МПа} \quad (7.4)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – рабочая площадь пластины, равная 2500 мм^2 .

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

Результаты испытаний

Исходные данные для изготовления образцов-балочек заносят табл. 7.6, а результаты испытаний на растяжение при изгибе и на сжатие – в табл. 7.7 и 7.8.

Таблица 7.6

Изготовление образцов-балочек из гипсового теста стандартной консистенции

Определения	Показатели (численные значения)
Навеска вяжущего, г	
% воды от массы вяжущего	
Количество воды, мл	
Способ перемешивания	
Время перемешивания	
Метод изготовления	
Размеры образцов, мм	
Срок и условия хранения	

Таблица 7.7

Предел прочности образцов из гипсового камня на растяжение при изгибе

Прибор для испытания _____

Результаты испытаний	Ед. изм.	№ образца		
		1	2	3
Предел прочности на растяжение при изгибе	кгс/см ²			
	МПа			
Среднее арифметическое трех испытаний	МПа			

Согласно ГОСТ _____ предел прочности на растяжение при изгибе соответствует требованиям к марке Г- ____ .

Таблица 7.8

Предел прочности на сжатие

Марка и предел измерения прессы _____

Показатели	Ед. изм.	№ половинок-балочек					
		1	2	3	4	5	6
Разрушающее усилие, F	Н						
Рабочая площадь пластины, A	мм ²						
Предел прочности на сжатие, $R_{сж}$	МПа						
Среднее арифметическое 4-х испытаний без наибольшего и наименьшего результатов	МПа						

Согласно ГОСТ _____ предел прочности при сжатии соответствует требованиям к марке Г- ____ .

Заключение

Сделать выводы о пределе прочности испытываемых образцов; проанализировать полученные результаты.

По совокупности прочностных свойств имеем гипсовое вяжущее марки Г- ____ .

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦА ТЕКУЧЕСТИ И СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА СТАНДАРТНОЙ КОНСИСТЕНЦИИ

Сроки схватывания гипсового теста характеризуются началом и концом схватывания и определяются для теста стандартной консистенции, т.к. зависят от количества воды затворения. Гипсовые растворные и бетонные смеси применяют в период времени от затворения ГВ водой до начала схватывания.

Приборы и материалы

1. Секундомер
2. Чашка и ручная мешалка для приготовления гипсового теста
3. Прибор Вика с коническим кольцом и иглой из коррозионностойкого материала
4. Весы
5. Полированная пластинка
6. Мерный стеклянный цилиндр для отмеривания воды
7. Гипсовое вяжущее

Методика испытаний

Согласно ГОСТ 23789-79 необходимо определить времени от начала контакта ГВ с водой до начала и конца схватывания теста.

Для определения конца текучести и сроков схватывания теста используют прибор Вика (рис. 7.5).

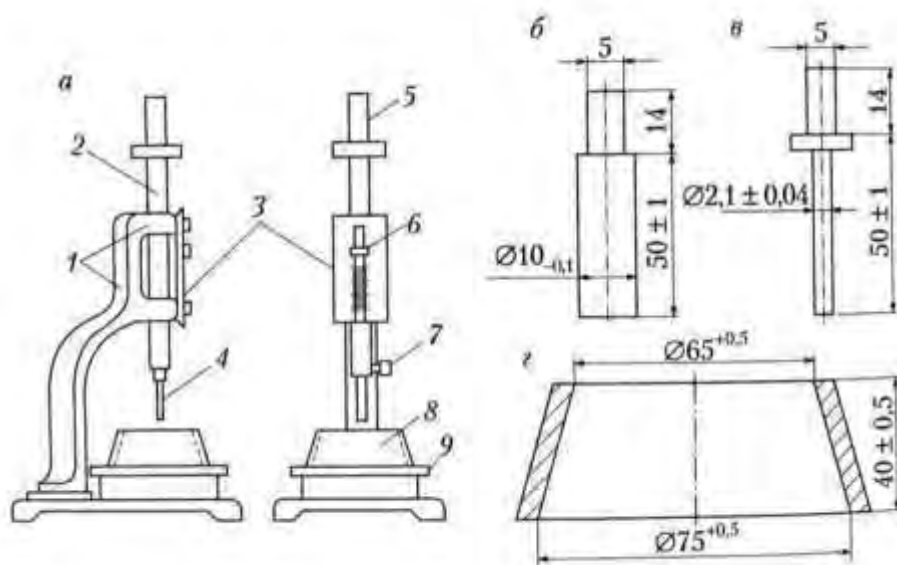


Рис. 7.5. Прибор Вика (а) и приспособления к нему (б...г):
1 – станина, 2 – стержень, 3 – шкала, 4 – игла, 5 – пестик, 6 – указатель, 7 – винт, 8 – кольцо, 9 – стеклянная пластина

В этом приборе подвижный металлический стержень с указательной стрелкой движется в вертикальном направлении около шкалы с делениями от 0 до 40 мм, закрепленной на станине. В нижней части стержня закреплена игла диаметром 1,1 мм. Масса стержня с иглой -300 ± 2 г.

Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также нулевое положение подвижной части, приводя иглу в соприкосновение с пластинкой, на которой расположено кольцо. В случае отклонения от нуля шкала прибора соответствующим образом передвигается.

Для определения сроков схватывания гипсового теста в чашку наливают такое количество воды, которое соответствует нормальной густоте для 300 г гипса, затем всыпают отвешенные 300 г гипса и фиксируют время затворения, равномерно перемешивают смесь в течение 30 с ручной мешалкой.

Перемешанным тестом заполняют стандартное коническое кольцо-форму прибора, высотой 40 мм, предварительно протертое и смазанное минеральным маслом и установленное на металлической пластинке. Для удаления попавшего в тесто воздуха кольцо с пластинкой встряхивают 4-5 раз путем поднятия и опускания одной

из сторон пластинки примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезают линейкой или ножом, выравнивают поверхность, и заполненное кольцо на пластинке устанавливают на основание прибора Вика под иглу.

Подвижную часть (стержень) прибора с иглой приводят в соприкосновение с поверхностью гипсового теста в центре кольца и закрепляют стержень стопорным устройством, отпускают иглу через каждые 30с. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста.

В процессе испытания отмечают три момента времени:

первый, – когда отверстие после извлечения иглы из теста не станет заплывать;

второй, – когда свободно опущенная игла после погружения в тесто первый раз не доходит до поверхности пластинки на 1–2 мм;

третий, – когда свободно опущенная игла погружается в тесто на глубину не более 1 мм.

Время, выраженное в минутах, истекшее от момента добавления вяжущего к воде до каждого из трех состояний, называют соответственно

1. концом текучести,
2. началом схватывания гипсового теста,
3. концом схватывания гипсового теста.

Результаты испытаний

Результаты испытаний по определению конца текучести и сроков схватывания гипсового вяжущего

Прибор _____ Диаметр иглы _____ мм

Масса стержня _____ г

Масса гипсового вяжущего $\Gamma =$ _____ г

Количество воды $B =$ _____ г

$X = B / \Gamma \cdot 100 =$ _____ $\cdot 100 =$ _____ %

Погружение иглы через _____ с

Показание прибора в начале опыта _____ мм

Время начала контакта гипсового вяжущего с водой τ_0 _____ ч _____ мин

Время, когда отверстие в тесте перестало заплывать τ_1 _____ ч _____ мин

Время, когда игла первый раз не дошла до поверхности пластинки, τ_2 _____ ч _____ мин

Время, когда игла погрузилась в гипсовое тесто на глубину не более 1 мм, τ_3 _____ ч _____ мин

Конец текучести: $\tau_1 - \tau_0 =$ _____ мин

Начало схватывания: $\tau_2 - \tau_0 =$ _____ мин

Конец схватывания: $\tau_3 - \tau_0 =$ _____ мин

Заключение

Указать, удовлетворяет (или не удовлетворяет) требованиям ГОСТ 125 гипсовое вяжущее по срокам схватывания. Определить вид гипсового вяжущего.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКОСТИ (СТЕПЕНИ) ПОМОЛА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Тонкость помола – характеристика дисперсности гипса, которая может быть выражена массовой долей остатка (прохода) на одном или нескольких контрольных ситах или величиной удельной поверхности.

Приборы, и материалы

- Сушильный шкаф
- Весы технические с погрешностью определения массы не более 0,05 г.
- Сито с ячейками размером в свету 0,2 мм с поддоном и крышкой.
- Термометр со шкалой до 373 К (100°C)
- Установка для механического просеивания
- Гипсовое вяжущее

Методика испытаний

Согласно ГОСТ 23789 необходимо определить массу гипсового вяжущего, оставшегося на сите с ячейками размером в свету 0,2 мм при просеивании.

Для испытания взвешивают 50 ± 5 % гипсового вяжущего (с погрешностью не более 0,1 г), предварительно высушенного в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре 50 ± 5 °С, и помещают на сито с размером ячеек в свету 0,2 мм. Закрывают сито крышкой и производят просевание вручную или на механической установке в течение 10...15 мин.

При ручном расसेве сито под небольшим наклоном удерживают одной рукой и приблизительно 125 раз в минуту встряхивают ударами о свободную руку, обеспечивая тем самым равномерное распределение гипсового вяжущего. Через каждые 25 ударов сито поворачивают на 90°.

Ручное просевание считают законченным, если сквозь сито в течение 1 мин проходит не более 0,05 г гипсового вяжущего.

Контрольное просевание гипсового вяжущего следует производить на отдельный листок бумаги при снятом с сита доньшке.

Сито должно быть сухим, после просевания его надо тщательно прочистить.

Гипс, прошедший сквозь сито, взвешивают. Тонкость (степень) помола определяют в процентах как отношение массы, оставшейся на сите, к массе первоначальной пробы. За величину тонкости (степени) помола принимают среднее арифметическое результатов двух параллельных испытаний.

Результаты вычислений заносят в табл. 7.9.

Таблица 7.9

Тонкость помола гипсового вяжущего

Определения	Ед. измерения	Результаты испытаний		
		частные		Среднее арифметическое
		1	2	
Масса пробы сухого гипсового вяжущего	г			
	%			
Прошло через сито 0,2 мм	г			
	%			
Масса остатка на сите с ячейками 0,2 мм	г			
	%			

Заключение

По остатку на контрольном сите определить степень и индекс степени помола гипсового вяжущего.

Оценить качество гипсового вяжущего по результатам всех заданий лабораторной работы.

По совокупности требований ГОСТ 125 установить марку по прочности испытанного гипсового вяжущего.

Указать показатели, по которым маркируют гипсовые вяжущие.

Определить область применения ГВ.

Задание 5 (исследовательское)

РЕГУЛИРОВАНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Замедление схватывания гипсового теста

Определенные в ходе выполнения задания 3 сроки схватывания (загустевания) гипсового теста не всегда соответствуют условиям производства работ. Например, при изготовлении мелких изделий (декоративных деталей интерьера и т.п.) при

использовании в сухих строительных смесях из быстротвердеющего гипса пришлось бы готовить тесто многократно малыми порциями. Это неудобно. Гораздо выгоднее готовить тесто сразу в большом количестве и постепенно его расходовать, но в этом случае надо предотвратить слишком раннее его схватывание.

Известно, что *замедление схватывания гипса* достигается введением в гипсовое тесто водного раствора животного (столярного) клея, ЛСТ (лигносульфоната технического), лимонной или винной кислот и их солей, молока, борной кислоты, буры и полимерной дисперсии (ПВА), сернокислого оксидного железа ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), поверхностно-активных добавок (СНВ, ГКЖ-10, 11, 94) и других добавок, адсорбирующихся на частичках гипса и задерживающих растворение полугидрата сульфата кальция.

В штукатурных растворах гипсовые вяжущие используются вместе с известью, замедляющей схватывание гипса, что обеспечивает возможность нормального производства штукатурных работ.

При конвейерном производстве гипсовых изделий, например гипсокартонных листов, требуется не замедление, а ускорение схватывания. Гипсовое тесто в этом случае готовят непрерывно над формовочным постом и подают на конвейер. По мере продвижения изделий на конвейере гипс схватывается, и чем больше скорость этого процесса, тем быстрее может двигаться конвейер, тем больше его производительность.

В качестве ускорителя схватывания используют добавку порошка двуводного гипса $\text{CaSO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (действующего как центры кристаллизации), а также фосфогипс, фторид натрия NaF , сульфат натрия Na_2SO_4 , сульфат калия K_2SO_4 .

Приборы и материалы

- Секундомер.
- Прибор Вика.
- Коническое кольцо и полированная пластинка из коррозионностойкого материала.
- Замедлители схватывания.

Методика испытаний

Испытание состоит в выявлении зависимости сроков схватывания гипсового теста от количества введенной добавки. Для этого следует провести, по крайней мере, еще два опыта, аналогичных проведенному в ходе выполнения задания 3 и отличающихся от него введением добавки в двух разных дозировках. Например, в одном опыте имеющаяся в лаборатории добавка вводится в количестве 2 % от

массы гипсового вяжущего, а в другом – 4 %. При приготовлении гипсового раствора по методике ГОСТ 23789 перед засыпкой гипса сначала необходимо растворить в воде затворения добавку. В остальном методика остается неизменной.

Результаты опытов заносятся в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Регулирование сроков схватывания гипсового теста

Сравниваемые характеристики	Без добавки (из задачи № 3)	С добавкой (вид добавки) _____	
		_____ %	_____ %
Конец текучести, мин			
Начало схватывания, мин			
Конец схватывания, мин			

По данным таблицы 7.10 полезно построить графики для выражения зависимости каждой из сравниваемых характеристик от величины добавки. Три точки на каждом графике соединить плавной кривой. По этим графикам можно определить дозировку добавки для получения гипсового теста с требуемыми сроками схватывания.

Заключение

По графикам определить дозировку добавки для получения гипсового теста с требуемыми сроками схватывания.

Задание 6 (исследовательское)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСОВОГО КАМНЯ

Одним из существенных недостатков ГВ является низкая водостойкость гипса. Применение материалов на основе гипса рекомендуется только для зданий и сооружений с сухим режимом эксплуатации (относительная влажность воздуха не более 60 %).

Приборы и материалы

- Чашка, изготовленная из коррозионностойкого материала.
- Ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1-2 мм.
- Весы с погрешностью определения массы не более 1 г.
- Формы из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40x40x160 мм .

- Прибор для испытания на изгиб по ГОСТ 310.4-81.
- Прибор для определения прочности на сжатие, состоящий из двух металлических пластин твердостью по Роквеллу HRC не менее 60.
- Пресс для определения предела прочности образцов при сжатии с предельным усилием до 10-20 тс.
- Образцы, изготовленные из гипсового теста стандартной консистенции.

Методика испытаний

По методике, изложенной в задании 2, готовят еще два точно таких же замеса, из которых формуют шесть (по три из каждого замеса) образцов-балочек. В работе следует использовать образцы, приготовленные заранее (другой группой на предыдущем занятии).

В начале лабораторной работы три произвольных образца (два – из одного замеса и один – из другого, чтобы в какой-то мере сгладить различия в замесах на случай, если они все же имеются) следует положить для сушки в сушильный шкаф [температура $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$], а остальные три – в воду.

К концу работы образцы извлечь, сухие остудить в эксикаторе, водонасыщенные вытереть влажной тканью, после чего испытать на изгиб и на сжатие по вышеизложенной методике.

Коэффициент размягчения вычислить по формуле:

$$K_{\text{разм.}} = R_{\text{нас.}} / R_{\text{сух.}} \quad (7.5)$$

где $R_{\text{нас.}}$ – средний предел прочности водонасыщенных образцов;

$R_{\text{сух.}}$ – то же сухих образцов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний занести в табл. 7.11 и 7.12.

Таблица 7.11

Определение предела прочности на растяжение при изгибе

№ образца	Предел прочности на растяжение при изгибе образцов, МПа		Коэффициент размягчения, $K_{\text{разм.}}$
	сухих	водонасыщенных	
1			
2			
3			
Среднее			

Определение предела прочности на сжатие

№ образца	Предел прочности на сжатие образцов, МПа		Коэффициент размягчения, $K_{разм.}$
	сухих	водонасыщенных	
1			
2			
3			
Среднее			

Заключение

Выяснить как меняется прочность гипсового камня, полученного из теста нормальной густоты, при его водонасыщении. Прочность водонасыщенных образцов сравнить с прочностью сухих.

Анализируя результаты опытов, следует оценить водостойкость гипсовых материалов, объяснить наблюдаемое явление и указать пути повышения водостойкости, если по условиям эксплуатации это требуется.

Задание 7 (исследовательское)

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

В Межотраслевой научно-исследовательской лаборатории новых строительных материалов (МОНИЛ НСМ) при кафедре «Строительные материалы и изделия» БПИ (в настоящее время БНТУ) в 1980-х гг. была разработана эффективная технология получения высокопрочных гипсовых изделий по способу фильтрационного прессования. Ее сущность состоит в следующем. Вначале гипсовое вяжущее затворяют водой в соотношении, соответствующем получению гипсового теста нормальной густоты. Этим создаются благоприятные условия для гидратации вяжущего. Затем изделия формуют прессованием гидравлическом прессе в специальной форме, позволяющей в процессе прессования отжать из гипсового теста через фильтрующую поверхность излишнюю воду. Пористость изделия уменьшает прочность, возрастает настолько, что уже сразу после формования изделие можно извлечь из

формы. Далее в короткие сроки прочность достигает величины, в несколько раз превышающей прочность стандартных образцов.

Приборы и материалы

1. Формы металлические специальные
2. Пресс гидравлический ПГ-100
3. Фильтрующий материал (сетка)
4. Гипсовое вяжущее

Методика выполнения работы

По результатам опытов (Задание 1) водопотребность гипсового вяжущего для получения теста нормальной густоты оказалась равной _____%. Между тем, для полной гидратации $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ до $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ требуется воды всего 18,6%. Следовательно, большая часть воды затворения в гипсовом тесте окажется не востребуемой для химической реакции, останется несвязанной и образует в гипсовом камне значительную пористость. Отсюда и сравнительно невысокая его прочность.

Повысить прочность гипсовых изделий можно уменьшением их пористости. Но если затворять гипсовое вяжущее меньшим количеством воды, чем требуется для получения теста нормальной густоты, возникнут затруднения при формовании изделий, потребуется некоторое прессующее давление. Такие технологии – с прессованием малооводненных жестких смесей – разработаны, но при их осуществлении возникает опасность саморазрушения изделий через некоторое время. В связи с тем, что при малом содержании воды в гипсовой смеси затруднено растворение полуводного гипса, степень его гидратации на стадии изготовления изделий недостаточна, а продолжающаяся гидратация вяжущего в стесненных условиях прессования ведет к возникновению в структуре материала опасных внутренних напряжений.

Исследовательская задача состоит в выяснении зависимости прочности образцов на изгиб и на сжатие от величины прессующего давления. Давление задается, например, величинами 5, 10, 15 МПа. Остальные параметры технологии сохраняются во всех опытах стабильными: время от момента затворения гипсового вяжущего водой до начала приложения прессующего давления, например, 2 мин; время достижения заданной величины прессующего давления – 1 мин; время выдержки материала в форме под этим давлением – 1 мин, затем немедленная распалубка и испытание образцов через 2 часа.

Заключение

По результатам испытаний полезно построить графики зависимости прочностных характеристик от величины прессующего давления и проанализировать их.

Задание 8 (исследовательское)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО КАМНЯ

Гипсовые изделия с волокнистыми наполнителями обладают высоким коэффициентом конструктивного качества (К.К.К.), являются теплозвукоизоляторами.

Приборы и материалы

1. То же, что в задании 2 (чашка, мешалка, формы, испытательные установки).
2. Древесные опилки, стекловолокно, волокна целлюлозные и полиэфирные.
3. Гипсовое вяжущее.

Методика испытаний

Для проведения испытаний готовят два состава.

Состав № 1 (контрольный) – состоит из 1 кг гипса и количества воды, соответствующего нормальной густоте. Его изготавливают в соответствии с заданием 2 данной лабораторной работы.

Состав № 2 состоит из 850 г гипса, 150 г древесных опилок и необходимой массы воды для получения гипсового теста нормальной густоты.

Опилки предварительно замачивают в воде в течение суток, отжимают и добавляют в гипсовое тесто. Приготовленный раствор тщательно перемешивают и быстро формируют три образца-балочки размерами 40x40x160 мм.

Для лучшего уплотнения смеси, образцы подвергают вибрации в течение 15 сек на лабораторной виброплощадке.

С целью улучшения эксплуатационных свойств гипсоволокнистых изделий и достижения требуемой влажности (не более 8 %) их сушат при 60-70°C в течение 6 часов. Для сопоставления результатов испытаний балочки состава № 1 сушат аналогично.

Через 7 суток твердения образцы-балочки составов № 1 и № 2 взвешивают с точностью до 0,1 г, определяют размеры с точностью до 1 мм и вычисляют среднюю плотность ρ_0 в кг/м³ гипсового камня как среднее арифметическое трех определений.

Предел прочности при изгибе и сжатии образцов определяют по методике, описанной в задании 2 данной лабораторной работы.

Используя результаты испытаний составов № 1 и № 2, определяют:

- Коэффициент теплопроводности λ по формуле проф. В.М.Некрасова.

$$\lambda = 1,163\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,163, \text{Вт/(м}\cdot\text{°C)} \quad (7.6)$$

- где ρ_0 – средняя плотность материала в высушенном состоянии, г/см³

- Коэффициент конструктивного качества (К.К.К.)

$$K.K.K. = R_{сжс} / \rho_0 \quad (7.7)$$

где $R_{сжс}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

ρ_0 – средняя плотность, кг/м³

Результаты испытаний

Результаты испытаний вносят в табл. 7.13.

Таблица 7.13

Влияние волокнистого наполнителя на свойства гипсового камня

№ с о с т а в а	Наименование наполнителя	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности в возрасте 7 сут., МПа		Коэффициенты	
			при сжатии	при изгибе	теплопроводности Вт/(м°К)	конструктивного качества К.К.К.
1						
2						

7.3 Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Назвать вяжущие вещества, входящие в группу воздушных.
2. Сырьевые материалы для производства гипсовых вяжущих.
3. краткие химические основы технологии получения гипсовых вяжущих.
4. Физико-химическая сущность процессов, протекающих при твердении гипсового вяжущего.
5. Как изготавливают высокопрочный гипс?
6. Области применения гипсовых вяжущих.
7. Какие показатели качества гипсовых вяжущих регламентируются стандартом?
8. Что такое стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста, для чего она определяется и как?
9. Как можно ускорить или замедлить схватывание гипсового теста? Когда это необходимо?
10. На каких образцах и в каком возрасте определяется марка по прочности гипсовых вяжущих?
11. Как изготавливают образцы из гипсового теста для определения пределов прочности (марки) гипса?

12. Каков принцип маркировки и индексации качественных показателей гипсового вяжущего?
13. Привести классификацию гипсовых вяжущих по срокам схватывания (твердения).
14. Как оценивается водостойкость гипсовых материалов?
15. Как определить тонкость помола ГВ?
16. Почему тонкость помола является одной из важных характеристик гипсового вяжущего?
17. Какие приборы используют для определения сроков схватывания и нормальной густоты гипсового теста.
18. Почему для получения гипсового теста необходимо воды гораздо больше, чем требуется для гидратации гипсового теста?
19. От чего зависит нормальная густота гипсового теста?
20. Почему при определении нормальной густоты гипсового теста строго регламентируют сроки перемешивания?
21. Как определить сроки схватывания гипсового теста стандартной консистенции?
22. Почему сроки схватывания ГВ определяют на тесте нормальной густоты? Как изменятся результаты испытаний, если уменьшить или увеличить содержание воды в тесте?
23. Почему сроки схватывания являются важными характеристиками гипсового вяжущего?
24. Какое влияние оказывает содержание воды в гипсовом тесте на сроки схватывания и прочность гипсового камня?
25. Как определить марку гипсового вяжущего? Привести примеры маркировки.
26. Через какое время после затворения испытывают гипсовые образцы на прочность?
27. Пояснить выражение: гипсовое вяжущее Г-7 Ш Б. Определите область его применения.
28. Что необходимо знать для определения марки гипса?
29. Как влияет влажность гипсовых изделий на их прочность?
30. Какое влияние на свойства гипсового камня оказывает волокнистый наполнитель?
31. Рассчитать предел прочности гипса, если при испытании образца на сжатие разрушающее усилие (F) равнялось 17,5 кН.
32. Условия хранения и транспортирования гипсовых вяжущих.
33. Как изменится прочность гипсовых образцов, если проводить испытания через 2 ч, 24 ч, 7 сут., 1 мес.?

7.4. Литература и нормативные ссылки

1. Минеральные воздушные вяжущие вещества : учеб. пособие / Н. Н. Башкатов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 148 с.
2. Александрова О.В. Вяжущие вещества: учебное пособие / О.В. Александрова, В. Г. Соловьева и др. – М.: МИСИ, МГСУ, 2019. – 113 с.
3. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М: Стройиздат, 2016. – 480 с.
4. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
5. ГОСТ 23789-18. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
6. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

Лабораторная работа № 8

ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ

Цель работы

- Определить основные показатели качества строительной воздушной извести.
- Установить на основании результатов испытаний средней пробы степень пригодности воздушной строительной извести для строительных работ
- Ознакомиться с действующей технической нормативно-правовой документацией (ТНПА), стандартными методами лабораторных исследований свойств воздушной извести
- Овладеть методикой испытаний, приобрести навыки работы с приборами и оборудованием по определению физико-химических свойств извести.

8.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

- Что представляют собой минеральные вяжущие вещества?
- Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие вещества?
- Классификация неорганических минеральных вяжущих веществ.
- Какие Вы знаете воздушные вяжущие вещества?
- Из какого сырья и как получают воздушную строительную известь? (с приведением химической реакции)
- Разновидности воздушной строительной извести.
- Какие процессы происходят при твердении воздушной извести?
- Какую известь называют кипелкой и какую – пушонкой?
- Где применяется воздушная строительная известь (гашеная и негашеная)?

15.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение суммарного содержания активных ($CaO + MgO$) в кальциевой извести.

Задание 2. Определение содержания непогасившихся зерен.

Задание 3. Определение плотности известкового теста.

Задание 4. Определение содержания воды в известковом тесте.

Задание 5. Определение температуры и времени гашения извести.

Общие сведения об извести воздушной строительной

Воздушная строительная известь – неорганическое вяжущее вещество, состоящее в основном из оксидов CaO и MgO , способное твердеть и сохранять прочность *только на воздухе* (в воздушно-сухих условиях). В соответствии с ГОСТ 9179 воздушную известь по содержанию в ней активных CaO и MgO делят на *кальциевую* ($MgO < 5 \%$), *магнезиальную* ($MgO = 5...20 \%$) и *доломитовую* ($MgO = 20...40 \%$). Строительная известь применяется для приготовления кладочных и штукатурных растворов, силикатных бетонов (плотных и ячеистых), силикатного кирпича, красочных составов.

Воздушная известь – продукт умеренного обжига дробленных (ниже температуры спекания) карбонатных (кальциево-магнезиальных) пород (мела $CaCO_3$, известняка $CaCO_3$, доломита $CaCO_3 \cdot MgCO_3$), содержащих не более 6% глинистых примесей (СТБ 1285). Увеличение содержания глины изменяет свойства извести. Карбонатные породы, как правило, содержат также примеси песка, оксиды железа и др.

В Республике Беларусь *основным сырьем* для получения извести является мел ($CaCO_3$). Учитывая высокую гигроскопичность извести, выгодно комбинировать на одном предприятии производство извести и изделий на ее основе.

Известь в РБ производят: ОАО «Красносельскстройматериалы»⁵, ОАО «Гродненский КСМ (комбинат строительных материалов), УПП Завод строительных материалов ОАО «Забудова», ОАО Березовский КСИ (комбинат строительных изделий), РУПП «Климовичский известковый завод».

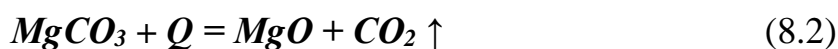
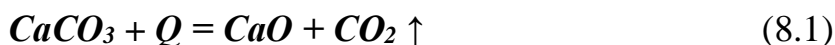
Материалы и изделия на основе извести производят: АО «Силикат» (Бобруйск), ОАО «Гомельстройматериалы», ЗАО Могилевский КСИ, ОАО «Гродненский КСМ», УПП Завод строительных материалов ОАО «Забудова», РУПП «Климовичский комбинат строительных материалов», АП «Сморгоньсиликатобетон», АП «Минский комбинат силикатных изделий».

Известь может находиться в виде:

- *негашеной комовой (в кусках) и молотой извести – кипелки*, состоящей в основном из CaO ;
- *гашеной (гидратной)*, состоящей из $Ca(OH)_2$ (извести-пушонки);
- *известкового теста*, содержащего кроме $Ca(OH)_2$, около 50 % свободной воды;
- *известкового молока*.

⁵ ОАО «Красносельскстройматериалы» выпускает в соответствии с СТБ EN 459-1-2002 известь строительную поршкообразную 2^x видов CL – 80 Q и CL – 70 Q.

Получение негашеной кальциевой комовой извести основано на реакции диссоциации (разложения) карбоната кальция $CaCO_3$ при температуре 1000...1200 °С в шахтных или вращающихся печах до полного удаления углекислого газа:



Химически чистый $CaCO_3$ содержит CaO (56 %) и CO_2 (44 %). CO_2 улетучивается, а оставшиеся CaO и MgO представляют собой вяжущее вещество и называются "активными", т.к. от их содержания зависят вяжущие свойства. Примеси снижают качество воздушной извести. Известняки в производстве извести обжигают в кусках и выходящий из печи материал называется *комовой негашеной* воздушной известью или *кипелкой*.

Порошкообразную негашеную молотую известь получают путем помола комовой извести или гашением (смешиванием с водой).

Гашением (гидратацией) извести называется процесс взаимодействия оксида кальция в извести с водой:



При этом на 1 грамм-молекулу реагирующей извести выделяется тепло, которое повышает температуру гасящейся массы до определенного максимума (высокая экзотермия).

Гашение извести сопровождается двумя эффектами:

- 1) выделением большого количества тепла (высокой экзотермией) и, как следствие, интенсивным парообразованием и даже кипением, (именно поэтому негашеную известь называют «*кипелкой*»);
- 2) значительным увеличением в объеме (в 2...4 раза) в связи с химическим диспергированием $Ca(OH)_2$ (белого порошка) на мелкие частицы размером в несколько микрометров (микрон) похожие на пух, поэтому гидратную (гашеную) известь называют «*пушонкой*». Насыпная плотность пушонки ρ_n составляет 400...500 кг/м³.

Удельная поверхность ($S_{уд}$) такого порошка достигает очень высокой величины – порядка 100000...300000 см²/г (для сравнения: у портландцемента $S_{уд}=3000$ см²/г). Такая громадная удельная поверхность частиц обуславливает большую *водоудерживающую способность и пластичность известкового теста*.

При гашении извести в пушонку (в сухой порошок) теоретически требуется 32,13 %, но практически воды берется в 2 раза больше, т.к. часть ее испаряется. При расходе воды примерно 2,5 л на 1 кг извести образуется известковое тесто, которое содержит около 50 % $Ca(OH)_2$ в твердой фазе и 50% воды.

Строительные растворы на гашеной извести обладают высокими формовочными свойствами, они легко укладываются и не расслаиваются, к ним можно добавлять значительное количество песка.

На реакционную способность CaO оказывает влияние температура обжига. Если нормально обожженная известь гасится за минуты, то в случае пережога до спекания частицы CaO уплотняются по поверхности и скорость гашения замедляется (время гашения растягивается на месяцы и годы), что может привести в затвердевших готовых строительных изделиях к появлению трещин и даже разрушению (т.н. "дутик"). Вот почему для снижения опасности от наличия пережога на практике обычно применяют молотую негашеную известь.

Воздушная известь относится к классу воздушных вяжущих, потому что при обычных температурах и без добавок она твердеет лишь в воздушной среде, а в воде растворяется (1,3 г/л).

Твердение гашеной извести на воздухе идет очень медленно (годы) под влиянием двух одновременно протекающих процессов:

1. испарения воды,
2. кристаллизации $Ca(OH)_2$ и её карбонизации под действием углекислого газа воздуха:



В производстве силикатных кирпичей и бетонов применяется иной метод твердения (в среде *водяного пара* при давлении не менее 0,8 МПа и температуре 175°C), заключающийся во взаимодействии извести с кристаллическим кремнеземом (тонкомолотым кварцевым песком):



Термообработка длится 8...12 часов. Гидросиликат кальция ($CaO \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$) обеспечивает высокую прочность, водостойкость и долговечность полученных таким способом силикатных изделий.

При транспортировке и хранении известь должна быть защищена от воздействия влаги.

Качество извести должно соответствовать техническим условиям ГОСТ 9179. Методы испытаний строительной воздушной извести изложены в ГОСТ 22688.

Известь применяют:

1. в кладочных и штукатурных растворах и бетонах, работающих в воздушно-сухих условиях;
2. в плотных и ячеистых силикатных (автоклавные) изделиях, силикатном кирпиче;
3. в смешанных гидравлических вяжущих веществах (известково-шлаковые и известково-пуццолановые цементы);

4. в дешевых красочных составах;

5. в шпатлёвка, смесях для полов.

Гидратная известь является лучшим из известных минеральных компонентов сухих строительных смесей (ССС), придающих СССР высокую пластичность, высокие удерживающие показатели. Она обеспечивает высокие адгезионные свойства растворов к минеральным (бетон, кирпич) и некоторым неминеральным (металл, дерево) подложкам.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНЫХ ($CaO+MgO$) В КАЛЬЦИЕВОЙ ИЗВЕСТИ

Продукт обжига известняка $CaCO_3$ содержит кроме CaO (основной составной части) также и некоторое количество оксида магния образовавшегося в результате термической диссоциации карбоната магния $MgCO_3$:



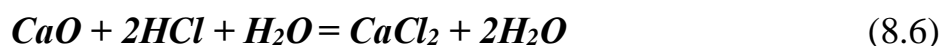
Чем выше содержание основных оксидов ($CaO + MgO$) в извести, тем пластичнее известковое тесто и тем выше ее сорт.

Приборы и материалы

- Коническая колба вместимостью 250 мл.
- Стеклянная воронка.
- Стеклянные бусы или оплавленные стеклянные палочки длиной 5...7 мм (15...20 шт).
- Аппарат для нагрева колбы с водой типа электроплитки.
- Соляная кислота (1н раствор).
- Фенолфталеин (индикатор) (1%-ный раствор).
- Бюретка со штативом.
- Фарфоровая или агатовая ступка.
- Весы технические с разновесами.
- Цилиндр для отмеривания воды.
- Дистиллированная вода.

Методика испытаний

Содержание активных ($CaO+MgO$) является важнейшей характеристикой качества извести. В соответствии с ГОСТ 22688 для определения содержания ($CaO + MgO$) в непогашенной извести используется метод титрования, основанный на реакции нейтрализации гашеной извести соляной кислотой:



По СТБ EN 459-2-2002 определяется содержание активной (не связанной) извести Ca (оксид и гидроксид кальция) также методом титрования.

От пробы извести отбирают 4...5 г и растирают в фарфоровой ступке в мелкий порошок (отсутствие крупинок). Навеску измельченной извести, равную 1 г, помещают в коническую колбу вместимостью 250 мл, наливают 150 мл дистиллированной воды, закрывают стеклянной воронкой и нагревают 5...7 мин, не доводя до кипения. Раствор охлаждают, стенки колбы и воронку смывают дистиллированной водой, добавляют 2...3 капли 1%-ного раствора фенолфталеина. Раствор в колбе приобретает малиновый цвет. В бюретку заливают однонормальный (1н) раствор соляной кислоты. Один литр 1н раствора содержит 1 грамм-эквивалент растворенного вещества (HCl).

Соляную кислоту добавляют (титруют) в колбу при постоянном взбалтывании раствора до его полного обесцвечивания. Титрование считается законченным, если по истечении 8 мин содержимое колбы останется бесцветным.

Содержание активных $CaO + MgO$ (в процентах) по массе A вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{HCl} \times T_{HCl/CaO}}{m_{изв}} \times 100, \quad (8.7)$$

где V_{HCl} – количество 1н HCl , израсходованное на титрование, мл;

$T_{HCl/CaO}$ – титр HCl по CaO , т.е. количество CaO в г, которое нейтрализуется 1 мл 1н HCl ;

$m_{изв}$ – масса извести – 1 г.

Титр HCl по CaO вычисляют следующим образом.

Вещества взаимодействуют в эквивалентных соотношениях, поэтому в нашем случае 1 г-э HCl взаимодействует с 1 г-э CaO , то есть 1 г-э CaO нейтрализуется 1 л 1 н HCl . Для определения 1 г-э CaO необходимо грамм-молекулярную массу CaO разделить на валентность металла. Таким образом,

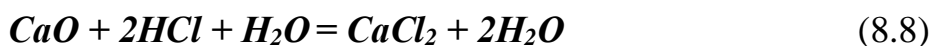
$$1 \text{ г-э } CaO = 56,08/2 = 28,04 \text{ г.}$$

Отсюда

$$T_{HCl/CaO} = 28,04/1000 = 0,02804 \text{ г.}$$

Если соляная кислота приготавливается не из фиксанала (строго определенное количество HCl , запаянное в стеклянную емкость), то ее точная концентрация устанавливается в соответствии с ГОСТ 22688 (п.2.1.1).

Расчет титра:



$$56,08 \rightarrow 2\text{г-э } HCl$$

$$28,04 \rightarrow 1\text{ г-э } HCl \text{ или } 1000\text{ мл } 1\text{ н } HCl$$

$$0,02804 \rightarrow 1\text{ мл } 1\text{ н } HCl$$

где 56,08 грамм-молекулярная масса CaO .

Долю активной извести Ka (по СТБ EN 459-2 п.4.7.2.), рассчитывают по формуле:

$$Ka = \frac{2,804 \cdot V_5}{m_2} \quad (8.9)$$

где: V_5 – количество HCl , мл;

m_2 – масса пробы, г.

Результаты испытаний

Результаты испытаний вычисляют по формуле 15.7 и оформляют в произвольной форме.

$$V_{HCl} = \underline{\hspace{2cm}}. \quad A = \underline{\hspace{2cm}}\%$$

$$m_{\text{изв}} = 1\text{ г}$$

Заключение

Определить, к какому сорту относится известь по содержанию активных оксидов ($CaO + MgO$). Установить, оправдано ли использование такой извести.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕПОГАСИВШИХСЯ ЗЕРЕН

В извести кроме активных зерен ($CaO + MgO$) могут оказаться негасящиеся частицы.

Непогасившиеся зерна представляют собой:

1. различные *примеси* пустой породы, присутствующие в исходном сырье (например, кварцевый песок SiO_2 , глина, оксиды железа Fe_2O_3);
2. *продукты горения* твердого топлива (зола, топливо);
3. куски неразложившегося в процессе обжига $CaCO_3$ (*недожженные* зерна);
4. оплавленные в процессе обжига зерна CaO (*пережженная известь*).

Чем меньше таких частиц, тем выше сорт извести.

Наиболее нежелательно в составе извести присутствие пережженных зерен, которые могут привести к неравномерному изменению объема и растрескиванию готового изделия в связи с тем, что они будут медленно гидратироваться с увеличением в объеме в уже затвердевшем изделии (кладка или штукатурка в готовых строительных объектах).

Приборы и материалы

I. Металлический сосуд цилиндрической формы вместимостью 8...10 л с крышкой.

II. Сито с сеткой № 063 (144 отв/см²).

III. Стеклянная палочка с резиновым наконечником.

IV. Фарфоровая чашка.

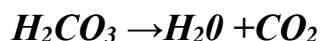
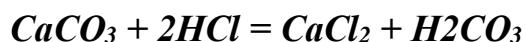
V. Сушильный шкаф.

VI. Весы технические с разновесами.

Методика испытания

Для определения содержания непогасившихся зерен в металлический сосуд наливают 3,5...3 л горячей воды и всыпают 1 кг негашеной извести CaO, непрерывно перемешивая до окончания интенсивного выделения пара. Тесто выдерживают 2 часа, затем разбавляют холодной водой до консистенции известкового молока и промывают на сите № 063 слабой непрерывной струей воды, слегка растирая мелкие кусочки стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Остаток на сите высушивают до постоянной массы.

Далее описывают внешний вид непогасившихся зерен, их возможный минералогический состав. Для этого на эти зерна капают раствором соляной кислоты HCl: вскипание отдельных кусочков свидетельствует о том, что эти зерна являются недожогом.



Результаты испытаний

Содержание непогасившихся зерен вычисляют по формуле (8.9) и записывают в табл. 8.1.

$$H.З. = m_1 / m \cdot 100 \% = \underline{\hspace{2cm}} \% \quad (8.9)$$

Таблица 8.1

Показатели	Количество
Масса негашеной извести m , кг Масса остатка после промывания и сушки m_1 , кг Содержание непогасившихся зерен по массе $H.З.$, %	

Заключение

Определить к какому сорту относится известь по содержанию непогасившихся зерен. Описать внешний вид непогасившихся зерен и их отношение к HCl.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИЗВЕСТКОВОГО ТЕСТА

Средняя плотность – величина, определяемая отношением массы тела или вещества ко всему занимаемому ими объему (включая имеющиеся в них поры и пустоты). Ее значение используют при расчете составов штукатурных и складочных растворов, смесей для полов.

Приборы и материалы

- Стандартный металлический мерный сосуд цилиндрической формы вместимостью 1 л.
- Весы технические.
- Известковое тесто.

Методика испытания

Плотность известкового теста определяют с помощью стандартного мерного металлического сосуда цилиндрической формы вместимостью 1 л. Перед определением плотности определяют массу сосуда, заполняют известковым тестом вровень с краями и снова определяют массу.

Плотность известкового теста ρ_0 в кг/м³ рассчитывают по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (8.10)$$

где m_1 – масса сосуда, кг;

m_2 – масса сосуда с известковым тестом, кг;

V – вместимость сосуда, м³.

Результаты испытаний

Результаты измерения и вычислений заносят в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Показатели	Количество
Вместимость сосуда V , л (м ³)	
Масса сосуда m_1 , кг	
Масса сосуда с известковым тестом m_2 , кг	
Масса известкового теста	
Плотность известкового теста ρ_0 , кг/м ³	

Заключение

Сравнить плотность известкового теста с плотностью исходного сырья (известняка); сделать выводы.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ В ИЗВЕСТКОВОМ ТЕСТЕ

Известь гидратная – продукт реакции гашения (гидратации) водной извести, протекающей по реакции $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$

Приборы и материалы

1. Бюкс с крышкой для известкового теста и бюкс с натронной известью. В учебной лаборатории можно использовать стакан для взвешивания.
2. Натронная известь – смесь гашеной извести с едким натром, сильно поглощающая воду и диоксид углерода (CO_2) из воздуха.
3. Весы технические с разновесами.
4. Сушильный шкаф.

Методика выполнения работы

Для определения содержания воды в известковом тесте (т.е. влажности гидратной извести) используют предварительно высушенный бюкс, в который помещают около 10 г теста, взвешивают, сушат при температуре 105...110 °С. Контрольные взвешивания производят через 2 часа сушки и охлаждения в эксикаторе с интервалом 30 мин. до достижения постоянной массы.

В сушильном шкафу должен находиться бюкс с натронной известью для улавливания CO_2 воздуха.

Содержание воды в известковом тесте W вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\% \quad (8.11)$$

где m - масса известкового теста, г;

m_1 - масса материала после высушивания, г.

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Показатели	Количество
Масса известкового теста m , г Масса материала после высушивания m_1 , г Содержание воды в известковом тесте W , %	

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ

В зависимости от температуры, развивающейся при гашении различают низкоэзотермичную (температура гашения ниже и высокоэзотермичную (температура гашения выше 70 °С) известь.

Реакция гашения извести $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + q$ сопровождается выделением 1160 кДж тепла на 1 кг реагирующей и Это тепло повышает температуру гашащейся массы до определенного максимума. Следовательно, момент начала снижения температуры реагирующей смеси можно считать признаком прения реакции гашения извести.

Строительную негашеную известь по скорости гашения разделяют:

- на быстрогасящуюся - не более 8 мин;
- ▶ среднегасящуюся - не более 25 мин;
- ▶ медленногасящуюся - не менее 25 мин.

Приборы и материалы

- Двухстенный сосуд с теплоизоляционной прокладкой и пробкой, вместимостью 150...500 мл. (типа термоса).
- Термометр со шкалой до 150 °С и удлиненной до 100...150 мм нижней частью.
- Фарфоровая или агатовая ступка.
- Весы технические с разновесами.
- Мерный цилиндр на 25...100 мл.
- Секундомер.

Методика выполнения работы

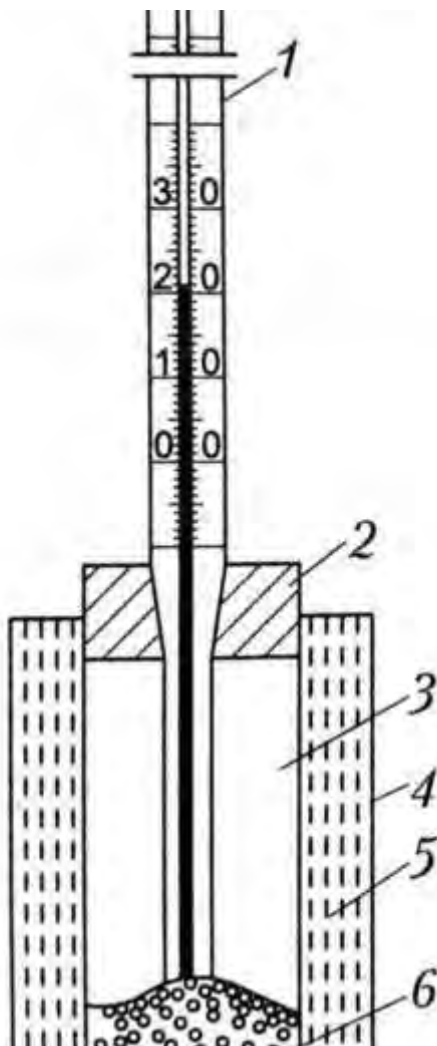


Рис.15.1. Прибор для определения скорости гашения извести

Для определения температуры и времени гашения извести может быть использован бытовой термос вместимостью 250...500 мл (рис 8.1).

При отсутствии термоса можно воспользоваться прибором простой конструкции. Стеклоянную колбу емкостью 150 мл закрывают пробкой со вставленным термометром и помещают в фарфоровый стакан. Пространство между сосудами заполняют теплоизоляционным материалом (пенопласт, асбест и др.).

Известь предварительно измельчают в фарфоровой ступке.

Массу навески извести m в граммах рассчитывают по формуле:

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (8.12)$$

где A – содержание активных $CaO + MgO$ в % (см. результат задания 1).

В условиях учебной лаборатории (не проводя испытаний на содержание активных $CaO + MgO$) можно принять размер навески 12 г.

Навеску m тонкоизмельченной извести помещают в термос или термосную колбу собранной установки, вливают 25 мл воды при температуре 20 °С, засекают время, быстро перемешивают смесь, закрывают пробкой с плотно вставленным термометром и оставляют в покое. Ртутный шарик термометра должен быть *погружен* в реагирующую смесь. Отсчет температуры реагирующей смеси ведут через каждую минуту до максимальной температуры и начала ее падения.

За время гашения принимают время с момента добавления воды к извести до начала периода, когда рост температуры не превышает 0,25 °С в минуту.

Одновременно можно провести испытания с различным количеством воды (например, 20 мл и 30 мл) для установления ее влияния на скорость гашения.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 8.4.

Масса навески негашеной извести $m =$ _____ г

Таблица 8.4

Количество воды, мл	Температура T_u , °С через интервалы времени, t_u мин															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	26
20																
25																
30																

На основании полученных данных в журнале для лабораторных и практических работ студенты строят графики, откладывая по оси абсцисс время от начала опыта, по оси ординат – температуру, а по максимуму устанавливают скорость гашения извести.

Заключение

По результатам испытания студенты должны сделать вывод о скорости гашения извести и отнести известь к быстро-, средне- или медленногасящейся.

Описать влияние количества воды на время гашения и на максимальную температуру

Сделать заключение о качестве извести по всем проведенным испытаниям (задания 1 – 5).

Сравнить основные свойства основные показатели качества извести строительной воздушной с требуемыми значениями по ГОСТ 9179 или со справочными данными (табл. 8.5).

Определить сорт извести в соответствии с требованиями ГОСТ 9179 и указать области её применения.

Таблица 8.5

Результаты испытаний извести воздушной

Наименование показателей	Полученные результаты испытаний	Требования ТНПА		
		I сорт	II сорт	III сорт
Содержание активных ($CaO + MgO$), %				
Содержание непогасившихся зерен, %				

8.3 Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какие вещества называются воздушными вяжущими?
2. Что называется известью воздушной строительной?
3. Какое минеральное сырье используется для производства извести?
4. Что происходит при обжиге известняка?
5. Технология получения воздушной извести.
6. Реакция гашения извести, какими эффектами она сопровождается?
7. Способы гашения строительной воздушной извести.
8. Что такое время гашения извести?
9. Почему скорость гашения извести определяют в колбе термоса?
10. Как подразделяется известь по времени гашения?
11. Какие показатели характеризуют сорт извести?
12. Назовите строительно-технологические качества извести строительной воздушной?
13. Как определяется содержание активных ($CaO + MgO$) в кальциевой извести?
14. Что такое активность извести?
15. Как определяется содержание непогасившихся зерен в известковом тесте? По каким экспериментальным данным рассчитывают содержание в извести непогасившихся зерен?

16. Зачем при определении содержания непогасившихся зерен пробу извести заливают горячей (85...90 °С) водой?
17. Влияют ли недожженные зерна на качество изделий на основе извести?
18. Как влияют пережженные зерна извести на качество изделий на основе извести?
19. Какие процессы происходят при твердении извести на воздухе?
20. Как влияет наличие пережога в извести на свойства строительного раствора?
21. Какие процессы происходят при твердении известково-песчаных изделий в автоклаве?
22. Реакция взаимодействия воздушной извести с аморфным кремнеземом.
23. Как определить содержание воды в известковом тесте?
24. Как определить плотность известкового теста?
25. Перечислите основные области применения строительной воздушной извести в строительстве.

8.4 Литература

1. Минеральные воздушные вяжущие вещества : учеб. пособие / Н. Н. Башкатов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 148 с.
2. Александрова О.В. Вяжущие вещества: учебное пособие / О.В. Александрова, В. Г. Соловьева и др. – М.: МИСИ, МГСУ, 2019. – 113 с.
3. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М: Стройиздат, 2016. – 480 с.
4. ГОСТ 9179 – 2018. Известь строительная. Технические условия.
5. ГОСТ 22688–2018. Известь строительная. Методы испытания.
6. СТБ 1285 2001. Породы карбонатные для производства строительной извести.
7. СТБ EN 459-2-2002. Известь строительная. Часть 2. Методы испытания.
8. Оценка качества строительных материалов: основные О-93 методики лабораторных испытаний : учеб. пособие / В. С. Руднов [и др.] ; под общ. ред. доц., канд. техн. наук И. К. Доманской. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 108 с.

Лабораторная работа № 9

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Цель работы

1. Ознакомиться со стандартными и нестандартными методами определения основных технических свойств портландцемента;
2. Закрепить полученные теоретические знания о гидравлических вяжущих веществах.

9.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляют собой минеральные вяжущие вещества?
2. Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие вещества?
3. К какому классу вяжущих по условиям твердения и эксплуатации относится портландцемент?
4. основные стадии производства портландцемента.
5. Чем мокрый способ получения портландцемента отличается от сухого?
6. Какие минералы входят в состав портландцемента?
7. Что обеспечивает портландцементу гидравлические свойства?
8. По каким показателям оценивают качество портландцемента (в виде порошка; цементного теста; цементного камня)?
9. С какой целью определяют равномерность изменения объема цементного теста при твердении?
10. Какие виды портландцемента Вы знаете?
11. Чем свойства пуццоланового портландцемента отличаются от свойств портландцемента?
12. Чем свойства шлакопортландцемента отличаются от свойств портландцемента?
13. Чем технология шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента отличается от технологии получения портландцемента?
14. С какой целью при помоле клинкера вводят двухводный гипсовый камень?
15. Чем клинкер отличается от портландцемента?
16. Для чего в строительстве портландцемент, шлако- и пуццолановый портландцемент?

9.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение нормальной густоты цементного теста.

Задание 2. Определение сроков (времени) схватывания цементного теста.

Задание 3. Определение равномерности изменения объема цементного теста при твердении.

Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности.

Задание 5. Определение марки (активности) цемента.

Задание 6. Определение марки (активности) цемента на приборе ИАЦ-03

Задание 7. Определение удельной поверхности цемента на приборе ПСХ-4.

Общие сведения о цементах

В современном строительстве основными минеральными вяжущими веществами (в зависимости от вещественного состава) являются следующие типы цементов (в соответствии с действующими ТНПА):

- Портландцемент ((ЦЕМ I)), в том числе портландцемент бездобавочный (ПЦ 500–Д0 - по ГОСТ 10178/недействующий в настоящее время);
- Портландцемент (ЦЕМ I) с минеральными добавками (ПЦ 500–Д20);
- Шлакопортландцемент (ЦЕМ III) (ШПЦ 400);
- Пуццолановый цемент (ЦЕМ IV);
- Композиционный цемент(ЦЕМ V).

Портландцемент (ПЦ) – гидравлическое вяжущее вещество, способное после затворения⁶ водой твердеть и набирать прочность как на воздухе, так и в воде, получаемое совместным тонким измельчением портландцементного клинкера с необходимым количеством двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), замедляющего сроки схватывания портландцемента.

Измельченный клинкер после затворения водой схватывается в течение нескольких минут, что затрудняет изготовление изделий. Для замедления сроков схватывания (до 3...5 час) в состав ПЦ вводят гипсовый камень $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или другие материалы, содержащие сульфат кальция (фосфогипс, борогипс, фторогипс и др.).

Портландцементный клинкер – продукт, получаемый путем обжига сырьевой смеси, состоящей из кальциево-карбонатных (известняк, мел, мрамор) и алюмосиликатных горных пород (глина) или из природных смесей известняка и глин (мергели) при соотношении 3:1 по массе, до спекания, т.е. частичного плавления сырьевой смеси при температуре 1450°C.

Внешне клинкер представляет собой спекшуюся сырьевую массу в виде зерен размером 10...60 мм.

⁶ Затворение цемента – смешивание цемента с водой

Качество клинкера определяет все свойства ПЦ. Вводимые же в цемент добавки лишь регулируют его свойства. Качество клинкера зависит от его химического и минералогического состава.

Химический состав портландцемента (в %): $\text{CaO} - 60...67$; $\text{SiO}_2 - 19...24$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 4...8$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2...6$; $\text{MgO} - \text{не более } 5$; $\text{SO}_3 - 1...4$, свободный $\text{CaO} - \text{не более } 1$.

В портландцементе вышеуказанные оксиды находятся не в свободном состоянии, а в виде сложных соединений – клинкерных минералов.

Минералогический состав портландцементного клинкера, т.е. содержание основных клинкерных минералов, определяемое расчетным путем на основе данных химического анализа:

- ▶ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_3S^7 (алит) – $40 \div 65$ %;
- ▶ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ или C_2S (белит) – $15 \div 40$ %;
- ▶ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ или C_3A (трехкальцевый алюминат) – $5,0 \div 15$ %;
- $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ или C_4AF (алюмоферрит) – $10 \div 20$ %.

В результате взаимодействия минералов, содержащихся в цементе, с водой образуются новые соединения – *гидраты* (гидросиликаты, гидроалюминаты, гидросульфферриты кальция), которые придают в дальнейшем прочность цементному камню за счет кристаллизации новообразований.

В соответствии с ранее действующим ГОСТ 10178-85 ПЦ по механической прочности подразделяются на марки: М 400, М 500, М 550 и М 600 (допускается выпускать ПЦ марки М 300), каждой из которых соответствует предел прочности при изгибе и при сжатии образцов в возрасте 28 сут. По ГОСТ 30515-97, ГОСТ 31108-2003, СТБ EN 197-1-2007 цементы по прочности на сжатие в возрасте 28 сут. и среднему значению нормируемой стандартной прочности (МПа) подразделяются на классы: 22,5, 32,5, 42,5, 52,5. Эти классы примерно соответствуют маркам М 300, М 400, М 500 и М 600. Они определяются параллельно или вместо марки цемента.

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут. (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяется на два подкласса: Н (нормальнотвердеющий) и Б (быстротвердеющий), (22,5Н; 32,5Н, 32,5Б; 42,5Н, 42,5Б; 52,5Н, 52,5Б).

⁷ Приняты сокращенные написания химических формул оксидов элементов: $\text{CaO} - \text{C}$; $\text{SiO}_2 - \text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{A}$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{F}$.

По СТБ EN 197-1-2000 приняты следующие классы по прочности – 32,5N; 32,5R; 42,5N; 42,5R 52,5N; 52,5R,

где: N – класс с обычной прочностью в раннем возрасте (2 суток);

R – класс с высокой прочностью в раннем возрасте (2 суток).

Класс прочности цемента – условное обозначение одного из значений параметрического ряда по прочности в максимальные сроки, установленные нормативным документом (28 суток).

По прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут цементы подразделяют на подклассы Н (нормальнотвердеющие), Б (быстротвердеющие) и М (медленнотвердеющие) (табл. 9.1).

Таблица 9.1.

Класс, подкласс прочности цемента	Прочность на сжатие, Мпа, в возрасте				Начало схватывания, мин, не ранее	Равномерность изменения объёма (расширение), мм, не более
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут			
			не менее	не более		
32,5М		12	32,5	52,5	75	10
32,5Н		16				
32,5Б	10					
42,5М		16	42,5	62,5	60	
42,5Н	10					
42,5Б	20					
52,5М	10		52,5		45	
52,5Н	20					
52,5Б	30					

Примеры условного обозначения цементов:

- портландцемент класса прочности 42,5 быстротвердеющий:
портландцемент ЦЕМ I 42,5Б ГОСТ 31108;
- портландцемент со шлаком (II) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: портландцемент со шлаком ЦЕМ I/В-Ш 32,5Н ГОСТ 31108;
- портландцемент с известняком (И) от 6 до 20 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: портландцемент с известняком ЦЕМ II/А-И 32,5Н ГОСТ 31108;
- композиционный (К) портландцемент с суммарным содержанием доменного гранулированного шлака (Ш), золы уноса (З) и известняка (И) от 6 до 20 %, класса прочности 32,5, быстротвер-

деющий: композиционный портландцемент ЦЕМ II/A-К(Ш-3-И) 32,5Б ГОСТ 31108;

- шлакопортландцемент с содержанием доменного гранулированного шлака от 36 до 65 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: шлакопортландцемент ЦЕМ III/АШ 32,5Н ГОСТ 31108;

- пуццолановый цемент с суммарным содержанием пуццола-ны (П), золы уноса (З) и микрокремнезема (МК) от 21 до 35 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: пуццолановый цемент ЦЕМ IV/A (П-3-МК) 32,5Н ГОСТ 31108;

- композиционный цемент с содержанием доменного гранули-рованного шлака (Ш) от 11 до 30 % и золы уноса (З) от 11 до 30 %, класса прочности 32,5, нормальнотвердеющий: композиционный цемент ЦЕМ V/A(Ш-3) 32,5Н ГОСТ 31108.

Свойства цементов, полученных на основе портландцементного клинкера, регулируют различными способами, в том числе введением активных минеральных добавок. Такие добавки применяют для повышения плотности, водо-, жаро- и коррозионной стойкости цементного камня, а следовательно, бетонов и растворов на основе портландцементов. АМД являются основными компонентами цемента.

В зависимости от вводимых добавок различают:

- 1) *портландцемент с минеральными добавками* (диатомит, трепел, опока, зола ТЭС, в количестве 5...20 % от массы цемента);
- 2) *шлакопортландцемент* (гранулированные доменные или электротермофосфорные шлаки в количестве 21...80 % и гипс не более 5 %);
- 3) *пуццолановый портландцемент* (активная минеральная добавка в количестве 20...40 % и небольшое количество гипса).

По вещественному составу цементы подразделяются на пять типов (табл. 9.2).

Цемент является одним из тех немногочисленных материалов, основные показатели качества которого – прочность на сжатие, растяжение при изгибе, равномерность изменения объема, сроки схватывания и др. – не могут быть не посредственно оценены путем испытаний самого материала. Непосредственными испытаниями могут быть оценены лишь химические показатели, содержание активных минеральных добавок, удельная эффективность естественных радионуклидов ($A_{эфф}$) и некоторые другие. Основные показатели качества могут быть оценены лишь после изготовления из цемента определенных стандартных образцов и их последующего испытания.

Таблица 9.2.

Тип цемента	Наименование цемента		Вещественный состав цемента, % масс									
			Основные компоненты									Вспомогательные компоненты
			Портландцементный клинкер	Доменный или электротермофосфорный шлаки гранулированные	Микрокремнезем	Пуццолана	Глиеж	Зола-унос	Обожженный сланец	Белитовый шлам	Известняк	
Кл	Ш	Мк	П	Г	З	С	Бш	И				
ЦЕМ 0	Бездобавочный портландцемент	ЦЕМ 0	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ЦЕМ I	Портландцемент	ЦЕМ I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Портландцемент с минеральными добавками											
ЦЕМ II	шлак	ЦЕМ II/A-Ш	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-Ш	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	микрокремнезем	ЦЕМ II/A-Мк	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	0-5
	пуццолана	ЦЕМ II/A-П	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-П	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	глиеж	ЦЕМ II/A-Г	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-Г	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	зола-унос	ЦЕМ II/A-З	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-З	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5
	обоженный сланец	ЦЕМ II/A-Сл	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		ЦЕМ II/B-Сл	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
	белитовый шлам	ЦЕМ II/A-Бш	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		ЦЕМ II/B-Бш	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5

Пользуясь полученными основными показателями качества можно правильно выбрать рациональную область применения цемента.

Методы испытания (оценки качества) (т.е. определения физико-механических свойств и строительно-технических свойств) портландцемента изложены и регламентированы в действующих нормативных актах РБ. Для проведения испытаний цемента (приготовления смесей и выдерживания образцов) нельзя применять алю-

миниевые или цинковые формы, чаши, ванны, так как цементное тесто имеет сильнощелочную реакцию ($pH=11... 13$) и разрушает цинк и алюминий, переводя эти металлы в алюминаты и цинкаты калия.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цементным тестом называется однородная пластичная подвижная смесь цемента с водой.

Пластичность цементного теста характеризуют его "нормальной густотой".

Нормальной густотой цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика с полированной поверхностью, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5...7 мм до пластинки, на которой установлено конической формы кольцо. Нормальная густота цементного теста *характеризуется количеством воды затворения*, выраженным в процентах от массы цемента и определяют с точностью до 0,25 %.

Для цементов разных заводов нормальная густота колеблется от 20 до 35 %. Знание нормальной густоты цементного теста необходимо для дальнейших испытаний цемента (определения сроков схватывания цемента, определения равномерности изменения объема цемента). Чем меньше значение нормальной густоты цементного теста, тем более плотный бетон можно изготовить на таком цементе (большая подвижность бетонных и растворных смесей при меньшем содержании воды).

Термин "нормальная густота" относится исключительно к цементному тесту и является характеристикой водопотребности цемента, хотя термин "водопотребность цемента" обычно связывают с характеристикой консистенции стандартной растворной смеси (см. задание 5).

От величины нормальной густоты зависит расход воды при изготовлении бетонных и растворных смесей заданной пластичности, а, следовательно, плотность, прочность, морозостойкость готовых материалов и изделий.

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком из нержавеющей стали.
2. Коническое кольцо к прибору Вика.
3. Мешалка для приготовления теста или чаша сферической формы, изготовленная из нержавеющей стали.
4. Лопатка для перемешивания цементного теста из упругой нержавеющей стали.
5. Весы с разновесами.
6. Цилиндр для отмеривания воды.
7. Нож.

Методика испытаний

Определение густоты цементного теста проводят согласно действующим ТНПА на приборе Вика (рис.9.1).

Перед испытанием следует проверить, свободно ли опускается стержень прибора Вика, а также проверить нулевое показание прибора, приводя пестик в соприкосновение с пластинкой из непитающего воду материала, на которой расположено коническое кольцо из того же материала. В случае отклонения от нуля шкала прибора передвигается. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г просеянного цемента, высыпают его в чашу сферической формы (рис. 9.2), предварительно протертую

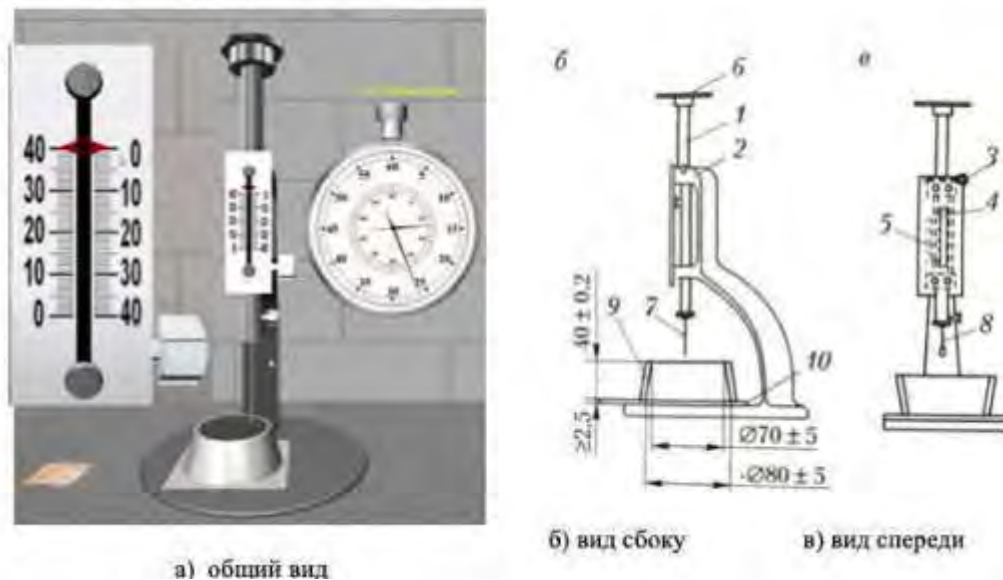
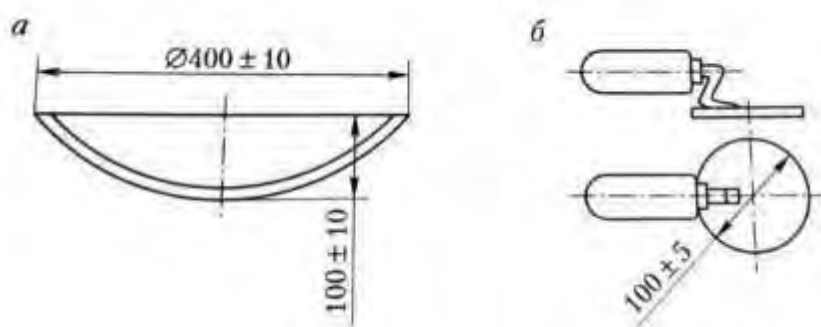


Рис. 9.1. Прибор Вика:

1 - цилиндрический металлический стержень 2) обойма станины; 3 - стопорное устройство; 4 - указатель; 5 - шкала; 6 - дополнительный груз; 7 - пестик; 8 - игла; 9 - кольцо; 10 - стеклянная пластина

влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием отмеренное количество воды (ориентировочно 110...112 см³). В момент вливания воды включают секундомер. После заливки воды через 30 с осторожно перемешивают

вают цемент с водой, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания цемента с водой 5 мин с момента приливания воды.



9.2. Чаша для затворения (а) цементного теста и лопатка для перемешивания (б)

Перемешанным цементным тестом сразу же и без чрезмерного уплотнения или вибрации заполняют с избытком кольцо в один прием и 5-6 раз встряхивают его, постукивая пластинкой с кольцом о стол. Затем поверхность теста выравнивают с краями кольца, срезая избыток теста ножом, протертым влажной тканью. После этого опускают пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным (стопорным) винтом, затем, быстро отвинчивая его, освобождают стержень и предоставляют пестику свободно погружаться в тесто. Через 30 с от момента освобождения стержня производят отсчет погружения по шкале в миллиметрах.

При несоответствующей консистенции цементного теста опыт повторяют, изменяя количество воды и добиваясь погружения пестика на глубину 6 ± 2 мм (рис. 9.3).



Рис, 9.3. Определение нормальной густоты. Погружение песка на глубину 6 ± 2 мм

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Результаты испытаний цемента на определение нормальной густоты

Определения	№ опыта		
	1	2	3
Масса цемента, г			
Количество воды затворения от массы цемента, %			
Объем воды, мл			
Показание прибора, т.е. пестик не доходит до пластинки, мм			

Заключение

Сделать выводы по результатам испытания.

Нормальная густота цементного теста (НГ) _____%

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Схватывание цемента – процесс загустевания цементного теста вследствие взаимодействия цемента с водой.

Процесс схватывания цемента заключается в необратимой потере подвижности цементного теста в результате гидратации и практически определяется на цементном тесте нормальной густоты, но уже по погружению иглы (вместо пестика) в приборе Вика с нагрузкой (300 ± 2) г.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения (момента приливания воды) до того момента, когда игла не доходит до пластинки, на которой установлено кольцо с тестом на 1...2 мм по ГОСТ 30744 – на 4 ± 1 ; концом схватывания – время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм (по ГОСТ 30744 – на 0,5 мм).

Начало схватывания цемента по ГОСТ 31108 должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения водой.

В СТБ ЕН 197-1. начальное время схватывания не менее 45...75 мин, в зависимости от класса прочности. Оно определяется в соответствии с СТБ ЕН 196-3.

Эффективным способом снижения величины нормальной густоты цемента является применение добавок-водопонизителей – пластификаторов, суперпластификаторов и др (в учебных целях используют добавку CaCl_2).

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком.
2. Кольцо и пластинка к прибору Вика.
3. Механизированная мешалка для приготовления теста или чаша сферической формы, изготовленная из нержавеющей стали.
4. Лопатка для перемешивания цементного теста из упругой нержавеющей стали.
5. Весы с разновесами.
6. Стеклянный цилиндр для отмеривания воды.
7. Металлический нож.

Методика испытаний

Испытания проводят согласно действующего ГОСТ (метод определения сроков схватывания). Испытание начинают с того, что в прибор Вика вместо пестика вставляют и закрепляют иглу $\varnothing 1,1$ мм и длиной 50 мм, а также проверяют нулевое показание прибора. Затем приготавливают цементное тесто нормальной густоты со-

гласно методике, приведенной в задании 1, и укладывают его в кольцо. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста и в этом положении закрепляют стержень зажимным винтом, затем освобождают стержень, после чего игла свободно погружается в тесто. В начале испытания, во избежание сильного удара иглы о пластинку, допускается слегка ее задерживать при погружении в тесто.

Как только тесто загустеет настолько, что опасность быстрого погружения иглы будет исключена, игле позволяют свободно опускаться. Момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, меняя места погружений. После каждого погружения иглу следует вытереть тканью.

Однако определение схватывания цемента требует много времени и, как правило, до конца данное испытание учащимися не выполняется.

Аналогично определяют сроки схватывания цемента при добавке 2-5 % CaCl_2 , которая вводится *вместе* с водой затворения и способна ускорить сроки схватывания цемента.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносятся в табл. 9.4, 9.5.

Таблица 9.4

Определение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты

Определения	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	час	мин	час	мин
Затворение цемента водой				
Начало схватывания				
Конец схватывания				
Соответствие требованиям ГОСТ				

Определение сроков схватывания цементного теста при введении химической добавки CaCl₂ (ускорителя твердения)

Показатели	1		2	
Добавка CaCl ₂ к массе цемента, %				
Количество воды, соответствующее нормальной густоте, мл.				
Показания прибора (пестик прибора Вика не дошел до пластинки), мм				
Действие добавки CaCl ₂				
Определения	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	ч	мин	ч	мин
Затворение цемента раствором CaCl ₂				
Начало схватывания				
Конец схватывания				

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний и проанализировать, как добавка химического вещества изменяет сроки схватывания цементного теста.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ЦЕМЕНТА ПРИ ТВЕРДЕНИИ

Равномерность изменения объема цемента (расширение в мм, по действующим ТНПА) – свойство цемента в процессе твердения образовывать цементный камень, деформация которого не превышает допустимых значений, установленных нормативным документом. Этот показатель является важным свойством цементного камня, связанный с его твердением.

По ГОСТ 30744 равномерность изменения объема характеризуют величиной расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце ЛЕ Шателье (рис. 9.4) при кипячении. Значение верхнего предела расширения – 10 мм.

Требование равномерности изменения объема портландцемента включено в нормативные документы всех стран - производителей цемента и является обязательным.

Причины, вызывающие неравномерность изменения объема цемента, формируются в ходе технологического процесса производства клинкера и цемента. Таких

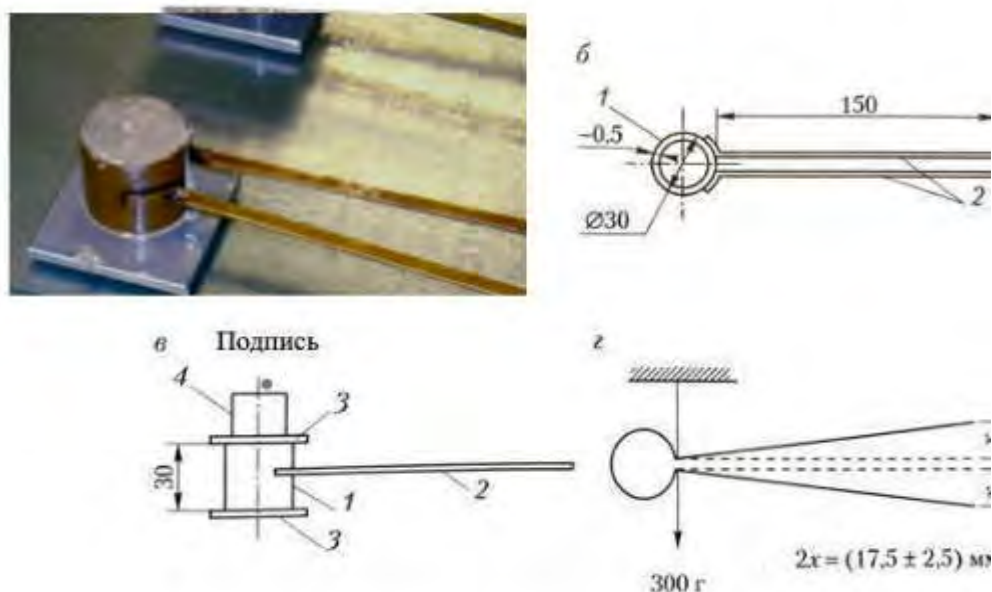


Рис.9.4. Кольцо Ле Шателье:

а - общий вид; б - вид сверху; в - вид сбоку; г - схема проверки упругости кольца Ле Шателье; 1 - разрезное кольцо;

причин в настоящее время известно три.

Первая причина - присутствие в клинкере несвязанного (свободного) оксида кальция CaO . Поскольку такая фаза проходит при высокотемпературном обжиге клинкера ($1450\text{ }^\circ\text{C}$), CaO становится малореакционноспособным и при затворении цемента гидратирует медленно, вызывая позднее расширение и разрушение цементного камня. Внутренними нормативными документами цементных заводов содержание свободного CaO в клинкере обычно ограничивается 1 %.¹²⁴

Вторая причина неравномерности изменения объема цемента связана с медленной гидратацией и увеличением в объеме продуктов гидратации оксида магния MgO , существующего в цементном клинкере в форме химически малоактивного соединения - периклаза. Содержание MgO в клинкере ограничивают, как правило, 5 %.

Третья причина неравномерности изменения объема цементного камня - передозировка гипса в цементе (1,0,3,5(4,0) % в пересчете на SO_3). Превышение верхнего предела содержания гипса в цементе может вызвать расширение цементного камня, связанное с поздним образованием эттрингита ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$).

Равномерность изменения объема цемента определяется в лабораторных условиях. Если цемент выдерживает испытание, то содержание в нем свободных

CaO и MgO не превышает допускаемых ТНПА значений. В этом случае деформация цементного камня не ухудшает такие эксплуатационные свойства изделий на основе цементов, как прочность, водонепроницаемость, морозостойкость.

Приборы и материалы

- Прибор Вика с иглой и пестиком.
- Кольцо к прибору Вика.
- Мешалка для приготовления теста.
- Бачок для испытания кипячением.
- Ванна с гидравлическим затвором из оцинкованной стали для хранения изготовленных образцов.
- Весы технические с разновесами.
- Цилиндр для отмеривания воды.
- Чашка и лопатка для приготовления цементного теста.
- Электроплитка.

Методика испытаний

Согласно действующему нормативному правовому акту РБ для испытания на равномерность изменения объема твердеющей системы из цемента и воды готовят тесто нормальной густоты согласно методике, приведенной в задании №1. Затем на технических весах отвешивают 4 навески теста по 75 г. Каждую навеску теста скатывают руками в виде шарика и помещают на стеклянную или металлическую пластинку, предварительно смазанную машинным маслом.

Пластинки с шариками легко встряхивают до момента расплыва шариков в лепешки диаметром 7...8 см, толщиной в середине их около 1 см. Для получения острых краев и гладкой закругленной поверхности лепешки заглаживают от наружных краев к центру смоченным водой ножом. Приготовленные таким образом лепешки на пластинках хранят в течение (24 ± 2) ч с момента приготовления в ванне с гидравлических затвором, а затем подвергают испытанию кипячением.

Для *испытания кипячением* две цементные лепешки через (24 ± 2) ч после затворения снимают с пластинок, помещают в бачок с водой на решетку. Затем воду в бачке доводят до кипения за 30...45 мин и кипение воды поддерживают в течение 3 ч. После охлаждения лепешек в бачке с водой производят их внешний осмотр.

О пригодности цемента судят по внешнему виду образцов, прошедших испытание.

Цемент **не считается доброкачественным**, если на лицевой поверхности лепешек, подвергнутых испытанию, обнаружатся:

1. радиальные, доходящие до краев и трещины или сетка мелких трещин, видимая невооруженным глазом или в лупу, а также

2. какие-либо искривления и увеличения объема лепешек. Наличие искривлений устанавливается при помощи линейки, прикладываемой к плоской поверхности лепешки.

Иногда в первые сутки после изготовления лепешек появляются трещины, не доходящие до краев лепешек (рис. 9.5). Если на обратной стороне лепешек отсутствуют радиальные трещины и лепешки при постукивании одна о другую издают звонкий звук, то появление трещин усыхания не являются признаком недоброкачества цемента, а связано с внутренними усадочными напряжениями, возникающими при высыхании лепешек

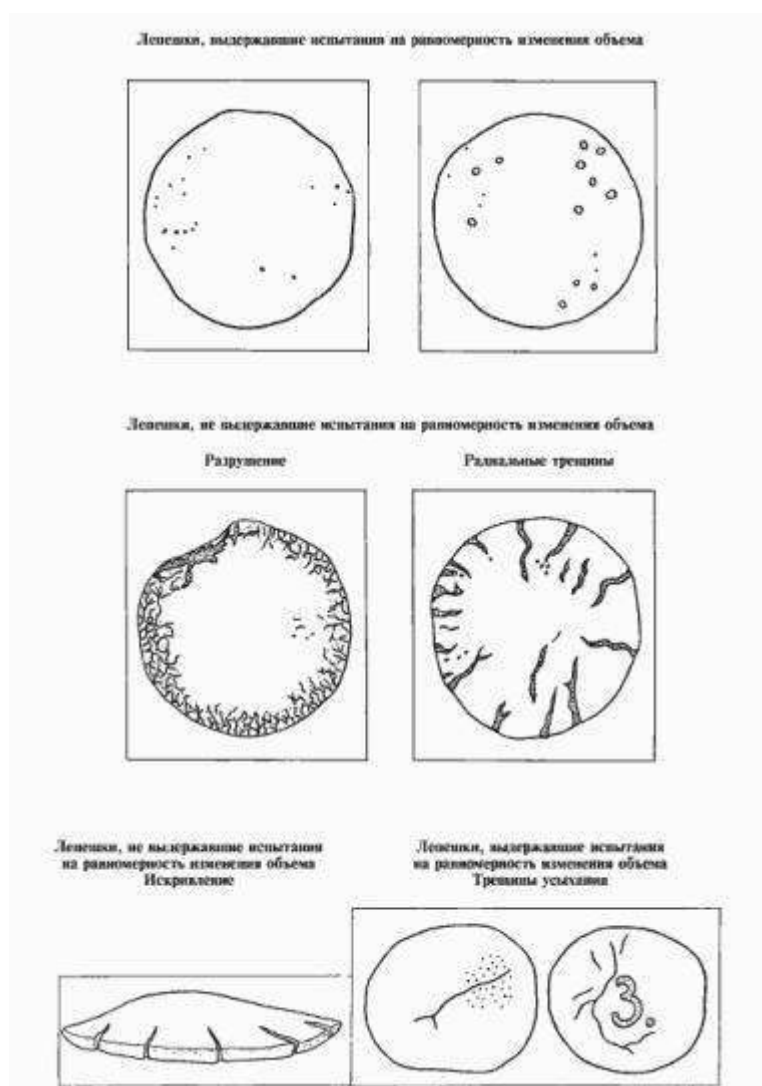


Рис. 9.5. Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема цемента

Результаты испытаний

Результаты определения записывают в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Определение равномерности изменения объема цемента

Показатели	значение
Масса теста нормальной густоты, г	
Дата и время изготовления лепешек	
Дата и время испытания	
Оценка внешнего вида лепешек после их испытания кипячением в течение 3 часов	
Заключение об испытании цемента на равномерность изменения объема	

Заключение

Проанализировать полученные результаты и сделать заключение о соответствии цемента требованиям действующего ГОСТа.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И МЕЖЗЕРНОВОЙ ПУСТОТНОСТИ ЦЕМЕНТА

Насыпная плотность ρ_n - отношение массы сыпучего материала m к занимаемому им объему V .

Насыпная плотность цемента зависит от степени его уплотнения, высоты падения, толщины слоя, влажности, гранулометрии.

Насыпную плотность сыпучих материалов, в том числе и цемента, необходимо знать для расчета состава бетонов и растворов.

Кроме того, ее учитывают при определении площадей складов и емкостей для хранения сыпучих материалов, объема бункеров, транспортной тары в бетоносмесительных отделениях заводов по производству бетонных и железобетонных изделий.

Приборы и материалы

1. Мерный цилиндрический сосуд вместимостью 1 л.
2. Стандартная воронка
3. Весы лабораторные настольные
4. Цемент.

Методика испытаний

Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии производится с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л и стандартной воронки (рис. 9.6). Цемент насыпают в предварительно взвешенный мерный цилиндр

с высоты 10 см от края сосуда до образования избыточного конуса. Излишек осторожно снимают вровень с краями сосуда линейкой, избегая уплотнения, после чего определяют массу сосуда с цементом.



Рис. 9.6. Прибор для определения насыпной плотности цемента.
1 – воронка, 2 – подставка, 3 – задвижки, 4 – мерный сосуд, 5 – сосуд.

Насыпную плотность цемента в кг/м^3 вычисляют по формуле:

$$\rho_H = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 100, \quad (9.1)$$

где m_1 - масса мерного сосуда, г;

m_2 - масса мерного сосуда с цементом, г;

V - вместимость мерного сосуда, л.

Для сравнения можно определить насыпную плотность цемента и в уплотненном состоянии.

Расчет межзерновой пустотности (%) производится по формуле

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_H}{\rho_H} \right) \times 100 \quad (9.2)$$

где ρ_u – «истинная» плотность зерен цемента ($3050 \dots 3150 \text{ кг/м}^3$)

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Определение насыпной плотности цемента

Показатели	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии
Вместимость сосуда V , л		
Масса сосуда, m_1 , кг		
Масса сосуда с цементом, m_2 , кг		
Насыпная плотность цемента, $\rho_{нас}$, кг/м ³		
Плотность зерен цемента, ρ_u , кг/м ³		
Межзерновая пустотность, $V_{пуст}$, %		

Заключение

По результатам испытаний сделать выводы, проанализировать полученные результаты. Проанализировать влияние механического уплотнения и уплотнения от длительного хранения на насыпную плоскость.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЦЕМЕНТА

Основным показателем качества цемента является его **активность**, численно выражающая *гарантированный предел прочности на растяжение при изгибе и при испытании на осевое сжатие* образцов-балочек, изготовленных в стандартных условиях. Активность цемента характеризует фактическую прочность при испытании образцов из стандартного цементного раствора. Результаты определения активности цемента при испытании по действующим ТНПА являются исходными показателями для отнесения цемента к тому или иному классу (марке).

По ранее действующему ТНПА (ГОСТ 10178) *марка цемента* – это гарантированная величина его активности, округленная в меньшую сторону до целого значения.

Для быстротвердеющих цементов (БТЦ) и шлакопортландцементов (ШПЦ), предел прочности также нормируется в конкретные сроки твердения (2...3 сут).

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-балочки (призмы) размерами 40x40x160 мм из замеса цементно-песчаного раствора, пластичной консистенции, состоящей из одной части цемента и трех частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента (действующим

ТНПА) с размером зерен от 2,00 до 0,08 (состава 1:3 по массе) при водоцементном отношении 0,50 (0,40 при применении монофракционного песка).

Приборы и материалы

I. Мешалка лопастная или бегунковая для перемешивания цементного раствора.

II. Чаша и лопатка для перемешивания цементного раствора.

III. Встряхивающий столик и форма-конус.

IV. Штыковка металлическая диаметром 26 мм.

V. Формы разъемные для изготовления образцов-балочек и насадка к ним.

VI. Вибрационная площадка для уплотнения цементного раствора в формах балочек.

VII. Прибор для испытания на изгиб образцов-балочек (например, МИИ-100)

VIII. Пресс с предельным усилием до 500 кН для определения предела прочности при сжатии половинок балочек (призм).

IX. Пластинки для передачи усилия сжатия на половинки образцов-балочек.

X. Средняя проба цемента.

XI. Вода.

XII. Стандартный песок.

XIII. Машинное масло.

XIV. Секундомер.

XV. Весы технические с разновесами.

XVI. Цилиндр для отмеривания воды.

XVII. Нож.

XVIII. Сосуд (ванна) с гидравлическим затвором для хранения изготовленных образцов.

XIX. Ванна с гидравлическим затвором для хранения образцов-балочек в воде.

Методика испытаний

1. Приготовление растворной смеси и определение ее консистенции

Согласно действующим ТНПА для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы из цементного раствора на стандартном нормальном песке в соотношений 1:3 (Ц:П) по массе. Водоцементное отношение при этом должно быть не менее 0,4 ($V/C = 0,50$), а консистенция растворной смеси, определяемая на специальном приборе по распылу конуса, должна быть не менее 106 мм. Консистенция растворной смеси определяется количеством воды в ее составе.

Консистенция раствора также зависит от размера зерен песка и содержания в нем примесей, поэтому для изготовления цементного раствора применяют стандартный полифракционный песок для испытания цемента (кварцевый природный песок с размером зерен от 0,08 до 2,0 мм и постоянным зерновым составом, ГОСТ 6139). Применение других песков, чтобы исключить их влияние на прочность образцов, не допускается.

Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 500 г цемента и 1500 г стандартного песка, всыпают их в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу, а затем перемешивают цемент с песком лопаткой в течение 1 мин. В центре сухой смеси делают лунку и вливают в нее воду в количестве 200 г ($V/C=0,40$). Через 0,5 мин после приливания воды еще раз перемешивают смесь в течение 1 мин, затем раствор переносят в предварительно протертую мокрой тканью чашу лабораторной бегунковой растворомешалки (рис.9.7) и перемешивают в ней в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши-мешалки).

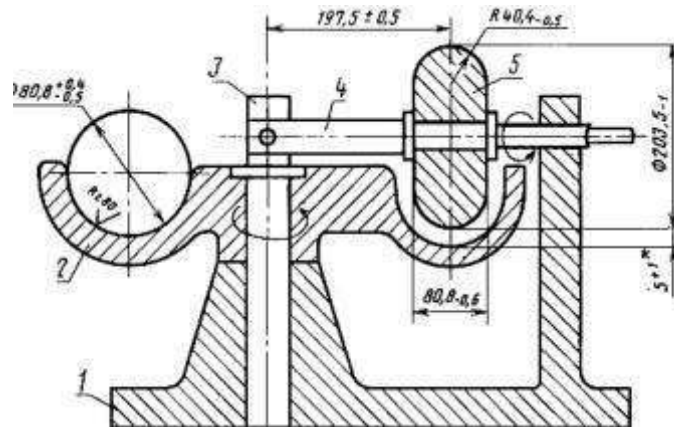


Рис.9.7. Мешалка для цементного раствора
1- чаша, 2 – бегунок, 3, 4 – скребки

Консистенцию цементного раствора определяют двумя способами:

Встряхивающего столика (рис.9.8);

Определителя консистенции (рис.9.9).

По окончании перемешивания форму-конус, установленную в центре стеклянного диска встряхивающего столика (рис. 9.8), заполняют раствором в два приема слоями равной толщины. Внутренняя поверхность конуса и диск столика перед проведением испытаний должны быть слегка увлажнены. Раствор уплотняют металлической штыковкой: нижний слой – 15 штыкованиями, верхний – 10.

Во время укладки и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску. После уплотнения верхнего слоя раствора снимают насадку, излишек раствора срезают ножом вровень с краями конуса. Затем форму-конус снимают и производят встряхивание раствора на столике 30 ударами в течение 30 с и измеряют

расплав конуса по нижнему основанию штангенциркулем в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение. Консистенция раствора считается нормальной при расплаве конуса в интервале 106...115 мм. Если расплав получается большим или меньшим, то делают новые замесы, с соответственно меньшим или большим количеством воды.



Рис.9.8. Встряивающий столик



Рис.9.9. Определитель консистенции

Количество повторных затворений и водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106...115 мм, заносится в табл. 9.8.

Таблица 9.8

Результаты определения консистенции раствора

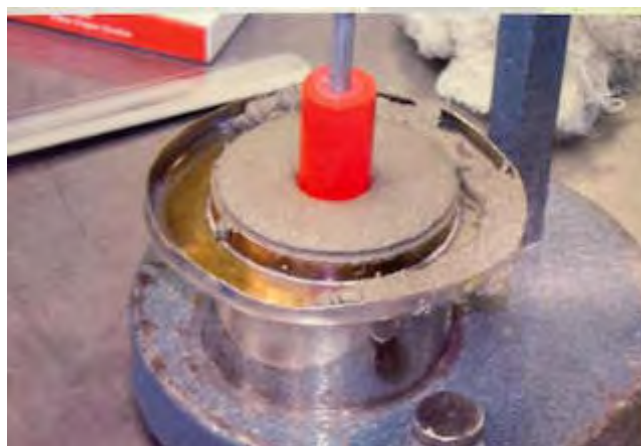
Показатели	1	2	3
Масса цемента (Ц), г			
Масса стандартного песка (П), г			
Объем воды (В), мл			
В/Ц			
Распływ конуса, мм			

Наконечник должен проникнуть на глубину 32...36 мм в цементный раствор.

2. Изготовление и хранение образцов-балочек

Образцы балочек готовят в трехсекционных формах (рис. 9.10).

Перед изготовлением образцов внутреннюю поверхность стенок форм и поддона слегка смазывают машинным маслом. Стыки наружных стенок друг с другом и поддоном формы необходимо промазывать тонким слоем солидола или другой густой смазки. На собранную форму устанавливают насадку.



Подготовленную форму закрепляют на виброплощадке, имеющей амплитуду вертикальных колебаний 0,35 мм, и частоту 2800...3000 кол. в минуту. Форму по высоте наполняют раствором приблизительно на 1 см и включают виброплощадку, затем в течение 2 мин вибрации все три секции формы равномерно, небольшими порциями окончательно заполняют раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации образцов ее заканчивают. Форму снимают с виброплощадки, срезают смоченным водой ножом излишек раствора, зачищают поверхность образцов вровень с краями формы и маркируют их.

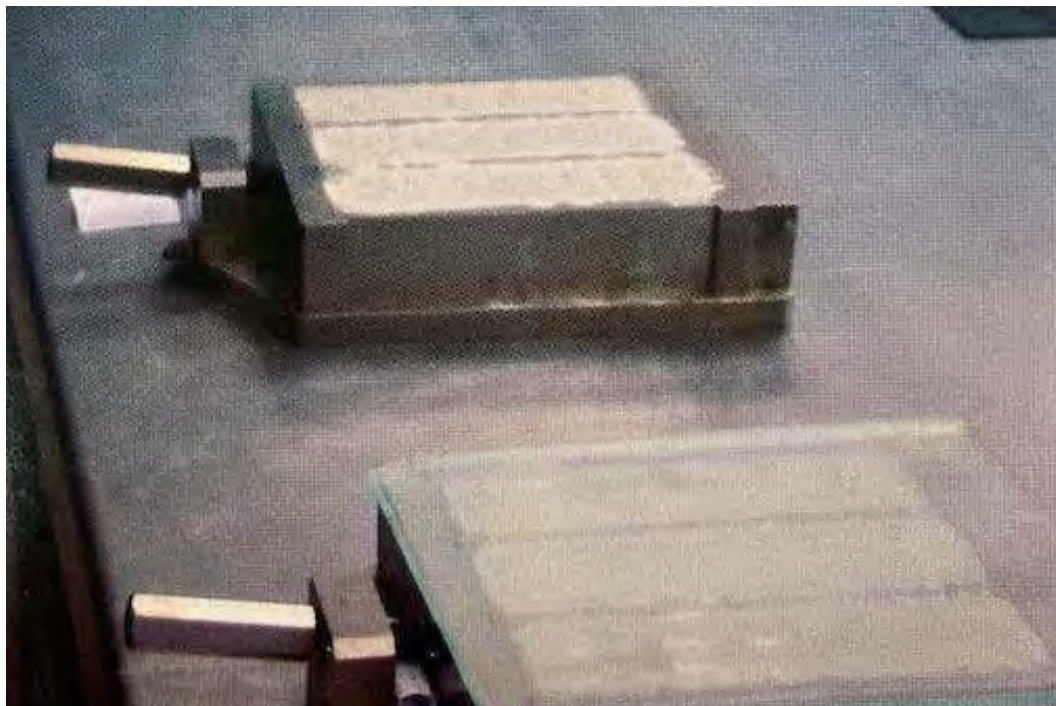


Рис. 9.10. Форма для образцов-балочек

Образцы в формах хранят 24 ± 2 ч во влажных условиях в ванне с гидравлическим затвором. По истечении времени хранения образцы осторожно извлекают из формы и укладывают в ванну с водой в горизонтальном положении таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом, и хранят так до проведения испытания по определению прочности.

Температура воды в емкости для хранения 20 ± 2 °С. Воду, в которой хранятся образцы, меняют через каждые 14 суток.

Испытание образцов производят через 28 суток нормального твердения, вначале на изгиб, а половинки – на сжатие на гидравлическом прессе.

3. Определение предела прочности на растяжение при изгибе

Перед испытанием образцы должны быть вынуты из воды и не позднее чем через 30 мин подвергнуты испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы должны быть вытерты насухо.

Установку образцов на опорные элементы прибора производят так, чтобы грани, которые были при изготовлении горизонтальные, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю. Схема расположения образца на опорных элементах показана на рис. 9.11. Средняя скорость приложения усилия на образец должна быть (50 ± 10) Н/с.

Испытание палочки на изгиб показан на рис. 9.12.

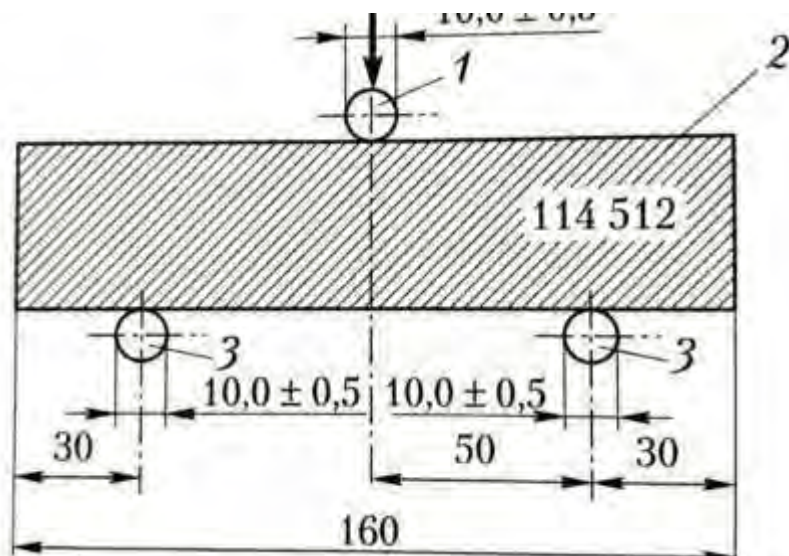


Рис.9.11. Расположение образцов-балочки на опорных элементах

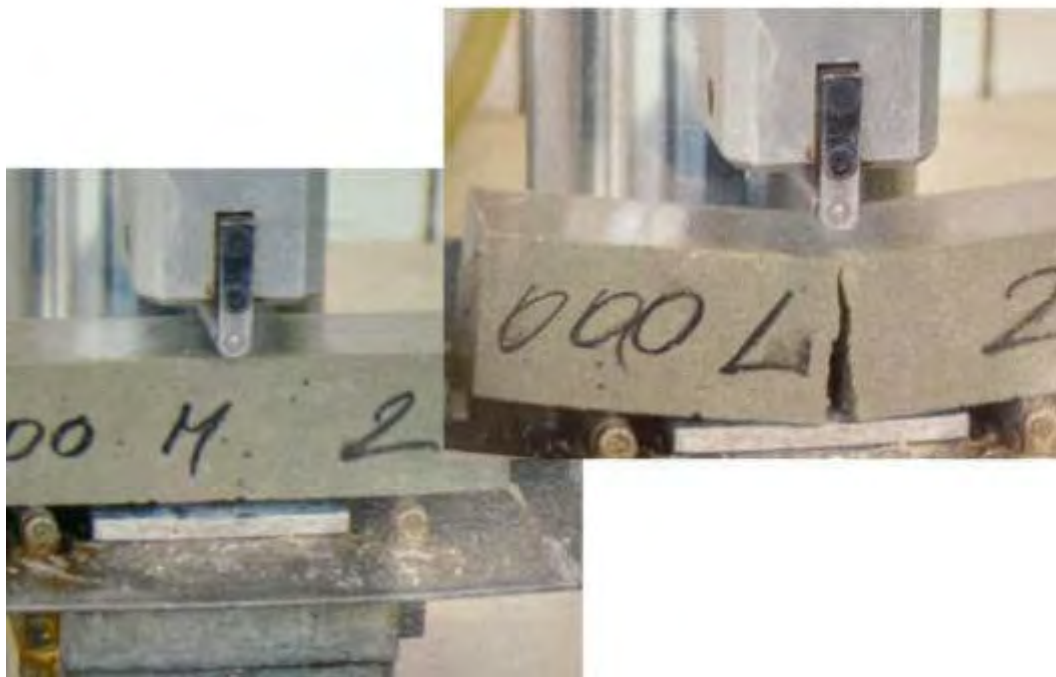


Рис.9.12. Испытание образца-балочки на изгиб

Предел прочности при изгибе вычисляют, как среднее арифметическое значение из *двух наибольших* результатов испытания трех образцов и вычисляют по формуле и заносят в таблицу 9.9.

4. Испытание образцов на сжатие

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок образцов-балочек (призм) сразу же подвергают испытанию на сжатие.

Каждую половинку балочки помещают между двумя специальными нажимными пластинками (рис. 9.12) так, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, заглаженная поверхность с маркировкой была обращена к испытателю, а упоры пластинок плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца.

Пластинки применяют для того, чтобы знать площадь поперечного сечения половинки образца-балочки, которая подвергается нагружению.

Требуемая скорость увеличения нагрузки ($2,0 \pm 0,5$) МПа в секунду устанавливается опытным путем.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ отдельного образца в МПа вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (9.7)$$

где F – разрушающая нагрузка в (Н)

A – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, равная 2500 мм².

Предел прочности портландцемента при сжатии вычисляют как среднее арифметическое *четырёх наибольших результатов испытаний* из шести. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Полученное таким образом фактическое значение прочности *называют активностью цемента*.

Результаты испытаний

Результаты определения прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек заносят в табл. 9.9.

Таблица 9.9

Результаты испытаний для определения марки цемента

Предел прочности, МПа		Класс портландцемента
при изгибе $R_{изг}$	при сжатии $R_{сж}$	
1	1 4	
2	2 5	
3	3 6	
Среднее из двух <i>наибольших</i> результатов $R_{изг} =$	Среднее из <i>четырёх наибольших</i> результатов $R_{сж} =$	

Ориентировочно марку портландцемента можно определить в более раннем возрасте, *но не менее 3 суток*, по логарифмической зависимости прочности цементного раствора от времени его твердения.

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n} \quad (9.8)$$

где R_{28} – предел прочности цементного раствора при изгибе или сжатии в возрасте 28 суток твердения, МПа;

R_n – предел прочности раствора при изгибе или сжатии в возрасте n суток твердения, МПа;

n – возраст образцов к моменту испытания, сут. (не менее 3-х суток).

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ (АКТИВНОСТИ) ЦЕМЕНТА НА ПРИБОРЕ ИАЦ-03

Цель работы

На практике ознакомиться с методом определения активности цемента с помощью прибора ИАЦ-03.

Приборы и материалы

- Прибор ИАЦ-03.
- Весы технические для отмеривания воды.
- Секундомер.
- Термометр.
- Цемент.
- Вода.

Методика определения активности (марки) цемента с помощью прибора ИАЦ-03

1. Назначение и применение прибора ИАЦ-03

Индикатор активности цемента ИАЦ (далее по тексту – прибор) предназначен для определения основного показателя качества цемента – его **активности**. Прибор обеспечивает определение активности портландцемента с минеральными добавками.

2. Технические характеристики прибора

Пределы определения активности цемента, МПа	16-60
Погрешность определения активности цемента, %	±5
Электропитание универсальное:	
– встроенное (аккумуляторы), В	4,8
– стационарное (электросеть), В	220
Блок электронный	110x90x40
Сосуд мерный в сборе с датчиком:	
высота	120
диаметр	90
Масса, г	
Блок электронный	120
Сосуд мерный в сборе с датчиком:	200

3. Устройство и принцип работы

Прибор состоит из двух функционально связанных частей (рис. 9.12) блока электронного 1 и сосуда мерного 2 в сборе с датчиком 3. Датчик соединен с электронным блоком кабелем 4 и разъемом 5.

Сосуд мерный 2 предназначен для приготовления водно-цементного раствора контролируемой пробы цемента и установки в нем датчика 3 при проведении контроля ее качества.

Датчик 3 предназначен для преобразования физических параметров водно-цементного раствора в электрический сигнал, необходимый для работы электронного блока. Датчик установлен на крышке 9 мерного сосуда 2.

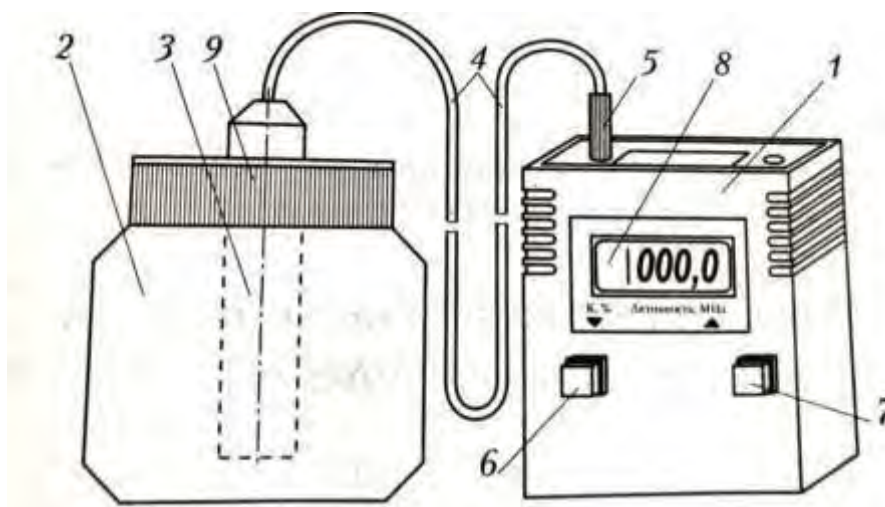


Рис. 9.12. Индикатор активности цемента ИАЦ-03.

1 – электронный блок, 2 – мерный сосуд, 3 – датчик, 4 – кабель,
5 – разъем. 6. 7 – кнопка. 8 – дисплей. 9 – крышка

Электронный блок 1 предназначен для преобразования электрического сигнала, поступающего от датчика, в цифровые данные, соответствующие активности контролируемой пробы цемента и отображаемые на дисплее 8. На лицевой стороне блока 1 размещены: дисплей 8, на котором индицируются цифровые данные, а также символ «Е», появление которого означает необходимость подзарядки встроенного источника питания; кнопка 6, обеспечивающая индикацию на дисплее значений поправочного коэффициента, изменение его величины и запись в память активности цемента. На верхней стенке блока размещены два разъема для подключения датчика и блока питания.

Принцип работы прибора состоит в измерении удельной проводимости водно-цементного раствора контролируемой пробы цемента, ее преобразовании в данные соответствующие активности контролируемой пробы цемента и их индикации в цифровой форме на дисплее электронного блока.

4. Подготовка к работе

1. Производят отбор пробы контролируемого цемента массой $12 \pm 0,1$ г.
2. Готовят необходимое для проведения контроля количество воды с температурой 20 ± 2 °С из расчета расхода 400 мл для контроля одной навески цемента.

5. Порядок работы

- Заливают в мерный сосуд приготовленную воду до уровня нижнего среза установленной на нем крышки с датчиком.
- Устанавливают значение поправочного коэффициента, определенного при калибровке прибора (п.6) по цементу, поставленному тем же производителем ранее. Для этого однократно нажимают и отпускают кнопку 6. Поочередным нажатием кнопок 6 или 7 устанавливают требуемое значение коэффициента. Одновременно нажимают и отпускают эти кнопки, после чего дисплей погаснет, и коэффициент будет введен в память прибора. Если в изменении коэффициента нет необходимости, выполняют только последнюю операцию.

При появлении на дисплее символа «Е» производят подзарядку системы питания. Для подзарядки встроенного источника питания электронного блока необходимо подключить к разъему АС/DC разъем входящего в состав прибора блока питания, а его сетевую вилку – в электросеть; продолжительность подзарядки – не менее четырех часов.

- Засыпают приготовленную навеску пробы цемента в мерный сосуд с водой, включают секундомер и перемешивают в течении 40 секунд кистью, входящей в состав прибора. По окончании перемешивания устанавливают датчик на мерный сосуд и нажимают кнопку 7; через 10 секунд фиксируют показания прибора и выключают его, нажав и отпустив кнопку 6.
- Снимают крышку с датчиком с мерного сосуда и трубку с датчика, промывают и протирают полость сосуда, внутреннюю стенку трубки, часть датчика, погружаемого в раствор.

5.Повторяют приведенные выше операции для всех навесок взятых проб цемента и вычисляют среднеарифметический результат.

6. Методы и средства калибровки

1. Калибровка прибора производится при его вводе в эксплуатацию, а после этого периодически (не реже одного раза в месяц) по цементу каждого из производителей, поставляющих цемент данной организации.

2. Порядок проведения калибровки:

2.1. Выполнить операции, предусмотренные п.5, предварительно установив значение коэффициента равное 100. Вычислить и зафиксировать среднеарифметический результат.

2.2. Произвести испытания того же цемента в соответствии с методикой ГОСТ 310.4 п.2 и зафиксировать результат.

2.3 Вычислить поправочный коэффициент для цемента, поставляемого данным производителем, по формуле:

$$K = 100M/N \quad (9.9)$$

где: M - предел прочности при сжатии, полученный в результате испытаний по ГОСТ 310.4, МПа

N – результат полученный согласно п. 2.1.

2.4. При невозможности выполнения испытаний по ГОСТ 310.4. прибор может быть использован для предварительной оценки активности цемента. В этом случае при калибровке значение M должно быть равно пределу прочности при сжатии, указанному в сопроводительной документации на цемент. При этом погрешность, указанная в п. 2.2. *не гарантируется.*

Результаты испытаний

Результаты определения активности цемента заносят в табл. 9.10

Таблица 9.10

Результаты активности цемента

Показатели	1	2	3
Масса цемента, г			
Масса воды, г			
Время перемешивания, с			
Активность цемента, МПа			

Среднее значение активности цемента _____ МПа.

Полученное среднее значение активности цемента сравнивают с требуемым по действующему нормативному правовому акту

Заключение

Сделать выводы о соответствии полученных значений нормативным документам.

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦЕМЕНТА НА ПРИБОРЕ ПСХ-4

Цель работы

Ознакомиться со стандартным методом определения удельной поверхности порошкообразных материалов на приборе ПСХ – 4.

Приборы и материалы

1. Прибор ПСХ-4.
2. Сушильный шкаф.
3. Термометр.
4. Технические весы.
5. Емкость для отборов проб.
6. Секундомер.
7. Цемент.
8. Кружки из фильтрованной бумаги.

Общие сведения об оценке удельной поверхности дисперсных

(порошкообразных) материалов

Удельная поверхность — отношение суммарной поверхности частиц дисперсного материала к единице объема или массы. Удельная поверхность связана с размером частиц обратно пропорциональной зависимостью. Для самых грубых оценок удельной поверхности используют ситовый анализ с рассевом на фракции и расчетом поверхности частиц всех фракций, принимая их форму шарообразной. Для более точного определения удельной поверхности применяют методы, основанные на определении воздухопроницаемости слоя уплотненного порошка, с последующим расчетом. Наиболее точным считается метод адсорбции азота или другого инертного газа, который учитывает не только адсорбцию открытой поверхности частиц, но и адсорбцию в их микропорах, которая не учитывается при геометрических методах оценки. Удельная поверхность рассчитывается по формуле:

$$S_{уд} = \left(\frac{a \times N}{M} \right) \times m, \quad (9.10)$$

где: a — удельная поверхность, покрываемая одной адсорбируемой молекулой;

N — постоянная Авогадро;

M — молекулярная масса адсорбированного газа;

m — масса адсорбированного газа, необходимого для полного покрытия мономолекулярным слоем всей внутренней поверхности пор 1 г сухого вещества.

Для практических целей удельная поверхность дисперсных материалов, рассчитывается по воздухопроницаемости. Это является вполне достаточным для оперативного и относительно несложного контроля процесса измельчения и качества готовой тонкодисперсной продукции.

1. Назначение прибора

Прибор ПСХ-4 предназначен для определения тонкости помола порошкообразных материалов по величине удельной поверхности, которая связана со средним соотношением частиц (мкм):

$$D = \frac{60000}{S \times \rho} \quad (9.11)$$

где: S – удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$;

D – средний размер частиц, мкм;

ρ – истинная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$

Принцип действия прибора основан на соотношении Козени-Кармана, устанавливающим зависимость между дисперсностью частиц, пористостью слоя и его проницаемостью.

2. Устройство прибора ПСХ – 4

Схема прибора изображена на рис 9.13.

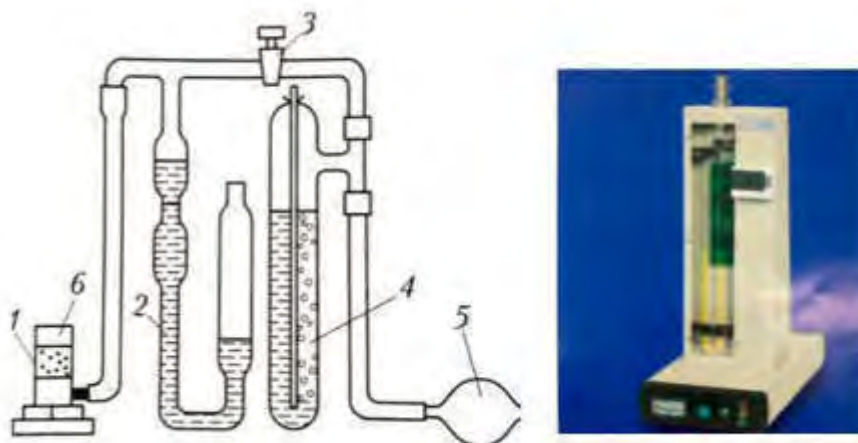


Рис.9.13. Схема прибора ПСХ-4 для определения удельной поверхности вяжущих

1 – кюветы с вяжущим; 2 – манометр-аспиратор; 3 – кран; 4 – регулятор разрежения; 5 – источник разрежения

Прибор состоит из кюветы 1, плунжера 6, манометра 2, крана 3, резиновой груши 5 и соединительных трубок. Стекланные части прибора смонтированы на панели, прикрепленной к внутренней стенке футляра.

1. Кювета 1 предназначена для укладки в ней слоя испытуемого материала. Она представляет собой металлическую камеру, перегороденную на некоторой высоте диском с высверленным отверстием. Часть камеры, ограниченная диском и дном кюветы, с помощью штуцера и гибкой резиновой трубки

присоединена к жидкому манометру. На внешней поверхности кюветы нанесена миллиметровая шкала.

2. Плунжер 6, посредством которого производится уплотнение слоя материала в кювете, выполнен в виде цилиндра с упорным диском. В теле плунжера просверлен канал и отверстие для прохождения воздуха. Цилиндр подогнан к кювете с просветом 0,15 мм. К вырезу упорного диска прикреплена планка с нониусом, которая со шкалой на внешней поверхности кюветы позволяет измерить толщину испытуемого слоя материала.

3. Резиновая груша 5 с клапанами служит для разрежения под слоем материала.

4. Манометр 2 предназначен для определения давления воздуха под слоем испытуемого материала и в сочетании с секундомером используется для определения воздухопроницаемости слоя испытуемого материала. Прибор снабжен стеклянным манометром длиной около 300 мм, заполненным подкрашенной водой.

5. В комплект прибора входят секундомер, аптекарские весы и разновесы.

3. Методика испытаний

Для определения величины удельной поверхности необходимо:

1. Высушить материал до воздушносухого состояния при температуре 105...110 °С (известь-кипелку и цемент высушивать не следует);

2. Охладить до комнатной температуры и взвесить с точностью до 0,01 г пробу массой $m = 3,33 p$ (величина навески для ряда материалов приведена в табл. 9.11); p – плотность вещества материала.

Таблица 9.11

Перечень материалов и величина навесок для определения удельной поверхности на приборе ПСХ-4

Наименование материала	Истинная плотность	Навеска материала
Песок	2,65	8,83
Известь негашеная «кипелка»	2,80	9,32
Шлак	2,80	9,32
Известняк CaCO ₃	2,80	9,32
Доломит CaCO ₃ ·MgCO ₃	2,90	9,73
Цемент	3,00	10,00
Зола	3,00	10,00
Клинкер портландцементный	3,00	10,00
Известь гидратная «пушонка»	2,20	7,32

В тех случаях, когда определению подлежит смесь материалов, приведенных в табл.9.11, величину навески вычисляют по формуле:

$$m = 3,33 \left(\frac{A}{\rho_1} + \frac{B}{\rho_2} + \frac{C}{\rho_3} \right)^{-1} \quad (9.12)$$

где: A, B, C – выраженное в весовых долях содержание компонентов в смеси;

ρ_1, ρ_2, ρ_3 – соответственно их плотности.

3. Положить в кювету кружок фильтровальной бумаги, вырезанной по внутреннему диаметру кюветы и высыпать на него навеску, предназначенную для испытания. Легким постукиванием разровнять слой, покрыть сверху вторым кружком фильтровальной бумаги и уплотнить плунжером при нажатии на него рукой.

4. С помощью нониуса на планке плунжера и шкалы на внешней поверхности кюветы измерить высоту слоя материала.

5. Удалить плунжер из кюветы, открыть кран и посредством груши создать разрежение под слоем материала. Это разрежение должно быть таким, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки.

6. Закрыть кран. Измерить по секундомеру время τ (в секундах) прохождения мениска жидкости в манометре между двумя рисками. (При быстром оседании столба жидкости – между рисками 3-4, при медленном – между рисками 1-2).

7. Записать температуру воздуха.

4. Вычисление

Для расчета величины удельной поверхности следует:

1. По измеренным значениям высоты слоя (L) и температуре воздуха (t) найти в табл.9.12 величину M .

2. По измеренному времени τ (сек) найти в табл.3 значение корня квадратного из τ ($\sqrt{\tau}$).

3. Произвести вычисление удельной поверхности ($\text{см}^2/\text{г}$) по формуле:

$$S = K \frac{M \sqrt{\tau}}{m} \quad (9.13)$$

где: K – постоянная прибора для той пары рисок, между которыми наблюдалось падение столба жидкости за время τ (значение K содержится в паспорте прибора);

m – величина навески, г.

5. Проверка исправности прибора

1. Количество жидкости в манометре должно быть таким, чтобы ее уровень находился против нижней риски. Уровень жидкости проверяется при пустой и открытой кювете.

2. Прибор должен быть герметичен. Для проверки герметичности кювет плотно закрывается резиновой пробкой.

В приборе, как описано выше, создается разрежение и наблюдается положение уровня жидкости в манометре.

Если прибор герметичен, этот уровень не опускается.

3. Опустить плунжер в кювету, в которую положено два слоя фильтровальной бумаги, и проверить совпадение нулевых делений нониуса и шкалы. Если имеется какое-либо несоответствие (нулевые деления не совпадают), то следует учитывать при изменении высоты слоя испытуемого материала.

6. Проверка и определение постоянной прибора K

Для проверки и определения постоянной прибора K может применяться порошок с известной удельной поверхностью. С порошком производится такой же опыт, как и при определении удельной поверхности, и постоянная K вычисляется по формуле:

$$K = \frac{S \times m}{M \times \sqrt{\tau}} \quad (9.14)$$

где: S – известная величина удельной поверхности;

m , M и τ – определяются из опыта.

Таблица 9.12

Zl°	13"	15"	17"	19°	21"	23"	25"	30"
0,80	65	65	65	64	64	63	63	62
0,81	73	73	73	72	72	71	71	70
0,82	81	81	81	80	80	80	79	78
0,83	89	89	89	88	88	88	87	86
0,84	97	97	97	96	96	95	94	93
0,85	104	104	104	104	104	103	102	101
0,86	111	111	111	111	ПО	ПО	109	108
0,87	119	119	119	119	118	118	117	116
0,88	127	127	127	127	126	126	125	124
0,89	135	135	135	135	134	134	133	132
0,89	143	143	143	143	142	142	141	140
0,91	151	151	151	151	150	150	149	148
0,92	159	159	159	159	158	158	157	156

0,93	168	168	168	167	166	165	165	164
0,94	176	176	176	175	174	173	173	172
0,95	184	184	184	183	183	183	182	181
0,96	192	192	192	192	191	191	190	189
0,97	201	201	201	200	199	199	199	198
0,98	209	209	209	108	208	208	207	206
0,99	218	218	218	217	216	216	215	214
1,00	227	226	226	225	224	224	223	221
1,00	227	226	226	225	224	224	223	221
1,01	235	234	234	233	231	232	231	229
1,02	243	242	242	241	240	240	239	237
1,03	251	250	250	249	248	248	247	245
1,04	259	258	258	257	255	255	254	252
1,05	268	267	266	265	264	264	263	261
1,06	276	275	275	274	273	273	272	270
1,07	285	284	283	282	281	281	280	278
1,08	293	292	291	290	289	289	288	286
1,09	299	298	297	296	295	295	294	292
1,10	307	306	305	304	303	303	302	300
1,11	316	315	314	313	312	311	310	308
1,12	325	324	323	322	321	320	319	317
1,13	333	332	331	330	329	328	327	325
1,14	341	340	339	338	337	336	335	332
1,15	349	348	347	346	345	344	343	340
1,16	357	356	355	354	353	352	351	348
1,17	365	364	363	362	361	360	359	356
1,18	374	373	372	371	370	369	368	365
1,19	383	382	381	380	379	377	376	373
1,20	391	390	389	388	387	386	385	382
1,21	399	398	397	396	394	393	392	389
1,22	407	406	405	404	402	401	400	397
1,23	416	414	413	412	410	409	408	405
1,24	423	422	421	420	419	418	416	413
1,25	430	429	428	427	425	424	423	420

Величина $M = \left[0,14\sqrt{120} \frac{1}{Z} (4,9 - 3,33)^2 \cdot 2\sqrt{\frac{1}{S}} \right]$

Помнить: Величина K зависит от объема системы, поэтому изменять длину резиновой трубки или заменять ее трубкой такого же сечения, так же, как и заменять другие детали прибора, *запрещается*. После каждого ремонта прибора следует проверять постоянную K .

7. Постоянные K для прибора (содержится в паспорте прибора)

1. K_{1-2} – если наблюдается падение столба между рисками 1-2, $K_{1-2}=22,4$
2. K_{2-3} – если наблюдается падение столба между рисками 2-3, $K_{2-3}=$
3. K_{3-4} – если наблюдается падение столба между рисками 3-4, $K_{3-4}=8,8$
4. K_{1-3} – если наблюдается падение столба между рисками 1-3, $K_{1-3}=$
5. K_{1-4} – если наблюдается падение столба между рисками 1-4, $K_{1-4}=$

8. Определение удельной поверхности грубодисперсных порошков

Для определения удельной поверхности грубодисперсных порошков (с удельной поверхностью менее $1500 \text{ см}^2/\text{г}$) следует брать навеску, численно равную удесятеренной плотности (табл.4.11) и измерять время падения столба манометра между рисками 3 и 4.

Величина M в этом случае определяется по табл. 9.12 для определенной трети измеренной высоты слоя, а расчет удельной поверхности производится по формуле:

$$S = 1,73 \frac{M \sqrt{\tau}}{m} \quad (9.15)$$

Для отыскания корня квадратного из искомого числа (их измеренного в секундах времени τ) необходимо найти в первой заглавной строке таблицы последнюю цифру этого числа, а в первом вертикальном столбце таблицы – количество десятков. Искомый корень находится на пересечении указанных строки и столбца.

Пример:

1. Найти $\sqrt{10} = 3,16$
2. Найти $\sqrt{56} = 7,68$
3. Найти $\sqrt{135} = 11,62$

Результаты испытаний

Результаты определения удельной поверхности на приборе ПСХ-4 заносят в табл. 9.13.

Результаты определения удельной поверхности

Определение	Единицы измерений	Количество испытаний		
		1	2	3
Навеска портландцемента, m	г			
Высота слоя материала в кювете	мм			
Время прохождения мениска жидкости в манометре между рисками τ	сек			
Постоянная прибора, K	$K_{1-2} = 22,4$ $K_{3-4} = 8,8$			
Вычисление удельной поверхности S_{ya}	см ² /г			
Среднее арифметическое значение	см ² /г			

Заключение

Сделать вывод по результатам испытаний тонкости помола порошкообразных материалов по величине удельной поверхности.

9.3. Вопросы к защите выполненной лабораторной работы

1. Как определить среднюю (насыпную) плотность ПЦ?
2. От чего зависит насыпная плотность ПЦ?
3. Какие периоды твердения ПЦ характеризуют время начала и конца схватывания?
4. Что называется концом и началом схватывания цементного теста?
5. Какие требования предъявляет ГОСТ на ПЦ по срокам схватывания?
6. Почему нельзя применять алюминиевую и оцинкованную посуду для испытания цемента?
7. Каков ход работы при определении сроков схватывания?
8. Какова роль добавки CaCl_2 ?
9. Что называется «нормальной густотой» цементного теста?
10. С какой целью определяют «нормальную густоту» цементного теста?
11. Как определить «нормальную густоту» цементного теста? На каком приборе и в каких единицах определяют «нормальную густоту» цементного теста?
12. Как определяется равномерность изменения объема цемента?
13. При каких условиях цемент не может считаться выдержавшим испытание на равномерность изменения объема цемента?
14. Каковы причины неравномерного изменения объема цемента?

15. Как определяют марку цемента?
16. Какой режим твердения используют при определении прочности цемента?
17. Что такое цементный раствор?
18. Какие требования предъявляются к стандартному песку?
19. Как определяется «нормальная густота» цементных растворов заданной консистенции?
20. Как изготавливают контрольные образцы-балочки (призмы)?
21. Какие основные правила хранения образцов до испытания на прочность?
22. Что такое марка и активность ПЦ?
23. Как Вы понимаете выражение – ПЦ 32,5, 42,5?
24. Каким образом можно рассчитать ориентировочно марку цемента, образцы которого твердели 7 суток?
25. С какой целью при определении активности цемента предварительно подбирают консистенцию цементно-песчаного раствора?
26. От чего зависит прочность цемента?
27. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета класса цемента?
28. Почему для твердения гидравлических вяжущих необходима высокая влажность?
29. Как определяется активность цемента на приборе ИАЦ – 03?
30. Как определяется удельная поверхность цемента на приборе ПСХ– 4.

9.4. Литература и действующие нормативные правовые акты

1. Вяжущие вещества [Электронный ресурс] : учебное пособие / [О.А. Ларсен и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон. дан. и прогр. (6,5 Мб). — Москва : Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2018.

2. Минеральные воздушные вяжущие вещества : учеб. пособие / Н. Н. Башкатов. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 148.

3. Александрова О.В. Вяжущие вещества: учебное пособие / О.В. Александрова, В. Г. Соловьева и др. – М.: МИСИ, МГСУ, 2019. – 113 с.

4. Минеральные вяжущие вещества. Технология и свойства/ А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – М: Стройиздат, 2016. – 480 с.

5. ГОСТ 310.1-76 - ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы испытаний. – М., Издательство стандартов, 1993.

6. ГОСТ 31108-2003. Межгосударственный стандарт «Цементы общестроительные. Технические условия».

7. ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия.
8. ГОСТ 6139-2020. Песок для испытаний цемента. Технические условия.
9. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
10. EN 197-1. Цементы. Состав и спецификация (европейский стандарт).
11. СТБ ЕН 197-1-2000. Цемент. Часть 1. Состав, спецификации и критерии соответствия общих цементов.
12. СТБ ЕН 196-1.-2001. Методы испытания цемента. Часть 1. Определение прочности.
13. СТБ ЕН 196-3.-2001. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение времени схватывания и равномерность изменения объема.

Лабораторная работа № 10
МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ
И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы

1. Ознакомиться на практике со свойствами и особенностями мелкого заполнителя, с требованиями государственных стандартов к его качеству;
2. Приобрести навыки проведения стандартных лабораторных испытаний, выяснения их сущности и значения;
3. Логически связывать требования стандартов к качеству мелкого заполнителя и эффективность его применения в бетонах, закрепить теоретические представления о структурообразующей роли мелкого заполнителя в бетоне.

**10.1 Вопросы для подготовки к выполнению
лабораторной работы**

1. Роль заполнителей в бетонах и растворах.
2. По какому граничному размеру зерен производится разделение заполнителей на мелкий и крупный?
3. Где и как добывают мелкий заполнитель для обычных тяжелых бетонов?
4. Из каких горных пород добывают мелкий заполнитель (природный песок)?
5. Что дает применение в бетонах фракционированного песка?
6. Как разделяют (классифицируют) природные пески в зависимости от места залегания?
7. Какие размеры отверстий имеют стандартные сита для определения зернового состава песка?
8. Почему и когда целесообразно применять дробленый песок?
9. Какие примеси в песке отрицательно влияют на качество бетона?
10. Какая примесь гравия допускается в песке?
11. Какими показателями характеризуется зерновой состав песка?
12. Какой песок лучше для бетона – однофракционный или многофракционный и почему?

10.2 Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение содержания в песке пылевидных и глинистых частиц.

Задание 2. Определение наличия органических примесей.

Задание 3. Определение влажности песка.

Задание 4. Определение зернового состава песка.

Задание 5. Определение насыпной плотности песка.

Задание 6. Определение истинной плотности зерен песка (плотности его зёрен).

Задание 7. Общее заключение о качестве песка

Общие сведения о мелких заполнителях для бетонов и растворов

Цементный бетон представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемента), воды и заполнителей мелких и крупных.

Под **заполнителем** для бетона (раствора) понимается рыхлая смесь зёрен минерального или органического происхождения, размеры которых находятся в определённых пределах.

Заполнители занимают в бетоне до 80 % объема и, следовательно, позволяют резко сократить расход цемента – наиболее дорогого компонента бетона. Суть не только в экономии цемента. Без заполнителей вообще нельзя получить бетон из-за того, что превращение цементного теста в цементный камень, его последующее твердение и высыхание сопровождаются большими усадочными деформациями. Если получать бетон без заполнителей, то при твердении он неизбежно потрескается.

В правильно подобранной бетонной смеси цементное тесто схватывается и твердеет в тонких пленках, обволакивающих поверхность зерен заполнителя, и в микрообъемах между этими зернами. Поэтому нет условий для перехода усадочных микродеформаций в макродеформации, а возникающие в микрообъемах усадочные напряжения воспринимаются зернами заполнителя. В результате этого наблюдается усадка бетона приблизительно в 10 раз меньше усадки цементного камня.

Заполнитель играет также значительную роль в структурообразовании бетона и формировании его свойств.

По размерам зерен заполнители для бетона подразделяют на мелкие и крупные. **Мелкий заполнитель** – это песок с размером зерен от 0,16 до 5 мм, **крупный заполнитель** – щебень или гравий с размером зерен от 5 мм до 70 мм и более (5...10 мм, 10...20 мм и т.д.).

Роль мелкого заполнителя в структурообразовании обычного бетона более значительна, чем роль крупного заполнителя. Без крупных заполнителей можно получать бетоны, которые называют мелкозернистыми. Без мелкого – обычный плотный бетон получить нельзя.

Виды мелкого заполнителя

В качестве мелкого заполнителя в тяжелых бетонах применяют пески природные или искусственные (дробленые).

Пески природные – это неорганический зернистый сыпучий материал (осадочная порода) с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения твёрдых горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования специального обогащительного оборудования.

По условиям образования пески различают:

1. Речные (аллювиальные – от. лат. *alluvio* – нанос, намыв), имеют округлую (окатанную) поверхность зёрен.
2. Морские, имеют окатанную форму зёрен
3. Овражные (горные), имеют неровную остроугольную поверхность зёрен и лучшее сцепление с цементным камнем, но они загрязнены различными примесями.

Пески залегают обычно в составе песчано-гравийных смесей (ПГС). После сортировки последних получают фракционированный гравий и песок.

Добываемые в карьерах природные пески состоят, как правило, из прочных зерен наиболее стойких минералов и горных пород, хотя бывают в них и нежелательные примеси (глинистые).

Помимо обычного песка в технических условиях на заполнители может быть предусмотрена поставка потребителям *фракционированного песка*.

Фракцией считаются зерна заполнителя, которые проходят через более крупные и остаются на более мелком из двух сит, находящихся рядом в стандартном наборе, т.е. выделяемые этими двумя ситами из пробы заполнителя. Фракционирование производится разделением песка по граничному зерну, соответствующему размерам отверстий какого-либо из двух контрольных сит: 1,25 или 0,63 мм. Крупная (1,25...2,5 мм) и мелкая (0,63...1,25 мм) фракции песка должны поставляться, храниться и дозироваться при приготовлении бетонной смеси отдельно. Этим обеспечивается *более рациональный состав бетонной смеси и более высокая однородность бетона*.

Если качество песка по зерновому составу или наличию примесей не соответствует требованиям к заполнителям для бетона, песок подлежит обогащению. Обогащение состоит в промывке песка, корректировке его зернового состава.

Дробленый песок получают дроблением каменных горных пород и гравия в тех районах, где отсутствуют природные пески удовлетворительного качества.

Кроме того, целесообразно также получать и использовать дробленые пески из отсеков, остающихся при производстве щебня из природного каменного материала. Преимуществом дробленого песка перед природным является лучшее сцепление с ним цементного камня в бетоне.

Требования к мелкому заполнителю для бетона

Песок, в зависимости от значений **нормируемых показателей качества** (зернового состава, содержания пылевидных и глинистых частиц), в соответствии с ГОСТ 8736-2014 подразделяют на два класса, каждый из которых содержит группы песка по крупности:

I класс – повышенной крупности, крупный, средний и мелкий.

II класс – повышенной крупности, крупный, средний, мелкий, очень мелкий, тонкий и очень тонкий.

В зависимости от зернового состава пески подразделяются на группы по крупности (табл. 10.1). Каждая группа песка характеризуется модулем крупности M_k (см. задание 4) и полным остатком на сите №063.

Таблица 10.1.

Группы песка по зерновому составу

Группа песка	Модуль крупности, M_k	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5	Св. 65 до 75
Крупный	-"- 2,5 до 3,0	-"- 45 до 65
Средний	-"- 2,0 до 2,5	-"- 30 до 45
Мелкий	-"- 1,5 до 2,0	-"- 10 до 30
Очень мелкий	-"- 1,0 до 1,5	До 10
Тонкий	-"- 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	до 0,7	-"-

Содержание в песке зерен крупностью свыше 10; 5 и менее 0,16 мм не должно превышать значений, указанных в табл. 10.2.

Таблица 10.2.

Содержание зерен в песке, % по массе

Класс песка	Группа песка	Содержание зерен крупностью		
		Св. 10 мм	Св. 5 мм	Менее 0,16 мм
I	Повышенной крупности, крупный и средний	0,5	5	5
	Мелкий	0,5	5	10
II	Повышенной крупности	5	20	10
	Крупный и средний	5	15	15
	Мелкий и очень мелкий	0,5	10	20
	Тонкий и очень тонкий	Не допускается		Не нормируется

Чтобы оценить соотношение между зернами заполнителя различного размера, определяют зерновой состав заполнителя (задание 4 данной лабораторной работы).

ТНПА (технические нормативные правовые акты) предъявляет к мелкому заполнителю ряд требований по зерновому составу, ограничению вредных примесей и др.

Гранулометрический (зерновой) состав песка для бетонов большинства видов строительных конструкций регламентирован требованиями, приведенными в табл. 10.3.

Таблица 10.3.

Требования к зерновому составу песка для бетона

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на контрольных ситах, % по массе
2,5	0-20
1,25	5-45
0,63	20-70
0,315	35-90
0,16	90-100
Проход через сито 0,16 мм	0-10

Вредными примесями в песке являются органические примеси (гумусовые вещества), пылевидные и глинистые частицы. Кроме того, вредными примесями в песке могут быть частицы нестойких или потенциально *реакционноспособных минералов* (опал, кремний, гипс, ангидрит, слюды, хлориты, асбест и др.). Их выявляют при петрографическом исследовании с разборкой зерен песка под микроскопом и использованием для распознавания минералов химических реактивов или иных методов.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках (см. задание 1) не должно превышать значений, указанных в табл. 10.4.

Таблица 10.4.

Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, % по массе

Класс песка	Группа песка	Содержание пылевидных и глинистых частиц	Содержание глины в комках
I	Повышенной крупности, крупный и средний	2	0,25
	Мелкий	3	0,35
II	Повышенной крупности, крупный и средний	3	0,5
	Мелкий и очень мелкий	5	0,5
	Тонкий и очень тонкий	10	1,0

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПЕСКЕ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Пылевидные и глинистые частицы имеют размеры не более 0,05 мм, по крупности они соизмеримы с частицами цемента, поэтому, при разбавлении ими цемента, повышается его водопотребность, снижается прочность цементного камня. Кроме того, глинистые примеси (с размером частиц менее 0,005 мм) покрывают поверхность зерен песка, ухудшая сцепление с нею цементного камня. Если же глина содержится в песке в виде комков, то она снижает морозостойкость бетонов и растворов.

Содержание указанных примесей определяют *методом отмучивания* по ГОСТ 8735 п.5. Сущность определения состоит в том, что навеску сухого песка промывают, затем высушивают и определяют относительную потерю массы.

Содержание отмучиваемых пылевидных и глинистых примесей в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$P_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \%, \quad (10.1)$$

где: m – масса навески сухого песка до отмучивания, г;

m_1 – масса высушенной навески песка после отмучивания, г.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные настольные.
2. Шкаф сушильный.
3. Металлический сосуд для отмучивания песка высотой 320 мм.
4. Секундомер.
5. Песок кварцевый.

Методика испытаний

Берут навеску сухого песка массой 1000 г, помещают ее в специальный стандартный сосуд (рис. 10.1) и заливают водой до верхнего переливного отверстия 2.

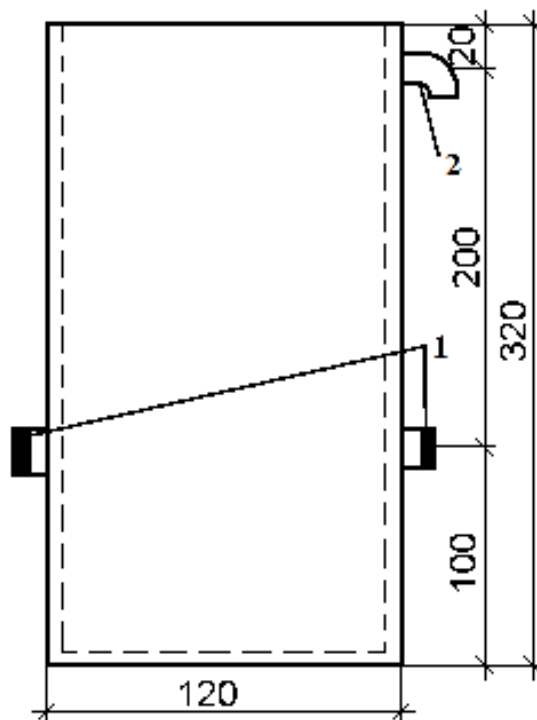


Рис. 10.1. Сосуд для отмучивания песка

1 – сливные отверстия, 2 – переливное отверстие

В этом положении песок для размокания примесей необходимо выдержать в течение 2 ч, перемешивая его несколько раз. С целью ускорения лабораторной работы описанная операция выполняется заранее лаборантом и студенты получают возможность сразу приступить к отмучиванию.

Отмучивание состоит в энергичном перемешивании содержимого сосуда, после чего его оставляют в покое на 2 мин. Скорость падения взвешенных частиц в воде зависит от их массы и размеров: чем крупнее частицы песка, тем быстрее они оседают. Считается, что через 2 мин после перемешивания в слое воды над песком остаются только частицы мельче 0,05 мм. Их сливают вместе с водой через нижние сливные отверстия сосуда 1. При этом над песком остается слой воды не менее 30 мм.

Затем песок в сосуде снова заливают водой и описанным способом промывают песок до тех пор, пока вода над ним не будет оставаться прозрачной.

Промытую навеску песка выгружают из сосуда в противень, который помещают в сушильный электрошкаф. Пока песок высыхает, приступают к выполнению других задач лабораторной работы, а затем взвешивают высушенную навеску песка.

Результаты испытаний

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц в процентах по массе вычисляют по формуле 2.1.

Результаты испытаний заносят в лабораторный журнал в следующей форме:

ГОСТ _____

Метод _____

Масса навески сухого песка до отмучивания $m =$ _____ г

Масса высушенной навески песка после отмучивания, $m_1 =$ _____ г

Содержание пылевидных и глинистых частиц: $m - m_1$ _____ г

$P_{отм} =$ _____ % по массе

Допустимое содержание пылевидных и глинистых частиц в песке (табл. 10.4)

_____ % для _____ класса.

Заключение

Сделать выводы о пригодности испытанного песка по содержанию пылевидных и глинистых примесей (пригоден или подлежит промывке).

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Органические примеси (гуминовые кислоты, продукты распада растительных веществ, уголь, лигнит, горючие сланцы) могут помешать нормальному схватыванию и твердению цемента, т.е. замедлять твердение цемента и понизить его потенциальную прочность. Их наличие определяют колориметрической (цветовой) пробой (т.е. сравнением окраски щелочного раствора над пробой песка с окраской эталона).

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Цилиндры стеклянные вместимостью 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутренний диаметр 36...40 мм).
3. Натрия гидроксид Na(OH) – 30 %-ный раствор.
4. Танин – 2 %-ный раствор в 1 %-ном этаноле (этиловый спирт – C₂H₅OH).
5. Навеска песка около 250 г в состоянии естественной влажности.

Методика испытаний

Лаборант заранее (за 24 часа до испытаний) в стеклянном цилиндре 3 %-ным раствором гидроксида натрия Na(OH) заливает пробу песка до уровня 200 мл. Чем больше органических примесей в песке, тем темнее окрашивается раствор над песком. Цвет жидкости, отстоявшейся над песком, сравнивают с цветом специально приготовленной эталонной жидкости. Это сравнение следует производить через 24 часа, поэтому студенты в ходе лабораторной работы изучают и *оценивают заранее приготовленные пробы*.

Песок признается пригодным для бетона, если окраска раствора в описанной пробе оказывается бесцветной или светлее *эталонного раствора* (рис. 10.2). В противном случае для определения возможности использования данного песка необходимо специальное исследование его в бетоне или растворе (испытание на прочность на этом песке).

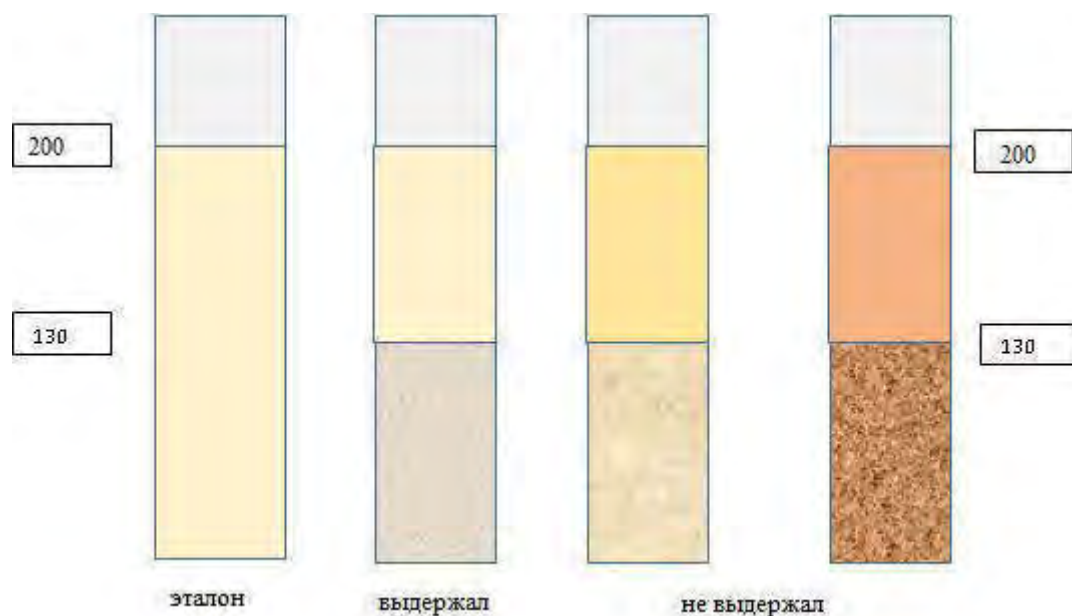


Рис. 10.2. Определение наличия органических примесей в песке

Результаты испытаний

Результаты определения наличия органических примесей заносят в лабораторный журнал по форме:

ГОСТ _____

Метод _____

Уровень песка в стеклянном цилиндре _____ мл Уро-
вень 3% раствора NaOH _____ мл

Состав эталонного раствора _____

Заключение

Сделать выводы по результатам проведённых испытаний

Результаты сравнения окраски жидкости над пробой с окраской (цветом) эталона через 24 часа _____

Вывод (о пригодности песка для бетона) _____

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПЕСКА

Песок, добываемый в карьере, всегда имеет некоторую влажность за счет грунтовых вод и атмосферных осадков. В таком состоянии его доставляют на заводы и стройки. При использовании песка в качестве заполнителя для бетона необходимо знать его влажность, чтобы учесть ее при определении расхода песка и воды в бетоне (при расчете его состава).

Влажность (испаряемая вода) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100 \%, \quad (10.2)$$

где: m - масса навески в состоянии естественной влажности, г;

m_1 - масса навески в сухом состоянии, г;

$m - m_1$ – количество воды, удаляемой сушкой при 105...110 °С, г.

Приборы и материалы

5. Весы лабораторные.
6. Шкаф сушильный.
7. Противень.
8. Песок кварцевый влажный (песок перед лабораторной работой смачивают водой до состояния землистой влажности).

Методика испытаний

Берут навеску влажного песка массой 1000 г, насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы и снова взвешивают.

Результаты испытаний

Результаты испытаний вычисляют по формуле 10.2 и заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса навески песка в состоянии естественной влажности $m =$ ___ г

Масса навески песка после высушивания $m_1 =$ _____ г

Влажность песка $W =$ _____ % по массе

Заключение

Сделать вывод о корректировке количества воды при расчете состава бетона или строительного раствора.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПЕСКА

Зерновой (гранулометрический) состав песка – важнейший показатель его качества, от которого зависит пустотность песка и расход цемента, а, следовательно, и эффективность применения данного песка в бетоне. Этот показатель отражает содержание в песке зерен разной крупности, и для его определения пробу

песка просеивают через набор стандартных сит. Определение зернового состава производят после высушивания пробы песка до постоянной массы, т.к. влажный песок просеивается плохо.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Набор сит с круглыми отверстиями диаметром 10; 5; 2,5 и сетками № 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 (0,14).
3. Шкаф сушильный.
4. Песок кварцевый для испытания.

Методика испытаний

Вначале согласно ГОСТ 8735 определяют возможное содержание в песке более крупных зерен гравия. Для этого пробу высушенного до постоянной массы песка массой 2000 г просеивают через сита с отверстиями диаметром 10 и 5 мм. Остатки на указанных ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм и свыше 10 мм в % по массе по формулам:

$$Gr_{10} = \frac{M_{10}}{M} \times 100 \% \quad (10.3)$$

$$Gr_5 = \frac{M_5}{M} \times 100\%, \quad (10.4)$$

где M_{10} - остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм, г,

M_5 – то же на сите – 5 мм, г,

M – масса пробы, 2000 г.

Затем от пробы песка, прошедшего сквозь сито с отверстиями 5 мм, отбирают навеску массой 1000 г и просеивают ее через набор лабораторных контрольных сит с размерами отверстий последовательно (сверху вниз) 2,5; 1,25; 0,63; 0,315 и 0,16 мм. Под набором сит располагается поддон, в который попадают частицы мельче 0,16 мм (рис. 10.3).

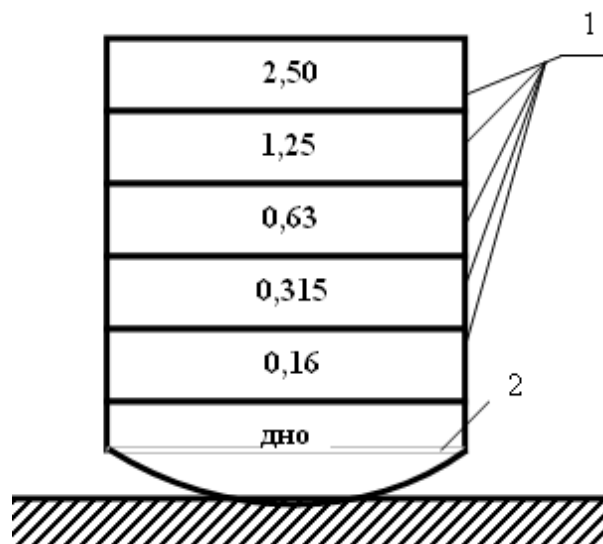


Рис. 10.3 – Набор стандартных сит для определения зернового состава
1 – сита с отверстиями 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм; 2 – поддон

После просеивания, которое считают законченным по признакам, указанным в ГОСТ 8735, остатки песка на каждом сите и поддоне взвешивают. Эти остатки называются *частными* и обозначаются $a_{2,5}$, $a_{1,25}$ и т.д. (индекс обозначает размер отверстий сит). Затем вычисляют *полные остатки* – количество песка (в граммах и в процентах от массы навески), которое осталось бы на данном сите, если бы всю навеску песка просеивали только на нем, без других сит. Естественно, что полный остаток на данном сите можно подсчитать, суммируя частные остатки на этом сите и всех ситах с более крупными отверстиями.

Частный остаток на каждом сите (a_i) в % вычисляют по формуле:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \times 100, \quad (10.5)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г.

Полный остаток на каждом сите (A_i) в % вычисляют по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (10.6)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах.

Например, полный остаток на сите 1,25 мм

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} \quad (10.7)$$

полный остаток на сите 0,63 мм

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} \quad (10.8)$$

Если в результате испытания песка оказывается, что полный остаток на каком-либо сите выходит за пределы, установленные техническими требованиями к

заполнителям (табл. 10.3), это значит, что зерновой состав данного песка *не оптимален*, и его применение может привести к перерасходу цемента и ухудшению качества бетона. Такой песок подлежит обогащению с целью улучшения зернового состава.

Характеристикой зернового состава песка является **модуль крупности**, подсчитываемый по формуле

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (10.9)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ – полные остатки на соответствующих ситах.

Модуль крупности M_K песка, применяемого в качестве мелкого заполнителя для бетона, нормирован (табл. 10.1). По величине модуля крупности и полному остатку на сите с отверстиями размером 0,63 мм *определяют принадлежность испытанного песка* к той или иной *группе по крупности* (табл. 10.1), а также *область его использования* в бетонах определенной прочности.

Результаты испытаний

Вычисляют содержание фракций гравия в песке по формулам 10.3 и 10.4, частные и полные остатки песка на каждом сите по формулам 10.5 и 10.6.

Модуль крупности песка вычисляют по формуле 10.9. и результаты испытаний заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса пробы песка _____ г

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен крупнее 10 мм _____ г, _____ %.

Допускается по ГОСТ _____ г, _____ %.

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен от 5 до 10 мм _____ г, _____ %.

Допускается по ГОСТ _____ г, _____ %.

Вывод о соответствии испытанного песка требованиям стандарта, ограничивающим содержание в песке зерен гравия _____

Масса навески для определения зернового состава песка _____ г.

Результат определения зернового состава песка оформляют в форме таблицы (табл.10.5) или графически в виде кривой просеивания (рис. 10.4).

Зерновой состав песка

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки на ситах		Полные остатки на ситах A_i , %	Требования ТНПА по полным остаткам A_i , % (из табл. 10.3)
	m_i , г	a_i , %		
2,5				
1,25				
0,63				
0,315				
0,16				
Меньше 0,16				
Сумма				

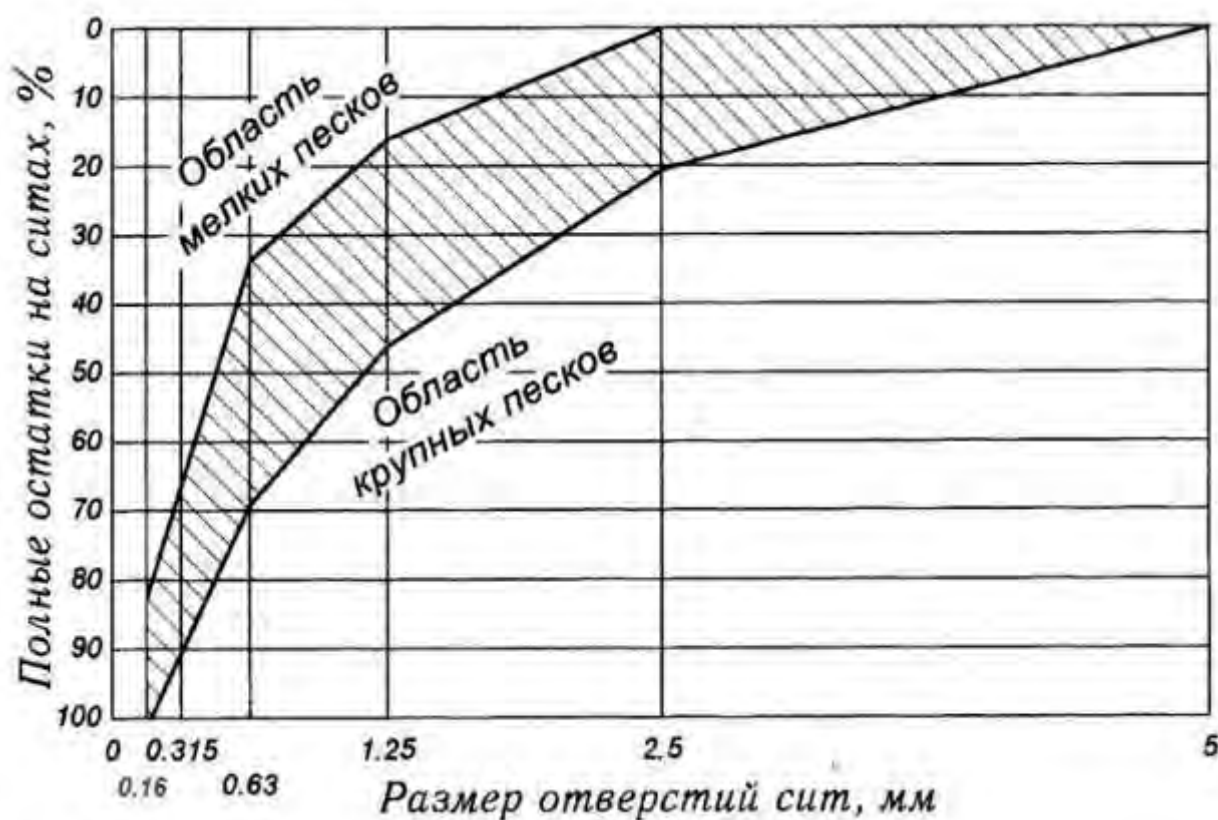


Рис. 10.4. График зернового состава песка

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний

1. Вывод о принадлежности песка к группе по крупности ____
2. Вывод о соответствии песка требованиям к зерновому составу
3. Вывод о пригодности песка для получения бетонов определенной проектной прочности _____

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА В СТАНДАРТНОМ НЕУПЛОТНЕННОМ СОСТОЯНИИ

Насыпной плотностью (ρ_n) называют отношение массы сыпучего порошкообразного материала к занимаемому им объему V , включая пустоты между частицами. Объем в данном случае определяется вместимостью мерного сосуда. Насыпную плотность вычисляют в $\text{кг}/\text{м}^3$, по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (10.10)$$

где m – масса мерного цилиндрического металлического сосуда, кг;

m_1 – масса мерного цилиндрического сосуда с песком, кг;

V – вместимость сосуда, м^3 .

Насыпная плотность песка является важной его характеристикой, зависящей от зернового состава. *Пески, соответствующие требованиям стандарта по зерновому составу, как правило, тяжелее песков, не соответствующих этим требованиям.* Чем больше насыпная плотность, тем больше песка вмещается в заданный объем, следовательно, тем меньше объем пустот между частицами песка, а значит, меньше цемента потребуется для заполнения этих пустот в бетоне.

При определении насыпной плотности песка следует знать, что она зависит и от его влажности (рис.10.5). Чтобы увидеть и понять эту зависимость, следует определить насыпную плотность как сухого, так и влажного песка.

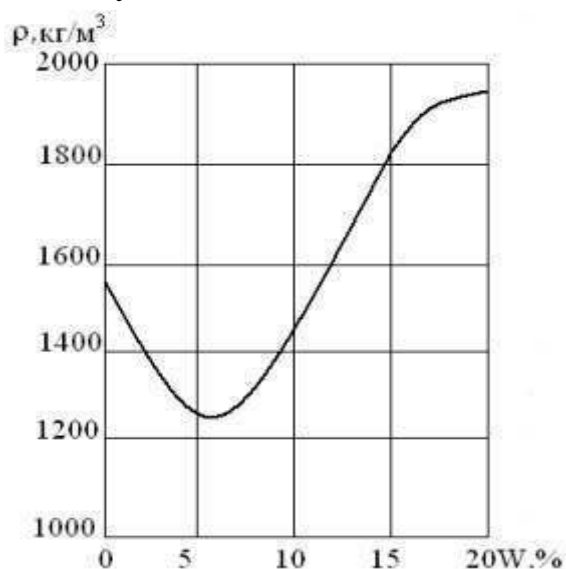


Рис. 10.5. Зависимость насыпной плотности песка от его влажности

Насыпная плотность плотных заполнителей не менее $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, в среднем $1500 \dots 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Сосуды мерные цилиндрические металлические вместимостью 1 л.
3. Шкаф сушильный.
4. Линейка металлическая.
5. Сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.
6. Песок сухой и влажный кварцевый.

Методика испытаний

Насыпную плотность песка определяют в стандартном неуплотненном состоянии, засыпая песок с высоты 10 см от верхнего края в предварительно взвешенный стандартный мерный сосуд. Сначала песок насыпают с избытком, до образования над верхом сосуда конуса, потом избыток срезают металлической линейкой вровень с краями сосуда, причем сосуд при этом должен стоять неподвижно во избежание уплотнения песка. После этого сосуд с песком взвешивают. Определение насыпной плотности производят 2 раза.

Результаты испытаний

Вычисляют насыпную плотность песка по формуле 10.10. с погрешностью не более 10 кг/м³ и результаты заносят в табл. 10.6.

Таблица 10.6.

Насыпная плотность кварцевого песка

Определение	Песок сухой		Песок влажный $W = __\% (из\ задания\ 3)$	
	1	2	1	2
Вместимость мерного сосуда V , м ³				
Масса сосуда m , кг				
Масса сосуда с песком m_1 , кг				
Масса песка, кг				
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³				
Среднее арифметическое значение ρ_n .				

Заключение

Сравнить насыпную плотность сухого и влажного песка, объяснить полученные результаты, какая необходима корректировка состава бетона при дозировании по объему.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА (ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ПЕСКА) И ПУСТОТНОСТИ

Истинная плотность песков (плотность зерен) зависит от их пористости и минералогического состава и обычно находится в пределах 2,0...2,8 г/см³. Ускоренный метод определения истинной плотности песка предусматривает использование прибора Ле-Шателье (ГОСТ 8735 п.8.2) (рис.10.6). Последний представляет собой специальную колбу с рисками, между которыми заключён определённый объём.

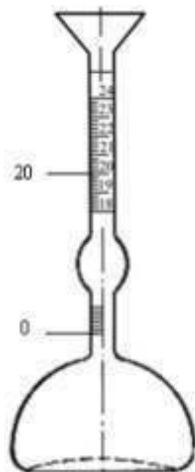


Рис. 10.6. Прибор Ле-Шателье

Истинную плотность (плотность зерен песка), г/см³ вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \quad (10.11)$$

где m – масса взятой для испытания навески песка, г;

m_1 – масса остатка песка после испытания, г;

V – объем воды, вытесненной песком, т.е. высушенных зерен песка, см³ (мл)

Пустотность песка, или объем межзерновых пустот $V_{пуст}$ в процентах можно рассчитать, зная его насыпную плотность ρ_n , кг/м³ и истинную плотность песка ρ , кг/м³, т.е. воспользовавшись данными из задания 5 (для сухого песка):

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right) \times 100 \% \quad (10.12)$$

Как указывалось выше, чем меньше пустотность песка, тем меньший требуется расход цемента для получения бетона плотной структуры. Непосредственно пустотность песка государственными стандартами не регламентируется, косвенно она учитывается и минимизируется требованиями к зерновому составу.

Приборы и материалы

1. Прибор Ле-Шателье.
2. Весы настольные.
3. Шкаф сушильный.
4. Песок кварцевый.
5. Сито с круглыми отверстиями диаметром 5 мм.
6. Стаканчик для взвешивания.

Методика испытаний

Прибор Ле-Шателье заполняют водой до нижней риски, причем уровень воды определяют по нижнему мениску, затем медленно всыпают песок из предварительно взвешенной навески и массой 100 г до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до верхней риски. Определяют массу оставшегося песка. Массу песка в приборе определяют как разницу массы первоначальной навески и массы остатка.

Результаты испытаний

Истинную плотность песка вычисляют по формуле 10.11 и результаты заносят в журнал по форме:

Масса навески сухого песка $m =$ _____ г

Масса остатка песка $m_1 =$ _____ г

Израсходовано песка _____ г

Объем воды, вытесненной песком $V =$ _____ см³

Истинная плотность песка _____ г/см³, _____ кг/м³

Заключение

Сопоставить насыпную плотность с истинной плотностью кварцевого песка (плотностью зерен).

Задание 7. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ ПЕСКА

Заключение о соответствии результатов испытания песка требованиям стандартов и его пригодности к применению в качестве мелкого заполнителя для бетона принимается по совокупности всех предусмотренных показателей. Если по какому-либо из показателей качества песок не соответствует требованиям стандартов, принимается решение о его промывке, сортировке, обогащении, а также о проведении дополнительных специальных исследований.

10.3 Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Что такое частные и полные остатки на ситах?
2. Какие остатки (частные или полные) нормируются стандартами?
3. Как рассчитывают модуль крупности песка?
4. Насыпная плотность какого песка больше: удовлетворяющего требованиям стандарта по зерновому составу или не удовлетворяющего? Почему?
5. Насыпная плотность какого песка больше: сухого или влажного? Почему?
6. Какие виды вредных примесей определяют в песке?
7. Почему вредно содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
8. Как определяется содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
9. Почему вредно чрезмерное наличие в песке органических примесей и как оно оценивается?
10. В какой цвет окрашивается водный раствор едкого натра при взаимодействии с песком? Как зависит окраска раствора от содержания в песке органических примесей?
11. На чем основан метод определения органических примесей в песке?
12. Как рассчитать пустотность песка и какое она имеет значение?
13. Какой минерал преобладает в песке? Каковы его основные свойства?
14. Каковы форма зерен песка и характер поверхности? Какое это имеет значение при использовании песка в бетоне?
15. Как определить истинную плотность (плотность зерен) песка?

10.4 Литература и нормативные ссылки

1. Чумаков, Л. Д. Технология заполнителей бетона : учебное пособие / Л. Д. Чумаков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2011. – 261 с.
2. ГОСТ 8736. Песок для строительных работ. Технические условия.
3. ГОСТ 8735. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
4. СТБ 1544. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
5. ГОСТ 24100. Сырье для производства песка, гравия и щебня из гравия и методы испытания.

Лабораторная работа № 11

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА

Цель работы

1. Практически ознакомиться со свойствами широко применяемых в строительстве природных плотных и искусственных пористых заполнителей и с их структурными особенностями.
2. Приобрести навыки проведения стандартных лабораторных испытаний, выяснение их сущности и значения.
3. Сравнить требования стандартов к качеству крупных заполнителей и эффективность их применения в бетонах.

11.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие заполнители называют крупными?
2. Какая роль крупных заполнителей в бетонах?
3. Какие фракции крупного заполнителя предусмотрены стандартами?
4. Какие виды крупных природных и искусственных заполнителей применяют в бетоне?
5. Чем различаются гравий и щебень?
6. Из каких горных пород и как получают плотный гравий?
7. Из каких горных пород и как получают щебень для тяжелого бетона?
8. Какие заполнители применяют для изготовления легких бетонов?
9. Из какого сырья и как получают керамзит?
10. Что является сырьем для получения аглопорита и как его получают?
11. Как определяется насыпная плотность крупных заполнителей?
12. Почему в бетоне применяют крупные заполнители разных фракций?
13. Какие требования предъявляются к крупному заполнителю?
14. Как влияет вид и качество крупного заполнителя на прочность бетона и его морозостойкость?

11.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение насыпной плотности крупных заполнителей.

Задание 2. Определение плотности зерен заполнителей.

Задание 3. Расчет и сравнительный анализ структурных характеристик заполнителей.

Задание 4. Определение дробимости природного гравия и гранитного щебня.

Задание 5. Определение прочности пористых заполнителей.

Задание 6. Общее заключение о качестве заполнителей и области их рационального использования в бетонах.

Общие сведения о крупных заполнителях

Значение крупных заполнителей для бетона и асфальтобетона

Крупными называются заполнители, размеры зерен которых превышают 5 мм. Верхний предел крупности заполнителей ограничивается условиями применения бетона. Он не должен превышать $\frac{3}{4}$ расстояния между стержнями арматуры в железобетонной конструкции, $\frac{1}{4}$ наименьшего размера сечения балочных элементов или $\frac{1}{2}$ толщины плитных элементов. При этом понятие "балочных" и "плитных" элементов относится не к назначению конструкций, а к их положению при бетонировании. Если плита толщиной 80 мм бетонируется в горизонтальном положении, то максимальная крупность заполнителя d_g может быть определена как половина толщины, т.е. 40 мм. Если же в заводских условиях подобные плиты бетонируют в вертикальных кассетных формах, то наибольшая крупность заполнителя определяется по правилу для балочных элементов как четверть толщины, т.е. 20 мм. Таким образом, для одной и той же конструкции крупность заполнителя может быть различной в зависимости от технологии бетонирования.

Заполнитель какой крупности выгоднее применить в бетоне: 5...20 или 5...40 мм? Очевидно, 5...40 мм. Во-первых, он, как правило, дешевле (например, если это щебень, получаемый при дроблении каменных пород). Во-вторых, чем больше диапазон крупности частиц, тем меньше межзерновая пустотность заполнителя, а следовательно, тем больший объем он займет в бетоне. Если больший объем занимают заполнители, меньше потребуется цемента.

Обычно стремятся в наибольшей степени наполнить бетонную смесь крупным заполнителем, который в бетоне плотной структуры может занимать до 60 % объема. Помимо экономического эффекта от снижения расхода цемента наполнение бетонной смеси крупным заполнителем ведет к повышению прочности бетона (за счет армирующего эффекта заполнителя), уменьшению деформаций усадки и ползучести, уменьшению термических напряжений от экзотермии (в массивных конструкциях).

Особое значение крупные заполнители имеют при получении легких бетонов. Снижение собственной массы конструкций, уменьшение теплопроводности и другие преимущества легких бетонов связаны прежде всего с применением легких пористых заполнителей. Именно поэтому название крупного заполнителя положено в основу названий разных видов легкого бетона: керамзитобетон, аглопоритобетон и др.

Виды крупных заполнителей

По *насыпной плотности* ρ_n крупные заполнители подразделяются на *тяжелые* (свыше 1200 кг/м³) и *легкие* (до 1200 кг/м³), по *структуре* – на *плотные* и *пористые*. К пористым заполнителям относятся такие, пористость которых не менее 10%.

На тяжелых заполнителях получают в основном плотные тяжелые бетоны, на легких – легкие. Исключение составляет крупнопористый легкий бетон, который можно получить как на легких, так и на тяжелых заполнителях.

По форме зерен крупного заполнителя различают гравий и щебень.

Гравий состоит из несцементированных зерен крупностью свыше 5 мм окатанной, округлой формы.

Щебень обычный, для строительных работ – из зерен угловатой острогранной формы, получаемый дроблением горных пород.

Щебень кубовидный – это материал с зернами, имеющими околотую поверхность в форме призмы или многогранника, толщина и ширина которых меньше длины не более, чем в 2 раза (СТБ 1311). В отличие от щебня для строительных работ (ГОСТ 8267) щебень кубовидный выпускают в виде следующих основных фракций, мм (по ситам с круглыми отверстиями) от 2,0 до 4,0; от 4,0 до 6,3; от 6,3 до 10; от 10 до 14,0.

Кубовидный щебень применяется в качестве заполнителей для тяжёлого бетона, в дорожном строительстве и других видов строительных работ.

По своей природе материалы, используемые в качестве крупных заполнителей, могут быть природными плотными или искусственными пористыми.

К *природным* относится гравий, получаемый сортировкой природных песчано-гравийных смесей (ПГС), и щебень, получаемый дроблением горных пород.

К *искусственным* относятся заполнители, получаемые вспучиванием, спеканием при обжиге или при другой специальной переработке природного сырья или промышленных отходов.

Краткие сведения о технологии производства крупных заполнителей

В данной лабораторной работе подлежат исследованию четыре вида крупных заполнителей: гравий природный и щебень гранитный, гравий керамзитовый и щебень аглопоритовый.

Первые два вида относятся к природным тяжёлым крупным заполнителям, два других – к искусственным лёгким пористым.

Природный гравий – неорганический зернистый сыпучий материал, получаемый рассевом природных песчано-гравийных смесей, относящийся к обломочным

осадочным горным породам. После геологической разведки месторождений производят разработку карьера, затем добытую смесь подвергают рассеву по крупности зерен на промышленных ситах (грохотах) для отделения песка и разделения гравия на предусмотренные стандартом фракции. Гравий промывают водой в случае чрезмерной засоренности пылевидными или глинистыми примесями.

Щебень получают дроблением различных горных пород (кварцита, мрамора, диорита, диабазы, гранита, карбонатных пород – известняка, доломита) или крупных фракций гравия и валунов в дробилках с последующим севом на требуемые фракции.

Гравий керамзитовый – легкий гранулированный материал с пористой структурой, получаемый обжигом ($t \sim 1200^\circ\text{C}$) глинистого сырья до их вспучивания во вращающейся печи. Глина вспучивается в пиропластическом (размягченном от воздействия высокой температуры) состоянии, когда некоторые вещества в ее составе разлагаются с выделением газообразных продуктов. Сырьевые гранулы (комочки) при вспучивании увеличиваются в объеме и округляются, поэтому керамзит получается, в основном, в виде гравия. Хорошо вспучивающиеся глины, пригодные для производства керамзита, встречаются нечасто, поэтому повышение вспучиваемости сырья возможно введением специальных добавок.

Щебень аглопоритовый (пористый заполнитель) получают спеканием тощих (малопластичных) невспучивающихся глинистых пород с добавкой до 10 % дробленного каменного угля. Спекание (агломерацию) производят на решетчатом конвейере агломерационной машины после зажигания слоя шихты при прососе через него воздуха. Вместо глинистых пород часто используют в качестве сырья отходы углеобогащения или золы тепловых электростанций, содержащие в своем составе достаточное для *агломерации* количество топлива. После спекания слоя шихты образующийся корж охлаждают и дробят, получая щебень и аглопоритовый песок.

Требования к крупным заполнителям для бетона

Крупный заполнитель поставляют потребителям, складывают и используют в виде отдельных фракций по крупности зерен: 5(3)...10, 10...20, 20...40 мм и др. Допускается по ГОСТ 8267 поставка заполнителей в виде смеси двух смежных фракций, например, 5(3)...20 мм.

Так как при выполнении лабораторной работы № 10 «Мелкий заполнитель для бетонов и строительных растворов» определению зернового состава заполнителя уделено достаточно внимания, то в ходе данной лабораторной работы аналогичные вопросы не рассматриваются. По той же причине не будет оцениваться ка-

чество заполнителей по содержанию пылевидных и глинистых, а также органических примесей. Есть и другие требования стандартов, которые в данной лабораторной работе не рассматриваются, т.к. главная её цель будет сравнительная оценка плотности, структурных особенностей и прочности четырех видов заполнителей для тяжелых и легких бетонов.

Марка по дробимости – это косвенная характеристика средней прочности зерен гравия (щебня), определяемая путем сжатия (раздавливания) пробы гравия стандартной нагрузкой в стандартном цилиндре по методике, предусмотренной ГОСТ 8269.0.

Природный гравий по прочности (дробимости) его зерен, согласно ГОСТ 8267, подразделяется на *марки* (табл. 11.1).

Таблица 11.1.

Марки природного гравия по дробимости

Марка гравия по дробимости	Потеря массы при испытании гравия <i>Др</i> , %	Ориентировочные значения прочности при сжатии пород, слагающих зерна гравия, МПа
1000	До 8 включ.	Св. 100
800	Св. 8 до 12	Св. 80 до 100
600	Св. 12 до 16	Св. 60 до 80
400	Св. 16 до 24	Св. 40 до 60

Согласно СТБ 1544 гравий марки 600 может использоваться в тяжелых бетонах класса С16/20 и ниже; гравий марки 800 – в бетонах класса С 20/25; гравий марки 1000 – в бетонах класса С 25/30 и выше.

Щебень из плотных горных пород, согласно ГОСТ 8267, так же подразделяется на марки по дробимости при сжатии (раздавливании в цилиндре). Применительно к щебню из гранитных пород требования ГОСТ 8267 приведены в табл. 11.2.

Непосредственное испытание выпиленных из горной породы образцов производится при геологической разведке и в отдельных случаях при необходимости, а обычно прочность щебня, как и гравия, оценивается испытанием на дробимость по ГОСТ 8269 п.4.8. в табл. 3.2.

Таблица 11.2.

Марки гранитного щебня

Марка щебня по дробимости	Потеря массы при испытании <i>Др</i> , %	Предел прочности при сжатии исходной горной породы, МПа
1400	До 12 включ.	Св. 140
1200	Св. 12 до 16	Св. 120 до 140
1000	Св. 16 до 20	Св. 100 до 120
800	Св. 20 до 25	Св. 80 до 100
600	Св. 25 до 34	Св. 60 до 80

Согласно ГОСТ 8267 щебень из изверженных пород марок 800 и выше может применяться в качестве крупного заполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций, причем для бетонов класса С25/30 и выше марка щебня должна быть выше марки бетона не менее чем в 2 раза.

Фракции кубовидного щебня должны иметь марку по прочности от 1000 до 1400. Содержание зерен кубовидной формы должно быть не менее 65 % для I сорта и не менее 50 % для II сорта.

Гравий керамзитовый, керамзит щебнеподобный и другие пористые заполнители в отличие от плотных маркируются по прочности (сдавливание в цилиндре), и по насыпной плотности, поскольку они предназначены для получения легких бетонов. Легкость – их главное достоинство. Но прочность пористых заполнителей тоже важна, поэтому, согласно стандарту, каждой марке по насыпной плотности должна соответствовать определенная прочность. Требования СТБ 1217 к керамзитовому гравия и керамзиту щебнеподобному приведены в табл. 11.3.

Прочность пористых заполнителей оценивается косвенно по сдавливанию в цилиндре, согласно ГОСТ 9758.

Щебень аглопоритовый по СТБ 1217 так же подразделяется на марки по насыпной плотности и прочности, и каждой марке по насыпной плотности должна соответствовать прочность на сдавливание в цилиндре по методике ГОСТ 9758 не менее установленного минимума (табл. 11.4).

Таблица 11.3.

Марки и требования к прочности керамзита

Марка		Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	
по насыпной плотности	по прочности		керамзитового гравия	керамзита щебнеподобного
200	П15	До 200 включ.	До 0,5 включ.	-
250	П25	Св. 200 до 250	Св. 0,5 до 0,7	-
300	П35	Св. 250 до 300	Св. 0,7 до 1,0	-
350	П50	Св. 300 до 350	Св. 1,0 до 1,5	-
400	П50	Св. 350 до 400	Св. 1,0 до 1,5	-
450	П75	Св. 400 до 450	Св. 1,5 до 2,0	Св. 1,5 до 2,0
500	П100	Св. 450 до 500	Св. 2,0 до 2,5	Св. 2,0 до 2,5
550	П100	Св. 500 до 550	Св. 2,0 до 2,5	Св. 2,0 до 2,5
600	П125	Св. 550 до 600	Св. 2,5 до 3,3	Св. 2,5 до 3,0
700	П150	Св. 600 до 700	Св. 3,3 до 4,5	Св. 3,3 до 4,5
800	П200	Св. 700 до 800	Св. 4,5 до 5,5	Св. 4,5 до 5,5

Марки и требования к прочности аглопоритового щебня

Марка		Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сдвливании в цилиндре, МПа
по насыпной плотности	по прочности		
400	П35	Св. 350 до 400 вкл.	Св. 0,4 до 0,5 вкл.
450	П50	Св. 400 до 450	Св. 0,5 до 0,6
500	П50	Св. 450 до 500	Св. 0,5 до 0,6
550	П75	Св. 500 до 550	Св. 0,6 до 0,7
600	П75	Св. 550 до 600	Св. 0,6 до 0,7
700	П100	Св. 600 до 700	Св. 0,7 до 0,8
800	П150	Св. 700 до 800	Св. 0,8 до 0,9
900	П250	Св. 800 до 900	Св. 0,9 до 1,0

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ КРУПНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Насыпной плотностью заполнителя называется отношение его массы ко всему занимаемому объему, включая межзерновую пустотность.

Насыпная плотность является важной характеристикой заполнителей, особенно пористых, основная маркировка которых производится по этому показателю. Знание насыпной плотности необходимо для расчета массовой доли заполнителя, если известен его объем. При определении вместимости складских помещений, бункеров, исходя из требуемой массы заполнителя, при расчете состава бетона, дозировании заполнителей также необходимо знать эту характеристику.

Насыпную плотность определяют путем определения с помощью мерного сосуда, путем определения массы заполнителя данной фракции, высушенного до постоянной массы.

Следует иметь в виду, что результат определения насыпной плотности заполнителя зависит от вместимости и формы мерного сосуда, от соотношения размеров сосуда и зерен заполнителя. При данной крупности зерен, чем меньше размеры сосуда, тем относительно меньшей будет степень заполнения его объема зернистым материалом. Поэтому действующие нормы предусматривают использование стандартных мерных цилиндрических сосудов различной вместимости для заполнителей разной крупности.

При определении насыпной плотности *природного гравия или щебня* с наибольшей **крупностью зерен 10 мм** ГОСТ 8269.0 предусматривает использование мерного сосуда вместимостью **5 л**, с наибольшей крупностью **20 мм – 10 л**, **40 мм – 20 л**. Для *пористых заполнителей* крупностью до **10 мм** согласно ГОСТ 9758 вместимость сосуда – **2 л**, **20 мм – 5 л**, **40 мм – 10 л**. Во всех случаях мерные цилиндры имеют высоту, равную диаметру.

Приборы и материалы

1. Весы настольные циферблатные.
2. Шкаф сушильный.
3. Крупный заполнитель: щебень из горных пород (гранитный) и аглопоритовый, гравий природный и керамзитовый.
4. Цилиндры мерные вместимостью 5, 10, 20, 50 л.

Методика испытаний

Насыпную плотность определяют следующим образом. Высушенный до постоянной массы заполнитель насыпают с высоты 10 см в предварительно взвешенный мерный цилиндр до образования над верхом сосуда конуса. Затем, не сдвигая цилиндр (во избежание уплотнения заполнителя), стальной линейкой движением к себе и от себя или от середины влево и вправо срезают конус и определяют массу цилиндра с заполнителем.

Насыпную плотность заполнителя в кг/м³ вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (11.1)$$

где: m – масса мерного цилиндра, г(кг);

m_1 – масса мерного цилиндра с заполнителем, г(кг);

V – вместимость мерного цилиндра, л (м³).

Насыпную плотность определяют два раза, при этом берут каждый раз новую порцию заполнителя. За результат принимают среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний

Результаты испытаний крупных заполнителей заносят в табл. 11.5. Для керамзитового гравия и аглопоритового щебня устанавливают их марки по плотности, используя табл. 11.3 и 11.4.

Результаты определения насыпной плотности крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Фракция, мм				
Вместимость мерного цилиндра V , л				
Масса мерного цилиндра m , кг				
Масса мерного цилиндра с заполнителем m_1 , кг				
Насыпная плотность заполнителя ρ_n , кг/м ³				
Марка по насыпной плотности (для пористых заполнителей)	–	–		

Заключение

Сравнить насыпную плотность испытанных заполнителей. Объяснить почему насыпная плотность гравия больше насыпной плотности щебня, почему природные заполнители тяжелее искусственных.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Средняя плотность зерен заполнителя представляет собой отношение массы пробы сухого щебня или гравия к суммарному объему его зерен.

Среднюю плотность зерен заполнителя определяют методом гидростатического взвешивания.

Метод гидростатического взвешивания основан на использовании закона Архимеда: на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная массе, вытесненной им жидкости. Чтобы определить выталкивающую силу, определяют массу зерен на воздухе m_1 и в жидкости m_2 ; разность этих масс дает значение выталкивающего усилия. Зная плотность жидкости, по выталкивающему усилию можно вычислить объем, вытесненной образцом жидкости, т.е. объем зерен заполнителя. Так как плотность воды равна 1 г/см³, при определении массы зерен в воде (Γ) значение выталкивающей силы численно равно значению объема зерен (см³).

Так как взвешивание в воде сопряжено с возможностью ее проникания в поры зерен заполнителя, последний заранее насыщают водой в течение не менее 2-х часов.

Среднюю плотность зерен заполнителя в г/см³ или кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_3 = \frac{m \times \rho_B}{m_1 - m_2}, \quad (11.2)$$

где: m – масса пробы заполнителя в сухом состоянии, г (кг)

m_1 – масса пробы заполнителя в водонасыщенном состоянии (результат взвешивания на воздухе, г (кг));

m_2 – результат взвешивания той же пробы в воде, т.е. масса гирь, уравновешивающих массу зерен в воде г (кг);

ρ_B – плотность воды, принимая равной 1 г/см³ (1000 кг/м³).

Объем зерен заполнителя:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_B}. \quad (11.3)$$

Средняя плотность зерен плотных заполнителей составляет от 2,0 до 3,0 г/см³.

Приборы и материалы

1. Весы настольные циферблатные.
2. Весы с приспособлением для гидростатического взвешивания.
3. Шкаф сушильный.
4. Сосуд для насыщения заполнителя.
5. Сита из стандартного набора.
6. Щетка металлическая.

Методика испытаний

Пробы крупного заполнителя массой в 1000 г высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу.

Затем пробы заполнителей насыщают водой, опуская их в воду комнатной температуры на 2 ч для того, чтобы в процессе гидростатического взвешивания исключить проникание воды в поры заполнителей. Поскольку этот процесс длительный, для ускорения лабораторной работы студентам предлагаются *заранее приготовленные пробы заполнителей*, со значением массы в сухом состоянии и затем насыщенные водой. Насыщенные водой заполнители вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью, определяют массу на технических, а затем на гидростатических весах (рис. 11.1), помещая заполнители в сетчатый (перфорированный) стакан, погруженный в воду, и определяют массу гирь, уравновешивающих зерна в воде. При гидростатическом взвешивании пористых заполнителей, если они даже и в насыщенном водой состоянии легче воды, может случиться, что результат определения массы m_2 (масса пробы в воде) окажется отрица-

тельным, наполнитель потянет рычаг весов не вниз, а вверх. В этом случае в расчетную формулу следует подставить m_2 со знаком минус, т.е. сложить абсолютные значения m_1 и m_2 .

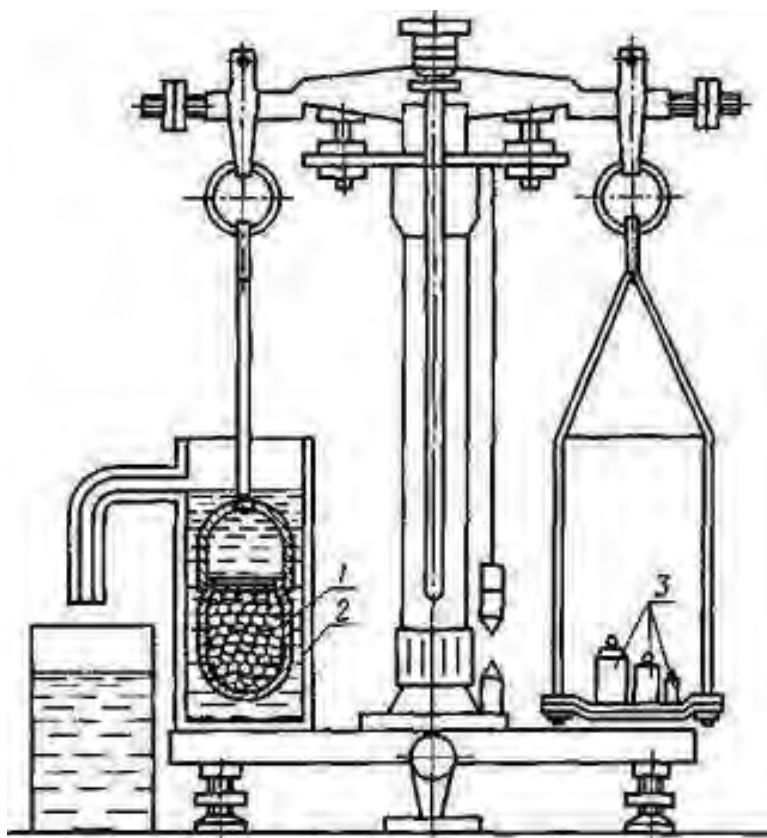


Рис. 11.1. Гидростатические весы: 1 – перфорированный стакан; 2 – крюк; 3 – коромысло; 4 – тяги; 5 – стаканчик с дробью; 6 – разновесы

Результаты испытаний

Плотность зерен наполнителя вычисляют по формуле 11.2 и заносят в табл. 11.6.

Таблица 11.6.

Результаты определения плотности зерен наполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Масса пробы сухого наполнителя m , г				
То же, насыщенного водой m_1 , г				
Результат гидростатического взвешивания m_2 , г				
Суммарный объем зерен пробы наполнителя $(m_1 - m_2) / \rho_v$, см ³				
Средняя плотность зерен наполнителя в сухом состоянии, ρ_3 г/см ³				
То же, кг/м ³				

Заключение

Сравнить численные значения средней плотности зерен испытанных заполнителей и дать объяснение.

Задание 3. РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Зная насыпную плотность ρ_n и среднюю плотность зерен ρ_3 (кг/м³), можно для каждого из испытанных заполнителей рассчитать межзерновую **пустотность** по формуле:

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_3} \right) \times 100\% \quad (11.3)$$

Далее следует сравнить пустотность гравия и щебня. Как правило, **пустотность щебня больше**, и это связано с формой его зерен. Взаимная укладка угловатых зерен щебня оказывается менее компактной, чем округлых зерен гравия.

Повышенная пустотность щебня – фактор негативный: при прочих равных условиях он приведен к необходимости повышенного расхода цемента для получения плотного бетона. Но с другой стороны, преимущество щебня перед гравием состоит в лучшем сцеплении с ним цементного камня, а это решающий фактор при получении высококачественных бетонов.

Затем проанализируем свойства зерен испытываемых заполнителей. Данные из задания № 2 можно использовать для оценки водопоглощения заполнителей за время их пребывания в воде.

Водопоглощение по массе:

$$B_M = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100, \% \quad (11.4)$$

Водопоглощение по объему:

$$B_V = \frac{m_1 - m}{V \cdot \rho_B} \cdot 100, \% \quad (11.5)$$

или

$$B_V = B_M \times \frac{\rho_3}{\rho_B} \quad (11.5)$$

где: обозначения величин приведены в задании 2.

Пористые заполнители – керамзитовый гравий и аглопоритовый щебень, естественно, имеют гораздо большее водопоглощение, чем природный гравий и гранитный щебень из плотных горных пород, т.к. последние – материалы весьма плотные. При приготовлении легкобетонных смесей это следует учитывать при дозировании воды и при выборе технологических приемов. В частности, бетонные

смеси на пористых заполнителях после приготовления должны быть как можно быстрее уложены, в противном случае водопоглощение заполнителей приведет к ухудшению удобоукладываемости бетонных смесей, и, как следствие, к снижению прочности бетонов.

Пористость зерен заполнителей в процентах определяется расчётным путём по формуле:

$$П_з = \left(1 - \frac{\rho_з}{\rho_{и}} \right) \times 100 \quad (11.6)$$

где $\rho_з$ – средняя плотность зерен заполнителей, кг/м³

$\rho_{и}$ – истинная плотность зерен заполнителей, кг/м³

Определение плотности вещества (истинной плотности) производится после истирания материала в тонкий порошок с последующим определением объема жидкости, вытесняемой навеской порошка. Поскольку студенты уже ознакомились с этой методикой в ходе других лабораторных работ, здесь можно принять значения $\rho_{и}$, сообщаемые преподавателем.

Рассчитав пористость зерен заполнителей, следует сравнить полученные результаты и оценить эффективность технологии производства пористых заполнителей, в частности керамзитового гравия. Чем больше пористость заполнителя, тем меньше его материалоемкость, меньше энергоёмкость производства, ниже себестоимость, а с другой стороны, выше эффективность применения в легких бетонах, так как бетоны получаются более легкими, теплопроводность их меньше.

Дальнейший анализ экспериментальных данных позволяет оценить пористость зерен заполнителей качественно.

Коэффициент насыщения пор K_H показывает, какая часть общей пористости зерен заполнителя открыта и в данных условиях доступна заполнению водой.

$$K_H = \frac{B_v}{П_з} \quad (11.7)$$

Очевидно, что с точки зрения эксплуатационных свойств легких бетонов предпочтительна закрытая пористость заполнителя.

Результаты испытаний

Результаты определения структурных и гидрофизических характеристик заносят в табл. 11.7.

Структурные и гидрофизические характеристики заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий ке-рамзитовый	Щебень аг-лопоритовый
Насыпная плотность ρ_n , кг/ м ³ (из задания 1)				
Средняя плотность зерен ρ_z , кг/м ³ (из задания 3)				
Пустотность (межзерновая пустотность) $V_{пуст}$, %				
Масса пробы заполнителя в сухом состоянии m , г (из задания 2)				
То же, в водонасыщенном состоянии m_1 , г				
Водопоглощение по массе V_M , %				
То же по объему V_V , %				
Плотность вещества (истинная плотность) $\rho_{и}$, кг/м ³				
Пористость зерен P_z , %				
Коэффициент насыщения пор водой K_H .				

Заключение

Сравнить полученные характеристики (пустотность гравия и щебня, водопоглощение, пористость зерен плотных и пористых заполнителей и др.), сделать вывод.

Задание 4. ОПРЕДЕЛИТЬ ДРОБИМОСТЬ ПРИРОДНОГО ГРАВИЯ И ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ

Дробимость является косвенной характеристикой средней прочности крупных заполнителей. Прочность заполнителя характеризуется маркой, определяемой по дробимости заполнителей (по степени разрушения зерен), при сдавливании (сжатии) в стандартном цилиндре. Марка заполнителя по дробимости соответствует допустимой величине потери массы при просеивании на контрольном сите.

Дробимость (показатель дробимости) в процентах вычисляют по формуле:

$$D_p = \frac{m - m_1}{m} \times 100, \quad (11.8)$$

где m – масса пробы заполнителя, г;

m_1 – масса остатка на контрольном сите после отсеивания раздробленных в цилиндре частиц заполнителей, г.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН (50 тс).
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером (рис. 11.2, а).
3. Весы настольные лабораторные.
4. Сита из стандартного набора.
5. Шкаф сушильный.
6. Сосуд для насыщения щебня (гравия) водой.
7. Пробы заполнителей (гравий природный, щебень гранитный).

Методика испытаний

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракции 5...10 мм, 10...20 мм, 20...40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей (D) и наименьшей (d) крупности испытываемой фракции.

Пробы для испытания и сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 ч.

В стальной цилиндр с внутренним диаметром и высотой 150 мм с высоты 50 мм засыпают пробу заполнителя так, чтобы верхний его уровень примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер (пуансон) (рис.11.2, б) и на гидравлическом прессе передают на заполнитель через плунжер (пуансон) сжимающее усилие 200 кН (20 тс). Скорость возрастания усилия нажатия пресса должна составлять 1...2 кН в секунду.

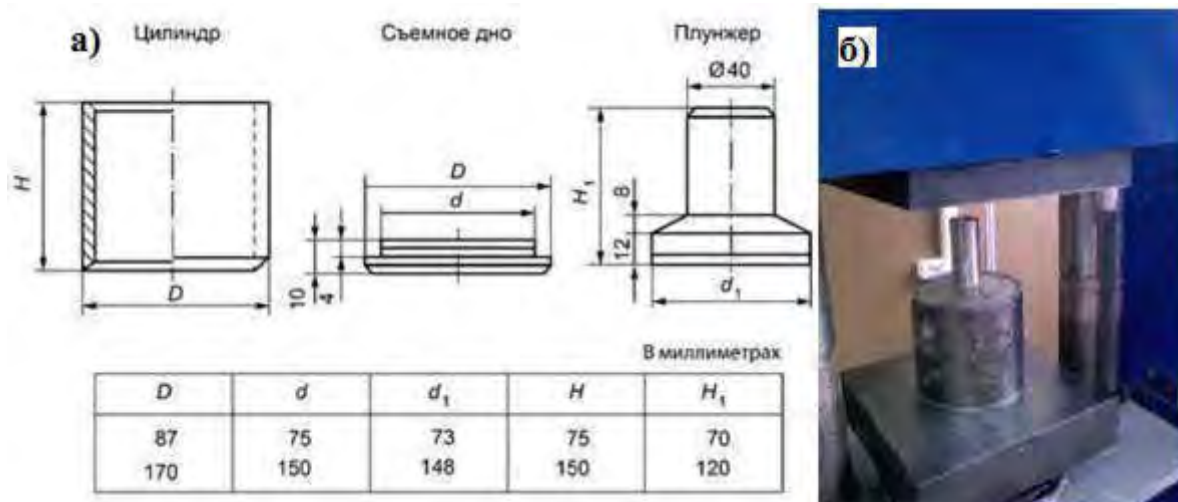


Рис.11.2. Цилиндры стальные (а), испытание заполнителя (б)

После сжатия пробы заполнителя указанным усилием пресс выключают, пробу высыпают из цилиндра в предварительно взвешенный сосуд и взвешивают. Затем ее просеивают через сито с размером отверстий, в четыре раза меньшим, чем наименьший номинальный размер испытываемой фракции заполнителя. Для фракции 10...20 мм предусмотрено сито с размером отверстий 2,5 мм.

После просеивания определяют массу остатка заполнителя на сите.

Дробимость D_p , % вычисляют с точностью до 1 % по формуле 11.8.

По данным табл. 11.1 устанавливают марку гравия по дробимости и ориентировочную прочность горных пород, слагающих его зерна, по данным табл. 11.2 – марку щебня по прочности.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 11.8.

Таблица 11.8.

Результаты испытаний на дробимость крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный
Фракция, мм		
Размер отверстий контрольного сита, мм		
Усилие на плунжер, кН		
Масса пробы, г		
Масса остатка на контрольном сите m_1 , г		
Масса отсеянных зерен, $m - m_1$, г		
Дробимость, D_p %		
Марка заполнителя		
Соответствующая марке прочность заполнителей при сжатии, МПа		

При этом следует обратить внимание на то, что соотношение между прочностью горной породы и показателем дробимости для гравия и щебня различно. Например, при прочности породы 80...100 МПа показатель дробимости гравия (табл. 11.1) 8...12 %, щебня (табл. 11.2) 20...25 %. Это объясняется тем, что показатель дробимости зависит не только от прочности испытываемого материала, но и от формы его зерен (для шаровидных зерен при той же нагрузке дробимость меньше, для угловатых – больше). Что касается бетонов, то аналогичные условия работы заполнителя имеют место только в крупнопористом бетоне, а в плотных бетонах при расположении зерен крупного заполнителя в сплошной среде растворной со-

ставляющей работа заполнителя иная, и усилие передается равномерно распределенным, а не сосредоточенным в точках контакта, как при испытании на дробимость. Поэтому заполнитель, показавший при стандартном испытании большую дробимость, не обязательно будет хуже в бетоне с точки зрения участия в формировании его прочности.

Заключение

Сравнить показатели дробимости гравия из плотных пород и щебня гранитного и объяснить результаты.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Прочность пористого заполнителя является величиной условной, характеризует его марку по прочности и определяется при испытании на сдвливание в цилиндре по стандартной методике.

Предел прочности при сдвливании в цилиндре, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сд} = \frac{F}{S}, \quad (11.9)$$

где: F – усилие при погружении пуансона до верхней риски, Н

S – площадь поперечного сечения цилиндра, равная 17700 мм² (0,0177 м²)

Результаты испытания зависят не только от прочности заполнителя, но и от формы его зерен. Разделив усилие, согласно формуле (11.9), не на действительную площадь сжатия зерен в контактах, а на всю площадь цилиндра, включая пустоты между зернами, мы сильно занижаем действительную прочность заполнителя и получаем лишь ее относительную характеристику. Исследования показали, что прочность керамзитового гравия в бетоне в среднем в 4,5 раза превышает показатель прочности при сдвливании в цилиндре, а прочность аглопоритового щебня – в 30 раз. Этими данными можно пользоваться для ориентировочной расчетной оценки прочности $R_{расч}$ названных пористых заполнителей по результатам стандартных испытаний в цилиндре:

$$R_{расч} \approx K \times R_{сд}, \quad (11.10)$$

где: K – коэффициент пропорциональности (принимаемый равным 4,5 для керамзитового гравия и 30 для аглопоритового щебня).

Еще один способ предварительной ориентировочной оценки прочности керамических пористых заполнителей (к которым относится керамзит и аглопорит) состоит в использовании эмпирической зависимости прочности от плотности:

$$R \approx 15 \rho_3^2, \quad (11.11)$$

где ρ_3 – плотность зерен, г/см³

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН (50 тс).
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 150 мм со съёмным дном и плунжером (рис. 11.2, а).
3. Щебень аглопоритовый и гравий керамзитовый.

Методика испытаний

Испытание проводится по методике ГОСТ 9758. В стальной цилиндр диаметром 150 мм засыпают заполнитель на высоту 100 мм, разравнивают его и затем вставляют в цилиндр пуансон с рисками, фиксирующими положением пуансона по отношению к цилиндру. До испытания нижняя риска должна находиться на уровне верхнего края цилиндра. Затем на гидравлическом прессе пробу заполнителя сдавливают через пуансон сжимающим усилием и фиксируют усилие в тот момент, когда верхняя риска погружающегося в цилиндр пуансона окажется на уровне верхнего края цилиндра. Расстояние между рисками пуансона – 20 мм, таким образом, испытание предусматривает сдавливание заполнителя на 1/5 его высоты (или 1/5 первоначального объема).

Полученные результаты испытания керамзитового гравия следует сравнить с требованиями ГНПА (см. табл. 11.3 и 11.4 для данной марки по насыпной плотности) (задание 1), установить, соответствует ли пористый заполнитель требованиям стандарта и по какой категории качества.

Результаты испытаний

Прочность испытанных заполнителей вычисляют по формулам 11.9 и 11.10, результаты заносят в табл. 11.9

Таблица 11.9.

Прочность пористых заполнителей

Определения	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Усилие при сдавливании заполнителя на 1/5 объема, Н		
Прочность при сдавливании в цилиндре $R_{сд}$, МПа		
Марка по насыпной плотности (из задания 1)		
Требования стандартов по прочности		
Марка по прочности заполнителя: исходя из результатов испытания на сдавливание в цилиндре		
Марка по прочности		
Предварительная ориентировочная прочность $R_{предв}$		

Заключение

Сравнить прочность при сдавливании в цилиндре гравия керамзитового и щебня аглопоритового, сделать вывод.

Задание 6. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И ОБЛАСТИ ИХ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕТОНАХ

На основании результатов выполненной работы и их анализа принимается заключение о достоинствах и недостатках каждого из испытанных заполнителей перед другими по насыпной плотности, пустотности, средней плотности и пористости зерен, соотношению открытой и закрытой пористости, прочности.

В соответствии с СТБ 1544 определяется область применения природного гравия и щебня из горных пород в тяжелых бетонах соответствующих классов по прочности. В соответствии со свойствами испытанных пористых заполнителей делается заключение о преимущественном применении керамзитового гравия и аглопоритового щебня в тех или иных легких бетонах по назначению (теплоизоляционных, конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных) и проектной марке по прочности.

11.3 Контрольные вопросы

1. Чем ограничивается верхний предел крупности заполнителей?
2. Как влияет расход крупного заполнителя на расход цемента в бетоне, на величину усадки?
3. Как влияет расход крупного пористого заполнителя на плотность и теплопроводность легкого бетона?
4. Что выражает обозначение марки гравия из горных пород?
5. Что выражает обозначение марки щебня из плотных горных пород?
6. Что выражает обозначение марки пористых заполнителей?
7. Как определяется объем пробы заполнителя для вычисления средней плотности зерен?
8. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета его пустотности?
9. От чего зависит пустотность данной фракции крупного заполнителя?
10. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета величины пористости его зерен?
11. Что показывает коэффициент насыщения?
12. Как по стандарту оценивается прочность плотных заполнителей для тяжелого бетона?

13. Как определяется дробимость крупного заполнителя?
14. Как по стандарту определяется прочность пористых заполнителей для легкого бетона?
15. Какой из испытанных заполнителей – гравий или щебень из горных пород предпочтителен для получения тяжелого бетона с прочностью при сжатии 10 МПа? Почему?
16. Какой из испытанных пористых заполнителей – керамзитовый гравий или аглопоритовый щебень предпочтителен для получения теплоизоляционного легкого бетона? Почему?
17. По каким показателям оценивают качество крупного заполнителя для бетонов?

11.4 Литература и нормативные ссылки

1. Чумаков, Л. Д. Технология заполнителей бетона : учебное пособие / Л. Д. Чумаков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2011. – 261 с.
2. ГОСТ 8267. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
3. ГОСТ 8269.0. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.
4. ГОСТ 9758. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний.
5. СТБ 1217. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
6. СТБ 1318. Щебень и песок кубовидный из плотных горных пород. Технические условия.

Лабораторная работа № 12

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Цель работы

1. Освоить методику проектирования рационального состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом;
2. Ознакомиться с методом и приборами для определения показателей, характеризующих удобоукладываемость бетонной смеси;
3. Определить фактический расход составляющих бетонной смеси на 1 м³ бетона после изготовления пробных замесов;
4. Изготовить опытные образцы из бетонной смеси для определения прочности бетона при сжатии.

12.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы:

1. Что представляет собой бетон и бетонная смесь?
2. Провести классификацию бетона по средней плотности.
3. Какие компоненты входят в состав тяжелого цементного бетона?
4. Что является крупным заполнителем в тяжелых бетонах?
5. Какие значения имеет вода в бетонной смеси?
6. Какую роль в бетоне выполняют крупные заполнители?
7. Какими показателями характеризуют удобоукладываемость бетонной смеси?
8. От каких факторов зависит удобоукладываемость бетонной смеси?
9. Какие исходные показатели необходимо знать для проектирования состава тяжелого бетона?
10. Какие способы применяют для уплотнения бетонной смеси?

12.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона для пробного замеса.

Задание 2. Изготовление пробных замесов и определение удобоукладываемости бетонной смеси.

Задание 3. Определение плотности бетонной смеси. Изготовление контрольных бетонных образцов и расчет фактического расхода составляющих бетона.

Общие сведения о бетоне и бетонных смесях

Бетон и бетонные смеси

Бетон – это искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной смеси вяжущего вещества, воды, заполнителей и необходимых добавок. Минеральные вяжущие вещества и вода – *активные составляющие в бетоне*, мелкий и крупный заполнитель – *пассивные* (при отсутствии методов специальной их активации).

Бетонная смесь – это рационально составленная смесь составляющих бетона до начала затвердевания. Смесь сухих компонентов (без воды) называется *сухой бетонной смесью*. При добавлении воды в сухую бетонную смесь происходит гидратация минерального вяжущего, самоотвердевание и превращение бетонной смеси в искусственный камень – бетон.

Цементное тесто, образуемое при затворении цемента определенным количеством воды, обволакивает зерна песка (мелкого заполнителя), щебня или гравия (крупных заполнителей) и играет роль своеобразной смазки, придающей бетонной смеси необходимую подвижность.

Зерна заполнителей, надежно связанные цементным камнем, образуют *жесткий скелет бетона*, уменьшая усадку бетона, возникающую в результате усадочных деформаций цементного камня при твердении.

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона состоит из определения наиболее рационального соотношения между материалами, составляющими бетон – цементом, водой, песком, щебнем или гравием. Соотношение указанных материалов должно при наименьшем расходе цемента обеспечивать получение бетонной смеси требуемой подвижности (жесткости), а также бетона заданного класса *C* по прочности в установленные сроки.

Технологические свойства бетонной смеси оценивают *подвижностью* (см) или *жесткостью* (с) (СТБ 1545). По подвижности и жесткости различают бетонные смеси (СТБ 1035, СТБ 1544): сверхжесткие (СЖ), жесткие (Ж), подвижные (П) и литые (РК) (табл. 12.1).

Расслаиваемость бетонной смеси характеризуется водоотделением и растроотделением.

Марки бетонной смеси по удобоукладываемости

Марки по жесткости		Марка по подвижности (осадке конуса)		Марки по расплыву конуса	
Марка	Жесткость (Ж), с	Марка	Осадка конуса (ОК), см	Марка	Расплыв конуса (РК), см
СЖ3	более 100	П1	1-4	РК-1	менее или равно 34
СЖ2	51-100	П2	5-9	РК-2	35-41
СЖ1	50 и менее	П3	10-15	РК-3	42-48
Ж-4	31-60	П4	16-20	РК-4	49-55
Ж-3	21-30	П5	21 и более	РК-5	56-62
Ж-2	11-20	-	-	РК-6	более 62
Ж-1	5-10	-	-	-	-

Примечание: Марка по расплыву конуса бетонной смеси устанавливается для смесей марки по подвижности П4 и выше

Контрольными характеристиками качества бетона по прочности являются *классы*. Основной характеристикой бетона является класс бетона по прочности на сжатие и, при необходимости, при осевом растяжении или растяжении при изгибе. Ранее прочность бетона оценивали маркой.

Марка бетона по прочности на сжатие (*М*) характеризовалась средним значением предела прочности бетона *без учета коэффициента вариации (изменчивости)*.

Однако, бетон – материал неоднородный. Его прочность колеблется от замеса к замесу, и даже образцы, взятые из одного замеса, заметно отличаются по прочности. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья, неточностью его дозировки, неоднородностью перемешивания и уплотнения, различием в режиме твердения. Поэтому средняя кубиковая прочность бетона на осевое сжатие f_{cm} и определяемая на ее основе марка бетона, не дает гарантии получения именно этой прочности бетона (прочность может оказаться как больше, так и меньше заданной). Поэтому было введено понятие *класс бетона по прочности на сжатие*.

Класс бетона по прочности на сжатие (СТБ 1544) – количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемое буквой «С»⁸ и числами: перед чертой – выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона ($f_{c.cube}^G$, МПа), определяемой при испытании кубов с размером ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95.

⁸ С – буквенное сокращение английского термина «бетон» (concrete)

Величина $f_{c.cube}^G$ является характеристикой, аналогичной используемой при обозначении класса бетона по прочности на сжатие («В») в СТБ 2221 и ранее в ГОСТ 26633 (отменен) (табл.12.2).

Так, например, класс бетона по СТБ 1544 **C16/20** соответствует классу бетона **B20** по СТБ 2221.

Обеспеченность 0,95 требуемой гарантированной прочности предполагает, например, что из 100 испытанных кубов не менее 95 должны обладать прочностью не менее $f_{c.cube}^G$.

Таблица 12.2.

Соотношение между классами и характеристиками бетона

Класс бетона				Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов (при подборе состава) $f_{с.тр}$, МПа
СТБ 2221	по СТБ 1544			
	обозначение	характеристики прочности бетона, МПа		
		f_{ck}	$f_{c.cube}^G$	
B10	C8/10	8	10	12,8
B12,5	C10/12,5	10	12,5	16,0
B15	C12/15	12	15	19,2
B20	C16/20	16	20	25,6
B22,5	C18/22,5	18	22,5	28,8
B25	C20/25	20	25	32,0
B27,5	C22/27,5	22	27,5	35,2
B30	C25/30	25	30	38,4
B35	C28/35	28	35	44,8
-	C30/37	30	37	47,4
B40	C32/40	32	40	51,2
B45	C35/45	35	45	57,6
B50	C40/50	40	50	64,0
B55	C45/55	45	55	70,4
B60	C50/60	50	60	76,8
-	C55/67	55	67	85,8
B75	C60/75	60	75	96,0
-	C70/85	70	85	108,8
-	C80/95	80	95	121,6
-	C90/105	90	105	134,4

Установление требований к бетону и бетонной смеси

Класс бетона, отпускная прочность и другие специальные требования (морозостойкость, химическая стойкость, истираемость и т.д.) определяется условиями эксплуатации конструкции и указываются в рабочих чертежах и технической нормативной документации на данный вид изделий.

Удобоукладываемость бетонной смеси, если она не задана, выбирается в зависимости от размеров и сложности конфигурации изделия, густоты армирования, способов укладки и уплотнения бетонной смеси.

Для качественного уплотнения бетонная смесь должна иметь показатели подвижности или жесткости, приведенные в табл. 12.3, определяемые непосредственно перед укладкой в покрытие или основание.

Таблица 12.3.

**Рекомендуемая удобоукладываемость бетонной смеси
для различных конструкций**

Вид конструкций, изделий и метод их изготовления	Подвижность, см	Показатель жесткости, с
<i>Монолитные конструкции</i> Подготовка под фундаменты и уплотнения основания дорог; уплотнение покрытий бетоноукладочными машинами	1...2	30...60
Полы, покрытия дорог и аэродромов, массивные неармированные конструкции, уплотнение покрытий площадными вибраторами	2...3	25...30
Массивные армированные конструкции Тонкостенные конструкции, сильно насыщенные арматурой	2...4 6...8	15...25 6...10
<i>Сборные конструкции</i> Изделия, формуемые с немедленной распалубкой	0	80...160
Стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении с виброгрузом	0	60...80
Изделия, формуемые вибропрокатом	0	50...60

Выбор материалов для бетона

Выбор материалов для бетона осуществляется исходя из требований, предъявляемых к бетону, условий эксплуатации конструкции, особенностей технологии изготовления и экономических соображений.

1. Цемент

Вид и марку цемента следует выбирать с учетом технологии производства работ, условий твердения бетона, вида изделий и конструкций, условий их эксплуатации, требуемого класса бетона по прочности на сжатие, реакционной способности заполнителей и др. Для экономного расходования цемента необходимо, чтобы его марка превышала заданную прочность бетона примерно в 1,5 раза.

Рекомендуемые и допускаемые марки цемента в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие в соответствии с СТБ 1544 следует принимать в соответствии с табл. 12.4.

Рекомендуемая и допускаемая марки цемента

Класс бетона по прочности на сжатие	Марки цемента для бетона	
	рекомендуемые	допускаемые
C8/10...C20/25	400	500
C25/30	500	550, 600
C30/37	550	500, 600
C35/45...C90/105	600	550, 550

Стандарты регламентируют *минимальный и максимальный расход цемента* в бетоне. Для неармированных бетонных сборных изделий минимальные типовые нормы расхода цемента должны быть не менее 200 кг/м³ бетона, а для армированных (железобетонных) изделий – не менее 220 кг/м³ бетона. Типовая норма расхода цемента не должна превышать 600 кг на 1м³ бетона.

2. Заполнители

Заполнители для бетона должны удовлетворять требованиям стандартов в отношении прочности, зернового состава, наличия вредных примесей, морозостойкости.

В качестве крупных и мелких заполнителей для бетона следует применять щебень из природного камня, гравий, щебень из гравия и песок, удовлетворяющие требованиям СТБ 1544. Допускается применение в качестве заполнителя щебня из доменного шлака, щебня и песка из шлаков тепловых электростанций (ТЭС), песка из отсевов дробления горных пород, а также дробленого бетона из некондиционных бетонных и железобетонных изделий.

При выборе вида крупного заполнителя *предпочтение следует отдать щебню*. Применение гравия возможно только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Для бетона класса C20/25 и выше следует применять только щебень, прочность которого должна превышать среднюю прочность бетона не менее чем в 2 раза. Максимальная крупность зерен щебня (гравия) должна быть не более 1/3 минимального размера конструкции и не более 3/4 наименьшего расстояния между стержнями арматуры.

3. Вода

Согласно СТБ 1114 для изготовления бетонных смесей и поливки уложенного бетона применяют питьевую воду или любую пригодную воду, не содержащую

вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению бетона. К *вредным примесям* относят сульфаты, минеральные и органические кислоты, жиры, сахар и др.

В зависимости от типа бетонируемых конструкций и вида армирования (с напрягаемой или ненапрягаемой арматурой) в воде, применяемой для затворения бетонной смеси, максимальное содержание растворимых солей допускается от 3 000 до 10 000 мг/л, сульфатов – от 2 000 до 5 000 мг/л, хлоридов – от 650 до 4 500 мг/л, взвешенных частиц – от 200 до 500 мг/л. Водородный показатель воды рН не должен быть меньше 4 и более 12,5.

В воде для промывки заполнителей, поливки рабочих швов, законченных наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций, максимально допустимое содержание растворимых солей, сульфатов, хлоридов и взвешенных частиц отличается от допустимого в воде для затворения бетонной смеси. Допускаемые пределы содержания их в воде приведены в СТБ 1114.

4. Пластификаторы

Пластифицирующие добавки применяют для увеличения подвижности и снижения водопотребности бетонной смеси, что наряду с экономией цемента сокращает усадочные явления в бетонах. Кроме того, пластифицирующие добавки способствуют повышению морозостойкости и водонепроницаемости бетона. Химические добавки должны удовлетворять требованиям СТБ 1112.

Задание 1. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО (ОРИЕНТИРОВОЧНОГО) СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ПРОБНОГО ЗАМЕСА

Состав бетона выражают расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м³ уложенной и уплотненной бетонной смеси. Иногда состав бетона выражают отношением массы составляющих материалов бетонной смеси к массе цемента, за единицу принимают массу цемента, т.е. 1 : X : Y (цемент : песок : щебень (гравий)) при требуемом количестве воды ($B/C = a$).

Различают *лабораторный состав бетона*, рассчитанный для заполнителей (песок, щебень (гравий)) в сухом состоянии, и *производственный* состав – для заполнителей с естественной влажностью.

Из существующих нескольких методов расчета составов тяжелого бетона наиболее простым является метод расчета по «**абсолютным объемам**», в основу которого положено условие, что бетонная смесь после укладки в форму и уплотнения не будет иметь пустот. Состав бетона по методу «абсолютных объемов» подбирают в два этапа. На *первом* этапе рассчитывают ориентировочный состав бетона.

На *втором* этапе по результатам пробных замесов расчет проверяют и уточняют с учетом испытаний контрольных образцов.

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо знать следующие исходные данные:

1. Требуемую прочность бетона на осевое сжатие при испытании кубов $f_{с.пр}$, назначаемую исходя из класса бетона «С» (табл. 12.2).

2. Требуемую удобоукладываемость (подвижность OK , см или жесткость $Ж$, с) бетонной смеси.

3. Вид и активность (марку) цемента, $R_{ц}$;

4. Насыпную плотность цемента, $\rho_{нц}$;

5. Насыпную плотность мелкого заполнителя, $\rho_{нмз}$;

6. Насыпную плотность крупного заполнителя, $\rho_{нкз}$;

7. Истинную плотность цемента, $\rho_{иц}$;

8. Плотность зерен мелкого заполнителя, $\rho_{мз}$;

9. Плотность зерен крупного заполнителя, $\rho_{кз}$;

10. Пустотность крупного заполнителя, $V_{пкз}$;

11. Наибольшая крупность зерен щебня или гравия d_g ;

12. Влажность мелкого и крупного заполнителей $W_{мз}$, $W_{кз}$.

Исходные данные для подбора состава бетона приведены в табл. 12.5.

Состав бетона на 1 м³ бетонной смеси рассчитывают в следующей последовательности:

1) водоцементное отношение бетонной смеси В/Ц;

2) расход воды,

3) расход цемента, сравнение полученного значения с минимально допустимым;

4) расход крупного заполнителя,

5) расход мелкого заполнителя.

Таблица 12.5.

Исходные данные для подбора состава бетона

№ варианта	Класс бетона	Марка подвижности (жесткости)	Минимально допустимый расход цемента, кг/м ³	Насыпная плотность составляющих бетона, кг/м ³			Плотность зерен заполнителей, кг/м ³		Истинная плотность цемента, ρ _{и.ц.} кг/м ³
				заполнители		цемент ρ _{и.ц.}	мелкого ρ _{м.з.}	крупного ρ _{к.з.}	
				мелкий ρ _{н.м.з.}	крупный ρ _{н.к.з.}				
1	C ¹² / ₁₅	П1	220	1520	1410	1020	2520	2450	3050
2	C ¹⁶ / ₂₀	П2	250	1540	1540	1050	2560	2600	3060
3	C ¹⁸ / _{22,5}	П4	300	1550	1580	1100	2580	2700	3070
4	C ²⁰ / ₂₅	П3	325	1560	1400	1150	2600	2620	3080
5	C ²² / _{27,5}	П2	250	1570	1420	1200	2620	2640	3090
6	C ²⁵ / ₃₀	Ж1	230	1580	1440	1250	2640	2660	3100
7	C ²⁸ / ₃₅	Ж2	250	1520	1410	1020	2520	2450	3060
8	C ³⁰ / ₃₇	Ж1	240	1590	1460	1300	2680	2680	3110
9	C ³² / ₄₀	Ж2	280	1600	1480	1280	2700	2700	3120
10	C ²⁵ / ₃₀	П4	300	1530	1550	1060	2540	2550	3070
11	C ²⁰ / ₂₅	П3	325	1540	1590	1100	2560	2650	3080
12	C ¹⁶ / ₂₀	П2	300	1550	1410	1140	2580	2630	3090
13	C ¹⁸ / _{22,5}	П1	325	1560	1430	1160	2600	2650	3100
14	C ²⁰ / ₂₅	П3	300	1550	1580	1100	2580	2700	3090

Примечание: максимальная крупность заполнителя $d_g = 20$ мм.

Вычисление водоцементного отношения (В/Ц)

Водоцементное отношение В/Ц вычисляют, исходя из требуемой прочности бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

для пластичных бетонных смесей с водоцементным отношением $V/C \geq 0,40$ (т.е. для обычных бетонов)

$$R_b = A \times R_u (C/B - 0,5) \quad (12.1.)$$

для особо жестких бетонных смесей с водоцементным отношением $V/C < 0,4$ (для высокопрочных бетонов)

$$R_b = A_I \times R_u (C/B + 0,5) \quad (12.2.)$$

где R_b – прочность бетона при сжатии, МПа (в данной работе далее прочность бетона обозначена $f_{с.р.}$);

R_u – активность цемента, МПа;

A и A_I – коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл. 12.6).

Значение коэффициентов A и A_1

Качество заполнителей и цемента	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания:

- К *высококачественным* материалам относятся:
 - щебень из плотных изверженных горных пород высокой прочности,
 - песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки в его составе;
 - заполнители должны быть чистые, промытые и фракционированные, с оптимальным зерновым составом.
- К *рядовым* относятся материалы среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент.
- К материалам *пониженного* качества относятся крупные заполнители низкой прочности (например, щебень из карбонатных горных пород) и мелкие пески, цементы низкой активности.

После преобразования относительно В/Ц формулы (12.1) и (12.2) соответственно имеют следующий вид:

$$В/Ц = \frac{A \cdot R_{ц}}{f_{с.тр} + 0,5A \cdot R_{ц}} \quad (12.1)$$

$$В/Ц = \frac{A_1 \cdot R_{ц}}{f_{с.тр} - 0,5A_1 \cdot R_{ц}} \quad (12.2)$$

где: $R_{ц}$ – активность цемента;

$f_{с.тр}$ – прочность бетона;

A и A_1 – коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл. 12.6).

Определение расхода воды

Расход воды в л на 1 м^3 смеси (*водопотребность*) определяют ориентировочно исходя из требуемой удобоукладываемости бетонной смеси (табл. 12.7), а также с учетом вида и наибольшей крупности зерен щебня или гравия (d_g).

При определении количества воды учитывается также «нормальная густота» цементного теста и модуль крупности песка (примечание к табл. 12.7).

Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды в л (кг) на 1 м ³ бетонной смеси при наибольшей крупности заполнителя d _g , мм					
Подвижность ОК, см	Жесткость, с	Гравий			Щебень		
		10	20	40	10	20	40
0	40...50	150	135	125	160	150	135
0	25...35	160	145	130	170	160	145
0	20...15	165	150	135	175	165	150
-	10...5	175	160	145	185	175	160
2...4	-	190	175	160	200	190	175
5...7	-	200	185	170	210	200	185
8...10	-	205	190	175	215	205	190
10...12	-	215	205	190	225	215	200
12...16	-	220	210	197	235	220	207
16...20	-	227	218	203	237	228	213

Примечание:

1. Расход приведен для смеси на портландцементе с нормальной густотой цементного теста (НГЦТ) 26...28 % и на песке с модулем крупности $M_{кр}=2$.
2. При изменении НГЦТ на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 5 л/м³, в большую сторону – увеличивается на 5 л/м³.
3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 5 л/м³, в большую сторону - уменьшается на 5 л/м³.

Определение расхода цемента

Расход цемента $\mathbf{Ц}$, кг на 1 м³ бетона, зная расход воды $\mathbf{В}$, вычисляют по формуле

$$\mathbf{Ц} = \frac{\mathbf{В}}{\mathbf{В/Ц}} \quad (12.3)$$

где: $\mathbf{В}$ – расход воды в л (кг);

$(\mathbf{В/Ц})$ - водоцементное отношение.

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше *минимально допустимого* (например, 200 или 220 кг/м³), то из условия получения плотной структуры бетона, расход цемента увеличивают до требуемой нормы, соответственно увеличивая расход воды, чтобы сохранить рассчитанное $\mathbf{В/Ц}$, или вводят тонкомолотую добавку.

Расчет расхода заполнителей (песка и крупного заполнителя)

Расход крупного и мелкого заполнителей вычисляют, исходя из двух условий:

1) Сумма абсолютных (без воздушных пустот) объемов всех компонентов бетона равна 1 м³ уплотненной бетонной смеси, следовательно,

$$\frac{Ц}{\rho_{иц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} + \frac{КЗ}{\rho_{кз}} = 1 \quad (12.4)$$

где **Ц**, **В**, **МЗ**, **КЗ** – расход цемента, воды мелкого и крупного заполнителей (кг);

$\rho_{иц}$, $\rho_{в}$, – истинная плотность цемента и воды, кг/м³;

$\rho_{мз}$, $\rho_{кз}$, – плотность зерен заполнителей, кг/м³.

тогда $\frac{Ц}{\rho_{иц}}$; $\frac{В}{\rho_{в}}$; $\frac{МЗ}{\rho_{мз}}$; $\frac{КЗ}{\rho_{кз}}$ – абсолютные объемы материалов, м³.

2) Объем цементно-песчаного раствора должен быть равен объему пустот между зернами крупного заполнителя с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки зерен $K_{разд}$.

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} = V_{пкз} \cdot \frac{КЗ}{\rho_{кз}} \cdot K_{разд} = 1 \quad (12.5)$$

где: $V_{пкз}$ – относительный объем пустот (пустотность) крупного заполнителя в насыпном состоянии, доли ед.;

$\rho_{н.кз}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

$K_{разд}$ – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором.

Для пластичных смесей $K_{разд}$ принимается по табл. 12.8, а для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м³ $K_{разд} = 1,05 \dots 1,2$.

Таблица 12.8.

Значение коэффициента $K_{разд}$ для пластичных бетонных смесей в зависимости от расхода цемента и В/Ц

Расход цемента, в кг на 1 м ³ бетона	Оптимальные значения $K_{разд}$ при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,30	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,40	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	-	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Примечание: При других значениях $\mathbf{Ц}$ и $\mathbf{В/Ц}$ коэффициент $\mathbf{K_{разд}}$ находится интерполяцией.

Пример: Требуется определить значение $\mathbf{K_{разд}}$ при $\mathbf{В/Ц=0,6}$ и $\mathbf{Ц=275}$ кг/м³

Если $\mathbf{A \Rightarrow a}$ и $\mathbf{C \Rightarrow c}$, то искомое значение \mathbf{x} для $\mathbf{В}$ находится из соотношения:

$$\frac{A - C}{B - C} = \frac{a - c}{x - c}.$$

То есть из табл. 12.8 определяем, что для расхода $\mathbf{Ц=250}$ кг/м³ значение $\mathbf{K_{разд}=1,26}$, а для расхода $\mathbf{Ц=300}$ кг/м³, $\mathbf{K_{разд}=1,36}$.

Тогда, для расхода $\mathbf{Ц=275}$ кг/м³ значение $\mathbf{K_{разд}}$ определяется из соотношения:

$$\frac{250 - 300}{x - 300} = \frac{1,26 - 1,36}{x - 1,36}$$

отсюда $\mathbf{x = K_{разд}=1,31}$.

Из (12.4) следует:

$$\frac{\mathbf{Ц}}{\rho_{\mathbf{Ц}}} + \frac{\mathbf{В}}{\rho_{\mathbf{В}}} + \frac{\mathbf{МЗ}}{\rho_{\mathbf{МЗ}}} = 1 - \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{КЗ}}}$$

Приравняв левую часть полученного выражения и левую часть уравнения (12.5), получим:

$$\begin{aligned} 1 - \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{КЗ}}} &= V_{\mathbf{КЗ}} \cdot \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{НКЗ}}} \cdot K_{\mathbf{разд}} \\ 1 &= V_{\mathbf{КЗ}} \cdot \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{НКЗ}}} \cdot K_{\mathbf{разд}} + \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{КЗ}}} \\ 1 &= \mathbf{КЗ} \left(\frac{K_{\mathbf{разд}} \cdot V_{\mathbf{КЗ}}}{\rho_{\mathbf{НКЗ}}} + \frac{1}{\rho_{\mathbf{КЗ}}} \right) \\ \mathbf{КЗ} &= \frac{1}{\frac{V_{\mathbf{НКЗ}} \cdot K_{\mathbf{разд}}}{\rho_{\mathbf{НКЗ}}} + \frac{1}{\rho_{\mathbf{КЗ}}}}, \text{ кг} \end{aligned} \quad (12.6)$$

Определение расхода мелкого заполнителя

Расход мелкого заполнителя (песка) в кг на 1 м³ бетона вычисляют как разность между проектным объемом бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя:

$$\mathbf{МЗ} = \left[1 - \left(\frac{\mathbf{Ц}}{\rho_{\mathbf{Ц}}} + \frac{\mathbf{В}}{\rho_{\mathbf{В}}} + \frac{\mathbf{КЗ}}{\rho_{\mathbf{КЗ}}} \right) \right] \cdot \rho_{\mathbf{МЗ}}, \text{ кг} \quad (12.7)$$

Определение расчетной (теоретической) средней плотности бетонной смеси

Определив расходы всех компонентов (воды, цемента, крупного и мелкого заполнителей) на 1 м³ бетонной смеси, вычисляем ее расчетную среднюю плотность по формуле

$$\rho_{\text{б.см}}^{\text{расч}} = \text{Ц} + \text{В} + \text{МЗ} + \text{КЗ}, \text{ кг/м}^3 \quad (12.8)$$

Задание 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ ЗАМЕСОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Пробные замесы бетонной смеси готовят после выполнения расчета состава бетона и расчета расхода составляющих на пробный замес. Объем бетонной смеси пробного замеса V_3 принимают 7...10 л (из расчета изготовления 6...9 контрольных образцов-кубов с ребром 100 мм). Указанного объема бетонной смеси достаточно и для определения ее удобоукладываемости (подвижности).

Методика определения подвижности бетонной смеси приведена в СТБ 1545.

Изменять (регулировать) подвижность бетонной смеси можно за счет увеличения расхода цемента и воды, *сохраняя водоцементное отношение*, а также, увеличивая количество мелкого и крупного заполнителя (в том же отношении). Наиболее эффективным способом повышения подвижности бетонной смеси является применение пластифицирующих добавок (разжижителей).

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Вода.
3. Песок кварцевый.
4. Щебень из горных пород (гранитный) фракций 5...20 мм или гравий природный фракций 5...20 мм
5. Металлическая форма – боек (поддон).
6. Весы лабораторные.
7. Стандартная форма – усеченный конус Абрамса.
8. Металлическая линейка
9. Линейка с делениями
10. Металлический стержень диаметром 16 мм и длиной 600 мм.

Методика испытаний

1. Определение расхода материалов на замес (V_3)

Расход воды вычисляют по формуле

$$B_I = B \cdot V_3, \text{ л} \quad (12.9)$$

где: B – расход воды на 1 м³ бетонной смеси, л;

V_3 – объем замеса, м³.

Расход цемента вычисляют по формуле

$$C_I = C \cdot V_3, \text{ кг} \quad (12.10)$$

где: C – расход цемента на 1 м³ бетонной смеси, кг.

Расход крупного заполнителя вычисляют по формуле

$$KZ_I = KZ \cdot V_3, \text{ кг} \quad (12.11)$$

где: KZ – расход крупного заполнителя на 1 м³ бетонной смеси, кг.

Расход мелкого заполнителя вычисляют по формуле

$$MZ_I = MZ \cdot V_3, \text{ кг} \quad (12.12)$$

где: MZ – расход мелкого заполнителя на 1 м³ бетонной смеси, кг.

2. Приготовление пробного замеса

Цемент тщательно перемешивают и просеивают через сито № 1,25. Остаток на сите удаляют.

Заполнители предварительно высушивают до постоянной массы при температуре выше 80...90 °С.

Компоненты бетонной смеси дозируют с точностью взвешивания $\pm 0,1$ %.

Все составляющие перемешивают вручную или механическим способом (в бетономешалке).

При перемешивании вручную используют предварительно увлажненную металлическую форму – боек (поддон) размером в плане 1х2 м. На поддон сначала высыпают отвешенное количество мелкого заполнителя, а затем добавляют требуемое количество цемента. Компоненты перемешивают до получения смеси однородного состава. Затем добавляют крупный заполнитель и всю смесь тщательно перемешивают до тех пор, пока щебень или гравий не будет равномерно распределен в сухой смеси. После этого в середине перемешанной смеси делают углубление, *вливают в него половину требуемого количества воды*, осторожно перемешивают, собирают бетонную смесь в кучу и добавляют остальную часть воды. После этого энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ее однородности. Продолжительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять 5 минут.

В случае механического перемешивания в бетоносмеситель сначала загружают песок, затем цемент, крупный заполнитель и воду. Продолжительность перемешивания должна составлять около 5 минут с момента загрузки всех компонентов.

На пробных замесах определяют удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси.

3. Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность является статической характеристикой бетонной смеси, потому что оседание конуса, отформованного из бетонной смеси, происходит за счет собственной массы. Увеличение количества цемента и воды, уменьшение доли крупного заполнителя или применение пластифицирующих добавок позволяет увеличить подвижность бетонной смеси.

Оценивают подвижность бетонной смеси по осадке изготовленного из бетонной смеси конуса (ОК) в см. Бетонный конус изготавливают из бетонной смеси с помощью стандартной металлической формы (рис. 12.1) без дна в виде усеченного конуса высотой 300, диаметром верхнего и нижнего оснований соответственно 100 и 200 мм (конус Абрамса).

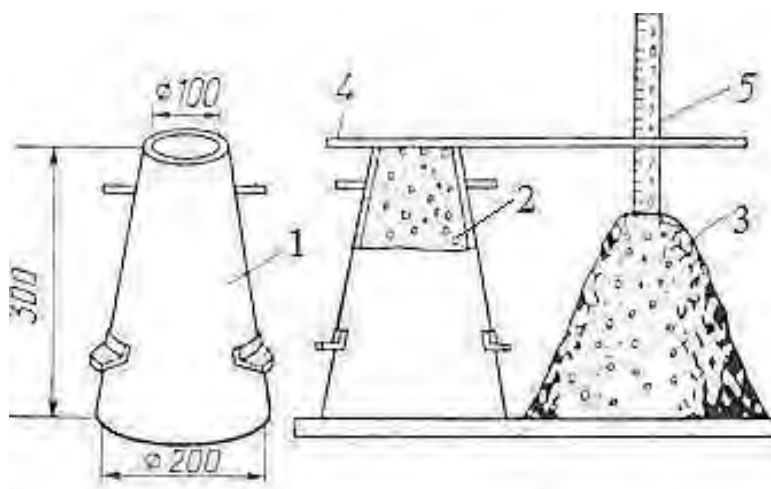


Рис. 12.1. Определение подвижности бетонной смеси по осадке бетонного конуса: 1 – стандартная форма-конус; 2 – бетонный конус в форме; 3 – осевший конус бетонной смеси; 4 – металлическая линейка; 5 – линейка с делениями

Форму предварительно очищают, протирают изнутри влажной тканью и устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность, которая не впитывает воду (металлический противень или кусок линолеума). Затем форму *через воронку* заполняют бетонной смесью, тремя, приблизительно равными по высоте, слоями. Каждый слой 25 раз уплотняют путем равномерного штыкования металлическим

стержнем диаметром 16 и высотой 300 мм, на всю его высоту до нижележащего слоя. При штыковании бетонной смеси форма должна быть прижата к основанию.

После окончания штыкования верхнего слоя воронку снимают, и избыток бетонной смеси срезают стержнем вровень с краями формы. Затем форму-конус поднимают строго вертикально вверх (в течение 5...7 с) таким образом, чтобы не разрушить бетонный конус. Бетонная смесь, освобожденная от формы, под действием собственной массы начинает оседать. После окончания ее осадки снимают форму ставят рядом с осевшим бетоном. На верхнее основание формы-конуса укладывают металлическую или деревянную линейку, а затем от нижнего ее ребра другой линейкой с делениями измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см (рис. 12.1). Если после снятия формы-конуса бетонная смесь разваливается – сильно деформируется и приобретает форму, не позволяющую определить ее осадку, измерение не выполняют, а повторяют испытание на новой порции бетонной смеси.

Общее время испытания с начала заполнения формы-конуса бетонной смесью и до момента измерения ее осадки не должно превышать 10 минут.

Осадку конуса бетонной смеси определяют два раза, и за результат принимают среднее арифметическое двух определений.

Если при определении подвижности бетонной смеси осадка стандартного конуса равна нулю, то смесь не обладает подвижностью, ее удобоукладываемость характеризуется жесткостью, оценивается по времени вибрации в секундах и определяется с помощью прибора для определения жесткости.

Результаты испытаний

Результаты определения подвижности бетонной смеси заносят в табл. 12.9.

Таблица 12.9.

Наименование составов	Расход материалов на замес, кг				ОК, см
	<i>Ц</i>	<i>В</i>	<i>КЗ</i>	<i>МЗ</i>	
Расчетный состав на 1 м ³					
Первоначальный состав на замес ($V_3=7л$)					
Измененный состав					

Заключение

Сделать выводы на основании результатов испытаний, сравнить фактически измеренную подвижность с требуемой.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ. ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНЫХ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ И РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОГО РАСХОДА СОСТАВЛЯЮЩИХ БЕТОНА

Приборы и материалы

1. Мерный сосуд или формы металлические для образцов-кубов.
2. Виброплощадка.
3. Весы лабораторные.
4. Бетонная смесь пробных замесов.
5. Формы для изготовления образцов.

Методика испытаний

1. Определение средней плотности бетонной смеси

Средняя плотность бетонной смеси характеризуется отношением массы уплотненной смеси к ее объему. Определяют ее для тяжелого бетона с целью расчета фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Вычисляют среднюю плотность бетонной смеси в кг/м³ по формуле

$$\rho_{б.см} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (12.13)$$

где: m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, кг;

m_1 – масса мерного сосуда без бетонной смеси, кг;

V – объем мерного сосуда (формы), м³.

Для определения средней плотности бетонной смеси используют цилиндрический металлический сосуд, емкость которого зависит от наибольшей крупности зерен. Допускается вместо цилиндрического сосуда использовать формы, в которых изготавливают контрольные образцы бетона.

Мерный сосуд или формы взвешивают, заполняют бетонной смесью с избытком, устанавливают на лабораторную виброплощадку, закрепляют зажимами. Вибрирование должно продолжаться до полного уплотнения, когда прекращается оседание бетонной смеси, выравнивается ее поверхность и появляется на ней цементное молоко.

После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой, и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями формы. Затем форму с бетоном взвешивают с погрешностью не более 0,1 % и вычисляют среднюю плотность бетонной смеси по формуле (12.13).

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 10 кг/м^3 как среднее арифметическое значение результатов двух определений. Результаты испытаний заносят в табл. 12.10.

Таблица 12.10.

Средняя плотность бетонной смеси

Показатели	Формы	
	1	2
Масса формы без бетонной смеси m_1 , кг		
Масса формы с бетонной смесью m , кг		
Масса бетонной смеси $m - m_1$, кг		
Объем формы (вместимость) V , м^3		
Средняя плотность бетонной смеси $\rho_{б.см.}$, кг/м^3		

2. Изготовление контрольных образцов

Для определения класса по прочности бетона при сжатии изготавливают стандартные образцы-кубы с ребром 150 или 100 мм из бетонной смеси и выдерживают до испытания в течение 28 суток в стандартных нормальных условиях.

Образцы изготавливают в разборных металлических формах со строганной или шлифованной внутренней поверхностью. Формы, перед укладкой в них бетонной смеси, очищают от остатков бетона, а внутреннюю поверхность смазывают обработанным минеральным маслом или смазкой, которые препятствуют сцеплению бетона с поверхностью форм.

Бетонную смесь укладывают в формы и уплотняют не позднее чем через 20 мин после окончания перемешивания и определения ее удобоукладываемости. Методы укладки и уплотнения бетонной смеси в формах зависят от ее подвижности. Если подвижность бетонной смеси составляет более 12 см осадки конуса, то ее укладывают в формы высотой 100 и 150 мм в один слой и уплотняют штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм по спирали от краев к центру образца. Число штыкований принимают равным 10 погружений стержня на каждые 100 см^2 верхней поверхности образца. После окончания уплотнения штыкованием избыток бетона в верхнем слое срезают металлической линейкой вровень с краями формы, а поверхность образца заглаживают.

Бетонные смеси с подвижностью менее 12 см по осадке конуса, уплотняют вибрированием. Бетонную смесь укладывают в формы с некоторым избытком, форму устанавливают на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют перед вибрированием. Затем включают виброплощадку и секундомер, фиксируя время уплотнения. Вибрирование продолжают до полного уплотнения, которое ха-

рактируется прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней цементного молока. Затем форму снимают, срезают излишки бетона и заглаживают поверхность образца.

Образцы в формах покрывают влажной тканью и хранят в помещении при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 1 суток, затем формы раскрывают, вынимают образцы из форм и маркируют. До момента испытания образцы хранят во влажных условиях в камере нормального твердения при температуре $(20 \pm 20)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 95 %.

Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними 10...20 мм.

3. Расчет фактического расхода материалов на 1 м³ бетона

Фактический расход материалов (цемент, вода, крупный и мелкий заполнитель) определяются после изготовления пробных замесов, получения бетонной смеси с требуемой удобоукладываемостью и определения ее плотности.

Фактический расход материалов на 1 м³ бетона рассчитывается по формулам

$$Ц^{\phi} = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{ц}; \quad (12.14)$$

$$В^{\phi} = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{в}; \quad (12.15)$$

$$МЗ^{\phi} = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{МЗ}; \quad (12.16)$$

$$КЗ^{\phi} = \frac{\rho_{б.см}}{\sum q} \cdot q_{КЗ} \quad (12.17)$$

где: $Ц^{\phi}$, $В^{\phi}$, $МЗ^{\phi}$, $КЗ^{\phi}$ – фактический расход соответственно цемента, воды, мелкого и крупного заполнителей на 1 м³ бетона, кг;

$q_{ц}$, $q_{в}$, $q_{МЗ}$, $q_{КЗ}$ – масса соответственно цемента, воды, мелкого и крупного заполнителей в замесе, кг;

$\rho_{б.см}$ – фактическая средняя плотность бетонной смеси (табл. 12.10), кг/м³;

$\sum q$ – суммарная масса всех материалов в опытном замесе, кг.

При использовании влажных заполнителей пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный. При таком пересчете количество влажных заполнителей увеличивается настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшают на величину, равную количеству воды в заполнителях:

$$Ц^{пр} = Ц^{\phi}, \quad (12.18)$$

$$МЗ^{пр} = МЗ^{\phi} + \frac{МЗ^{\phi} \cdot W_{МЗ}}{100} \quad (12.19)$$

$$КЗ^{пр} = КЗ^{\phi} + \frac{КЗ^{\phi} \cdot W_{КЗ}}{100}, \quad (12.20)$$

$$B^{пр} = B^ф - \frac{MЗ^ф \cdot W_{MЗ}}{100} - \frac{KЗ^ф \cdot W_{KЗ}}{100}, \quad (12.21)$$

где $C^ф$, $MЗ^ф$, $KЗ^ф$, $B^ф$ – фактический расход соответственно цемента, мелкого и крупного заполнителей, воды, на 1 м³ бетона, кг;

$W_{MЗ}$ и $W_{KЗ}$ – соответственно влажность мелкого и крупного заполнителей, %.

Производственный состав бетона по массе вычисляют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента:

$$1: \frac{MЗ^{пр}}{C^{пр}} : \frac{KЗ^{пр}}{C^{пр}} \text{ при } (B/C)_б = Z \quad (12.22)$$

Результаты расчетов составов (ориентировочного, фактического и производственного) заносят в табл. 12.11.

Таблица 12.11.

Расходы материалов на 1 м³ бетона

Составы	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетона				В/Ц
	цемент	вода	заполнители		
			крупный	мелкий	
Ориентировочный					
Фактический					
Производственный					

Заключение

Сравнить ориентировочный, фактический (уточненный) и производственный составы по расходу компонентов.

4. Определение расхода материалов на один замес в бетоносмесителе

Так как объем бетоносмесителя чаще всего таков, что выход готовой бетонной смеси не равен 1 м³ бетона, то для составления дозировки материалов на один замес необходимо состав бетона, рассчитанный на 1 м³ бетона, пересчитать в соответствии с емкостью бетоносмесителя. Если емкость барабана бетоносмесителя (новые модели) указывается в литрах готового замеса бетонной смеси ($V_{зам}$), то необходимо количество каждого компонента из производственного состава пересчитать по формулам:

$$C' = C^{пр} \cdot \frac{V_{зам}}{1000}, \quad (12.23)$$

$$B' = B^{пр} \cdot \frac{V_{зам}}{1000}, \quad (12.24)$$

$$KЗ' = KЗ^{пр} \cdot \frac{V_{зам}}{1000}, \quad (12.25)$$

$$MЗ' = MЗ^{пр} \cdot \frac{V_{зам}}{1000}, \quad (12.26)$$

где $C^{пр}$, $B^{пр}$, $MЗ^{пр}$, $KЗ^{пр}$ – производственный расход соответственно цемента, воды, мелко и крупного заполнителей на 1 м³ бетона, кг;

$V_{зам}$ – объем замеса бетонной смеси, л.

Если емкость бетоносмесителей (старые модели) указывается по суммарному объему загрузки сухих компонентов бетона (заполнителей и цемента), тогда следует определить по лабораторному составу коэффициент выхода бетона β , равный объему бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии, деленный на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на приготовление смеси:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{МЗ} + V_{КЗ}} + \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{нц}} + \frac{МЗ}{\rho_{нмз}} + \frac{КЗ}{\rho_{нкз}}}, \quad (12.27)$$

где: $V_{ц}$, $V_{МЗ}$, $V_{КЗ}$ – объем сухих составляющих, затраченных на приготовление 1 м³ бетонной смеси, м³;

$Ц$, $М.З.$, $К.З$ – расход сухих материалов на 1 м³ бетона, кг;

$\rho_{нц}$, $\rho_{нмз}$, $\rho_{нкз}$ – насыпная плотность сухих материалов, кг/м³.

Значение коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах $\beta = 0,55 \dots 0,75$.

Зная коэффициент выхода β , определяют объем бетона одного замеса

$$V_{зам} = V_{м} \cdot \beta \quad (12.28)$$

где: $V_{зам}$ – объем бетона одного замеса, м³;

$V_{м}$ – емкость бетоносмесителя, м³;

β – коэффициент выхода бетона.

Умножая массу каждого компонента лабораторного состава на объем бетона одного замеса, получим дозировку материала на замес бетоносмесителя:

$$Ц^3 = Ц_1 \cdot V_{зам} \quad (12.29)$$

$$B^3 = B_1 \cdot V_{зам} \quad (12.30)$$

$$KЗ^3 = KЗ_1 \cdot V_{зам} \quad (12.31)$$

$$MЗ^3 = MЗ_1 \cdot V_{зам} \quad (12.32)$$

Заключение

Сравнить ориентировочный, фактический и производственный составы бетона по расходу компонентов. Сделать выводы по результатам испытаний.

12.3. Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Классификация тяжелых бетонов.
2. Перечислить компоненты, входящие в состав бетона. Какова их роль?
3. Какие условия учитываются при выборе цементов для бетонов?
4. Перечислить и охарактеризовать основные свойства бетонной смеси.
5. Как определить подвижность и жесткость бетонной смеси? В каких единицах она выражается?
6. Для каких бетонов и как определяется жесткость?
7. Какие исходные данные надо иметь, чтобы подобрать состав бетона?
8. Описать влияние различных факторов на показатели удобоукладываемости бетонных смесей.
9. Почему подвижность бетонных смесей оценивают в сантиметрах, а жесткость – в секундах?
10. Какие используют способы уплотнения бетонной смеси? Какова их сущность?
11. В чем сущность основного закона прочности бетона?
12. Как влияет на свойства бетонной смеси и бетона излишняя вода?
13. Какие технологические и другие факторы определяют прочность бетона?
14. Какие цели и задачи преследует подбор состава бетона?
15. Изложить сущность расчетно-экспериментального метода проектирования состава бетона.
16. Как определить расход цемента на 1 м^3 бетона?
17. Как рассчитать количество крупного заполнителя на 1 м^3 уплотненной бетонной смеси?
18. Как определить расход песка на 1 м^3 бетона?
19. Как рассчитать водоцементное отношение (В/Ц) для пластичной бетонной смеси?
20. Как определить ориентировочный расход воды на 1 м^3 бетонной смеси?
21. Как обозначается состав бетонной смеси?
22. Чем отличается производственный (рабочий) состав бетона от лабораторного (номинального)?
23. Какие факторы влияют на величину коэффициента раздвижки зерен при определении расхода крупного заполнителя?
24. Как определить расход материалов на один замес бетоносмесителя?
25. Что понимают под коэффициентом выхода бетона? Как он определяется?
26. Как приготавливается бетонная смесь в лабораторных условиях на металлическом поддоне (бойке)?

12.4. Литература

1. Технология бетона: учебник / Баженов Ю. М. - 5-е издание. – Москва : Издательство АСВ, 2015. - 528 с.
2. СТБ 1544. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
3. СТБ 2221. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия.
4. СТБ 1545. Смеси бетонные. Методы испытаний.
5. СТБ 1112. Добавки для бетонов.
6. СТБ 1114. Вода для бетонов и растворов.
7. СТБ 1035. Смеси бетонные. Технические условия.
8. СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава.

Лабораторная работа № 13

ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Цель работы

1. Освоить методику определения предела прочности бетона при сжатии разрушающим и неразрушающим методами;
2. Ознакомиться с приборами и оборудованием для определения прочности бетона при сжатии разрушающим и неразрушающим методами;
3. Определить предел прочности тяжелого бетона разрушающим и неразрушающим методами.

13.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. На каких образцах определяют предел прочности бетона на сжатие?
2. В каком возрасте бетона определяют его марку M и класс по прочности на сжатие C ?
3. Что означает показатель марка M и класс бетона по прочности C ?
4. Чем отличается разрушающий метод испытаний от неразрушающего?
5. Какие имеются неразрушающие методы определения (оценки) прочности бетона?
6. На каком принципе основаны неразрушающие методы определения прочности бетона?
7. В чем сущность ультразвукового метода определения прочности бетона?
8. Что является косвенной характеристикой при определении прочности бетона ультразвуковым методом?

13.2. Задание к лабораторной работе

Задание 1. Определение предела прочности тяжелого бетона разрушающим методом.

Задание 2. Определение прочности бетона неразрушающим методом ударного импульса.

Задание 3. Определение прочности бетона неразрушающим ультразвуковым методом.

Общие сведения о тяжелом бетоне

Бетон — *материал неоднородный*: его прочность колеблется от замеса к замесу, и даже образцы, взятые из одного замеса, могут заметно отличаться по прочности. Это объясняется изменчивостью в качестве сырья, неточностью его дозировки, неоднородностью при перемешивании и уплотнении, различием в режиме твердения. Поэтому средняя кубиковая прочность (средняя прочность бетона на осевое сжатие) f_{cm} и определяемая ранее на ее основе марка бетона M не давала гарантии получения именно этой прочности бетона (прочность может оказаться как больше, так и меньше).

Поэтому было введено понятие **класс бетона по прочности** – прочность бетона в проектном возрасте с гарантированной обеспеченностью 0,95. Это значит, что установленная классом прочность обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

Прочность на сжатие является важнейшим **классификационным** показателем, характеризующим технические свойства бетона, как строительного материала. Технические нормативные документы определяют прочность бетона на сжатие f_c , как максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии. **Среднее значение прочности** бетона на осевое сжатие, получаемое по результатам испытаний серии опытных образцов, обозначают f_{cm} (ранее обозначаемая $R_{см}$). Следующими величинами, непосредственно вытекающими из таким образом определенной средней прочности бетона на сжатие являются:

– **Гарантированная прочность бетона (класс)**, определяемая как прочность бетона на осевое сжатие, установленная с учетом статистической изменчивости в соответствии с требованиями действующих стандартов на кубах со стороной 15 см, гарантируемая предприятием-производителем и обозначаемая $f_{c.cube}^G$ (обозначаемая как класс B по СТБ 2221).

– **Класс бетона по прочности на сжатие (СТБ 1544)** – количественная величина, характеризующая качество бетона, соответствующая его гарантированной прочности на осевое сжатие, обозначаемая буквой «С»⁹ и числами: перед чертой – выражающими значение нормативного сопротивления (f_{ck} , МПа), после черты – гарантированной прочности бетона ($f_{c.cube}^G$, МПа), определяемой по стандартной методике при испытании кубов с размером ребра 150 мм с учетом статистической изменчивости прочности с обеспеченностью 0,95.

– **Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию (f_{ck})** – контролируемая прочностная характеристика бетона, определяемая с учетом статистической

⁹ С – бетон (англ. “concrete”)

изменчивости. Обеспеченность нормативных значений прочностных характеристик бетона устанавливаются соответствующими нормативными документами для отдельных видов строительных конструкций с учетом их массивности. В качестве базового значения обеспеченность нормативных значений прочностных характеристик с учетом статистической изменчивости принимается 0,95.

– При проектировании бетонных и железобетонных и предварительно напряженных конструкций нормы устанавливают следующие классы конструктивных бетонов по прочности на осевое сжатие:

– для тяжелых, в том числе и напрягающих: $C\ 8/10$, $C\ 12/15$, $C\ 16/20$, $C\ 20/25$, $C\ 25/30$, $C\ 30/37$, $C\ 35/45$, $C\ 40/50$, $C\ 45/55$, $C\ 50/60$, $C\ 55/65$, $C\ 55/67$, $C\ 60/75$, $C\ 70/85$, $C\ 80/95$, $C\ 95/105$;

– для легких (при $\rho_0 \geq 1000 \text{ кг/м}^3$): $LC\ 8/10$, $LC\ 12/15$, $LC\ 16/20$, $LC\ 20/25$, $LC\ 25/30$, $LC\ 30/37$, $LC\ 35/45$, $LC\ 40/50$, $LC\ 45/50$ ¹⁰;

– для мелкозернистых группы А (естественного твердения или подвергнутые тепловой обработке при атмосферном давлении на песке с модулем крупности не более 2,0): $C\ 8/10$, $C\ 12/15$, $C\ 16/20$, $C\ 20/25$, $C\ 25/30$, $C\ 30/37$, $C\ 35/45$;

– для мелкозернистых группы Б (то же с модулем крупности 2,0 не менее): $C\ 8/10$, $C\ 12/15$, $C\ 16/20$, $C\ 20/25$, $C\ 25/30$.

Принятое **обозначение класса бетона по прочности на сжатие** удобно при выполнении расчетов, т.к. несет необходимую исходную информацию. Так, например, при заданном классе бетона $C\ 30/37$ нормативное сопротивление бетона, выраженное числом над чертой равно $f_{ck} = 30$ МПа. При нормируемом коэффициенте безопасности по бетону $\gamma_c = 1,5$ расчетное сопротивление бетона сжатию составит $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 30 / 1,5 = 20$ МПа

Нормативное сопротивление бетона f_{ck} определяют на бетонных цилиндрах высотой 300 мм, которые дают достаточно объективную оценку прочности бетона в условиях одноосного сжатия.

Однако испытание кубов остается, в ближайшем будущем, основным способом контроля прочности бетона на производстве. Поэтому гарантированная прочность (класс) f_c^G *cube* определяется на альтернативном образце (куб – 150 x 150 x 150 мм)

Но **гарантированная прочность бетона f_c^G *cube***, установленная при испытании стандартных кубов, характеризующая его качество, и необходимая для производственного контроля, *не применяется* при проектировании бетонных и железобетонных конструкций. В этом случае применяется нормативное сопротивление f_{ck} .

¹⁰ LC – легкий бетон (англ. “light concrete”)

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и характеристиками бетона приведено в справочной таблице 13.1.

Таблица 13.1.

**Соотношение между классами и характеристиками бетона
по прочности на сжатие**

Класс бетона				Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов (при подборе состава) $f_{с.тр}$, МПа
СТБ 2221	по СТБ 1544			
	обозначение	характеристики прочности бетона, МПа		
		f_{ck}	$f_{c.cube}^G$	
B10	C8/10	8	10	12,8
B12,5	C10/12,5	10	12,5	16,0
B15	C12/15	12	15	19,2
B20	C16/20	16	20	25,6
B22,5	C18/22,5	18	22,5	28,8
B25	C20/25	20	25	32,0
B27,5	C22/27,5	22	27,5	35,2
B30	C25/30	25	30	38,4
B35	C28/35	28	35	44,8
-	C30/37	30	37	47,4
B40	C32/40	32	40	51,2
B45	C35/45	35	45	57,6
B50	C40/50	40	50	64,0
B55	C45/55	45	55	70,4
B60	C50/60	50	60	76,8
-	C55/67	55	67	85,8
B75	C60/75	60	75	96,0
-	C70/85	70	85	108,8
-	C80/95	80	95	121,6
-	C90/105	90	105	134,4

Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов $f_{с.тр}$ (ранее называемая **марка бетона по прочности M**) – показатель, необходимый при расчете состава бетона; им пользуются в лабораториях, на заводах по изготовлению сборных железобетонных конструкций.

Маркой бетона называется нормированная прочность, которой должно соответствовать среднее значение прочности на сжатие, полученное при испытании **эталонных кубов** размером 150x150x150 мм в 28-суточном возрасте.

Определяют **требуемую марку бетона M** (среднее значение прочности) по результатам испытаний серии стандартных кубов с ребром 150 мм (опытных образцов), изготовленных из рабочей бетонной смеси, твердеющих в нормальных влажностных условиях и испытанных в возрасте 28 суток. При испытании контрольных образцов-кубов на осевое сжатие других размеров для приведения к прочности

стандартных кубов с ребром 150 мм вводятся поправочные коэффициенты (ГОСТ 10180), приведенные в табл.13.2.

Таблица 13.2.

Значение масштабных коэффициентов для тяжелого бетона

Кубы с ребром, мм	70	100	150	200	300
Значение масштабного коэффициента	0,85	0,95	1,0	1,05	1,1

Средняя прочность бетона каждого класса **B** определена по ГОСТ 25192 при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 % (0,135) по формуле:

$$\bar{R}_m = \frac{B}{0,980665(1 - 1,64 \times 0,135)} = \frac{B}{0,764} \quad (13.1)$$

где **B** – численное значение класса бетона по ГОСТ 26663, МПа; 0,980665 – переходный коэффициент от МПа к кгс/м².

В общем виде зависимость между классом бетона по прочности **B** и его средней прочностью в контролируемой партии бетона **R_m** имеет вид:

$$B = R_m (1 - tK_v) \quad (13.2)$$

где **R_m** – средняя прочность бетона, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа; **B** – класс бетона по прочности, МПа; **K_v** – коэффициент вариации прочности бетона; **t** – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона (доверительную вероятность). При обеспеченности класса бетона 95 % $t=1,64$.

Если бетонные образцы испытаны не в возрасте 28 суток, то предел прочности при сжатии вычисляется по формуле (по логарифмической зависимости).

$$f_{c,28} = f_{c,n} \left(\frac{\lg 28}{\lg n} \right), \quad (13.3)$$

где **f_{c,28}** – прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток, МПа; **f_{c,n}** – то же в возрасте **n** суток, МПа; **n** – число суток твердения бетона.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА РАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

Предел прочности бетона при сжатии определяют разрушающим методом на образцах-кубах или неразрушающим методом в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях.

При *разрушающем методе* испытаний контрольные образцы испытывают на осевое сжатие до разрушения на гидравлическом прессе и прочность бетона на осевое сжатие f_c вычисляют по формуле:

$$f_c = \frac{F}{A} \cdot \alpha \quad (13.4)$$

где: f_c – максимальное сжимающее напряжение в бетоне при одноосном напряженном состоянии, МПа;

F – разрушающая усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм;

α – масштабный коэффициент, учитывающий переход к прочности базовых образцов размером 150x150x150 мм (табл. 13.2).

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический.
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Металлическая линейка.
5. Образцы-кубы с ребром 100 мм.

Методика испытаний

Подготовку образцов к испытаниям и сами испытания производят в соответствии с ГОСТ 10180.

Образцы извлекают из камеры нормально-влажностного хранения, визуально осматривают их, удаляют напильником или абразивным камнем обнаруженные на ребрах и опорных гранях дефекты в виде наплывов. Образцы с трещинами, сколами ребер глубиной более 10 мм, раковинами диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм *испытанию не подлежат*. Затем на образцах определяют грани, к которым должно быть приложено усилие при испытании и отмечают эти грани мелом. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающее усилие при нагружении образца было направлено параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму (перпендикулярно направлению уплотнения). Линейные размеры образцов-кубов измеряют металлической линейкой или штангенциркулем с погрешностью до 1 %, а затем определяют

массу на технических весах. Рабочую площадь сечения образца в мм² определяют, как среднее арифметическое площадей обеих опорных граней.

После извлечения из камеры нормально-влажностного твердения образцы перед испытанием выдерживают в течение 4 ч в помещении лаборатории при температуре воздуха в пределах (20 ± 5) °С и относительной влажности воздуха не менее 55 %.

Образец устанавливают одной из рабочих граней в центре нижней опорной плиты гидравлического пресса. Шкалу силоизмерителя пресса выбирают из условия, что ожидаемое разрушающее усилие должно быть в пределах $(20 \dots 80)$ % максимальной нагрузки F выбранной шкалы пресса. Затем совмещают верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью образца, включают пресс и начинают нагружение, которое должно производиться непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с. Образец нагружают до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с.

Максимальное усилие, которое было достигнуто в процессе нагружения, принимают за разрушающее усилие F .

Предел прочности при сжатии бетона в МПа вычисляют по формуле (13.4) как отношение разрушающего усилия F (в Н) к первоначальной площади поперечного сечения образца A (в мм²).¹¹

Значение предела прочности на сжатие бетона f_{cm} вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение в серии опытных образцов:

1. из двух образцов – по двум образцам;
2. из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;
3. из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;
4. из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

Результаты испытаний

Результаты определения средней плотности бетона и прочности бетона на сжатие заносят в табл. 13.3.

¹¹ В строительной практике иногда применяют старую единицу напряжения (прочности) – кгс/см² ≈ 0,1 МПа

Таблица 13.3.

Физико-механические характеристики испытанного бетона

Показатели	№ образцов		
	1	2	3
Масса образца m , г			
Средняя рабочая площадь образца A , мм ²			
Высота образца h , мм			
Объем образца V , см ³			
Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³			
Величина разрушающего усилия F , кН			
Предел прочности образца на сжатие f_c , МПа			
Средний предел прочности бетона на сжатие f_{cm} , МПа			

Среднюю прочность бетона на сжатие, полученную на альтернативных опытных образцах-кубах с ребром 100 мм, приводят к прочности стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм путем умножения на масштабный коэффициент, принимаемый по табл. 13.2.

По результатам испытаний бетонных образцов-кубов вычисляют коэффициент вариации (изменчивости)

$$v = \frac{S}{f_{cm}} \quad (13.5)$$

где: S – среднее квадратичное отклонение результатов испытаний на сжатие.

$$S = \frac{f_{c \max} - f_{c \min}}{d} = \frac{\omega_m}{d} \quad (13.6)$$

где: $f_{c \max}$ и $f_{c \min}$ – соответственно максимальный и минимальный результат испытаний, МПа;

ω_m – размах (варьирование) f_c ;

d – коэффициент, зависящий от числа единичных измерений значений прочности (табл. 13.4).

Таблица 13.4.

Значение коэффициента d

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,13	1,69	2,06	2,33	2,35	2,70	2,85	2,97	3,08

Гарантированную прочность бетона находят по формуле:

$$f_{c.cube}^G = f_{cm}(1 - 1,64 \times v) \quad (13.7)$$

По значению гарантированной $f_{c.cube}^G$, и полученной фактической f_{cm} прочности определяют класс бетона по прочности на сжатие.

Для сравнения вычисляем также класс бетона при коэффициенте вариации 0,135 (т.е. 13,5 %), что соответствует бетону удовлетворительного качества и принято в нормативных документах при расчете конструкций из тяжелого бетона.

Заключение

Указать класс бетона по прочности на сжатие С в возрасте 28 суток, определенный при рассчитанном коэффициенте вариации и при нормативном коэффициенте вариации (13,5 %).

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ УДАРНОГО ИМПУЛЬСА

Результаты определения прочности бетона, полученные при испытании на сжатие образцов-кубов, не всегда отражают фактическую прочность бетона в бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях. Часто возникает потребность определить прочность бетона в более поздние сроки, чем 28 суток, для чего необходимо изготавливать дополнительное количество контрольных образцов. Иногда необходимо оценить прочность бетона ранее возведенных железобетонных конструкций и сооружений.

С учетом этого разработаны и стандартизированы ряд неразрушающих методов, позволяющих определить прочность бетона в различных местах конструкций без их разрушения.

Количественная оценка свойств материала такими способами производится по косвенным показателям – скорости распространения ультразвукового импульса (ультразвуковой способ), по частоте собственных колебаний (резонансный), величине пластической деформации (механические) и др.

В данной работе для определения прочности бетона неразрушающим способом будет использован электронный измеритель прочности бетона ИПС-МГ4 (рис. 14.1).

Измерение прочности бетона заключается в нанесении на контролируемом участке изделия серии до 15 ударов, электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающим от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства испытываемого материала, преобразует параметр импульса в прочность и вычисляет соответствующий класс бетона.

Контроль прочности может производиться в соответствии с СТБ 2264 по результатам испытания контрольных образцов размером не менее 100x100x100 мм или по результатам определения прочности бетона в изделиях и конструкциях.

Прибор обеспечивает определение прочности в диапазоне 3-100МПа с погрешностью $\pm 10\%$ при температурах $-10...+40^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха до 80%. Прибор выполнен в виде двух блоков: — блок электронный; — склерометр (преобразователь).



Рис. 13.1. Электронный измеритель прочности бетона ИПС-МГ4:
1 – блок электронный; 2 – склерометр (преобразователь).

Приборы и материалы

1. Электронный измеритель прочности бетона ИПС-МГ4 (рис. 14.1).
2. Пресс гидравлический.
3. Бетонные образцы-кубы (того же состава, что и в задании 1).

Методика испытаний

Испытания в лаборатории производятся на образцах-кубиках размером $100\times 100\times 100\text{мм}$ на боковых поверхностях (по направлению бетонирования). Образцы зажимаются в прессе с усилием $30\pm 5\text{кН}$ (3000кгс). Расстояние между точками испытания должно быть не менее 15мм, а от края образца – не менее 50мм. Число испытаний на участке – не менее 10, поверхность на участке испытания должна быть гладкой. В случае необходимости используют зачистку поверхности образца абразивным камнем. Места нанесения удара необходимо выбирать по возможности между границами крупного заполнителя.

Порядок испытаний:

1. подключают склерометр к электронному блоку и включают питание;
2. располагают склерометр таким образом, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности. Склерометр должен опираться на три точки. Усилие прижатия должно быть таким, чтобы в момент нажатия на спусковой крючок и соударения бойка с бетонной поверхностью не происходило отрыва опорных точек под действием реактивных сил.
4. нажатием спускового крючка приводят в действие склерометр, при этом полученный результат автоматически записывается в память прибора для дальнейшей обработки. Цикл измерений состоит из 10-15 замеров.
5. после выполнения последующего замера автоматически производится обработка измерений, а на индикаторе дается конечный результат прочности бетона, МПа.
6. при большом разбросе данных необходимо повторить испытания. За окончательный результат принимают среднюю прочность бетона, определяемую как среднее арифметическое значений прочности испытываемых образцов.

Заключение

Сравнить результаты определения прочности на сжатие разрушающим и не разрушающим способом, сделать вывод.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Сущность неразрушающего ультразвукового метода заключается в определении прочности бетона по тарировочной зависимости «предел прочности – скорость ультразвукового импульса», полученной при параллельных неразрушающих и разрушающих испытаниях на специально приготовленных образцах. Для испытаний используется не менее 15 серий образцов-кубов, изготовленных в соответствии с требованиями ГОСТ 10180.

Упругие колебания в материале возникают при ударе или другом импульсном воздействии, например, ультразвуковом. Ультразвуковые волны получают путем использования пьезоэлектрического эффекта.

Пьезоэлектрический эффект основан на том, что в некоторых материалах при приложении механических напряжений возникают электрические заряды (прямой пьезоэлектрический эффект), и, наоборот, при воздействии электрического поля на материал в нем возникают механические напряжения (обратный пьезоэлектриче-

ский эффект). К числу материалов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, относятся кристаллы кварца SiO_2 , турмалина $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cr}, \text{Al})_3$, сегнетовой соли $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, титаната бария BaTiO_3 и др.

Широкое распространение в промышленности получили кристаллы сегнетовой соли $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Для возбуждения и приема ультразвуковых волн пластинки, вырезанные из кристаллов, монтируются в специальных металлических обоймах-щупах. Соединение щупа с прибором осуществляется с помощью коаксиального кабеля.

Принципиальная схема ультразвукового импульсного прибора приведена на рис. 13.2.

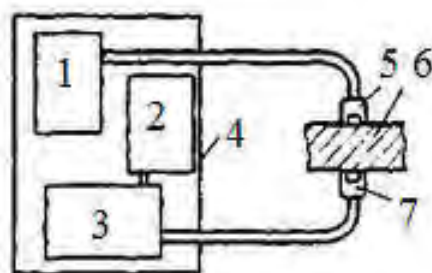


Рис. 13.2. Схема ультразвукового прибора:

1 – генератор; 2 – индикатор; 3 – усилитель; 4 – корпус; 5 – щуп-излучатель;
6 – изделие; 7 – щуп-приемник

Высокочастотный генератор 1 производит в 1с около 50 электрических импульсов длительностью около 10 мкс, которые в излучателе 5 пьезоэлектрическим способом преобразуются в ультразвуковые механические импульсы, распространяющиеся в испытываемом материале 6. Приемник 7 благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту, опять превращает их в электрические импульсы, которые усиливаются перед показом на индикаторе регистрирующей аппаратуры 2. Индикатор снабжен автоматическим устройством, передающим на экран прибора цифровую информацию. Такой способ дает возможность прозвучивать бетон толщиной до 5000 мм. Применяемые ультразвуковые частоты находятся, в основном, в пределах 40...60 кГц. Если нужно прозвучивать расстояния до 100 мм, выбирают частоты до 200 кГц. Сталь испытывают при частотах от 1 до 10 мГц.

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости «скорость – прочность» измеряют способом сквозного прозвучивания в соответствии с требованиями ГОСТ 17624. База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Время распространения ультразвука в образцах при установ-

лении градуировочной зависимости «время – прочность» измеряют способом поверхностного прозвучивания (рис. 13.3). Минимальная база прозвучивания должна быть *не менее 120 мм*.

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть при сквозном прозвучивании 3, при поверхностном – 4. Отклонение отдельного результата измерения времени распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения результатов измерений для данного образца не должно превышать 2%. Результаты измерения времени распространения ультразвука в образцах, не удовлетворяющие этому условию, не учитывают при расчете среднего арифметического значения скорости распространения ультразвука в данной серии образцов. При наличии в серии двух образцов, не удовлетворяющих этому условию, результаты серии бракуют.

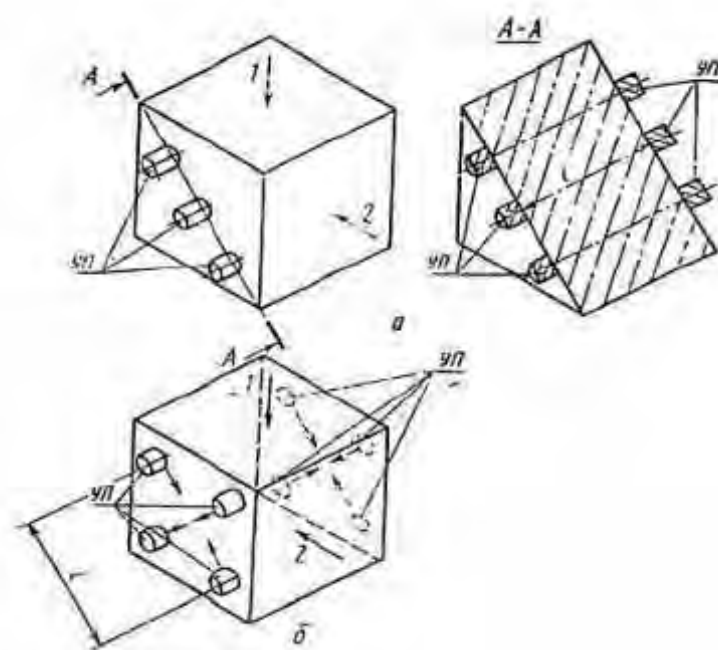


Рис. 13.3. Измерение времени распространения ультразвука в образцах:
 а – схема испытания кубов способом сквозного прозвучивания;
 б – схема испытания кубов способом поверхностного прозвучивания:
 1 – направление формования образцов;
 УП – ультразвуковые преобразователи;
 2 – направление испытаний при сжатии; *l* – база прозвучивания

Приборы и материалы

1. Ультразвуковой импульсный прибор УК-100.
2. Пресс гидравлический.
3. Линейка металлическая.
4. Бетонные образцы-кубы.

Методика испытаний

При переходе звуковых волн от излучателя к испытываемому образцу или от образца к приемнику поверхностный контакт оказывает большое влияние на значение передаваемой энергии. На контактной поверхности не должно быть воздушного слоя, поэтому при присоединении излучателя приемника к испытываемому образцу используют консистентную жидкую смазку (солидол, технический вазелин, пластилин, меловую пасту и т.п.). Соединительный слой должен быть возможно более тонким.

В зоне контакта ультразвуковых преобразователей с поверхностью бетона не должно быть раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм, а также выступов более 0,5 мм. Поверхность бетона следует очистить от пыли.

Последовательность выполнения работы:

1. Проверить по паспорту данные питающей сети – величину стабильного напряжения и частоту сети.
2. Для создания постоянного теплового режима прибор прогревать в течение 15...20 мин.
3. Произвести установку нуля с помощью эталона (с заранее известным временем прохождения ультразвука).
4. Подготовить журнал записи результатов испытаний образцов.
5. Разметить на образцах точки прозвучивания.
6. Нанести для контакта смазку на поверхность ультразвуковых преобразователей (УП) и бетонных образцов.
7. Установить УП на образец и произвести измерение времени и скорости распространения ультразвука.
8. Определить геометрические размеры образцов и их массу.
9. Провести испытание на прочность при сжатии.
10. Записать в таблицу значения скорости ультразвука и прочности.
11. Произвести отбраковку аномальных результатов.
12. Определить среднее арифметическое по всем сериям.
13. Проверить, линейному или экспоненциальному виду уравнения соответствует градуировочная зависимость «скорость – прочность»,
14. Определить коэффициенты уравнения. Записать его.
15. Графически выразить зависимость «скорость – прочность».
16. Найти погрешность установленной зависимости.

Методика установления градуировочных зависимостей и оценки погрешности определения прочности следующая:

Градуировочные зависимости устанавливаются в виде графика (или таблицы), построенного по уравнению, которое принимают:

1) линейного вида:

$$R_H = a_0 + a_1 v \quad (13.8)$$

при $R_{\max} - R_{\min} \leq 2R_\phi(60 - R_\phi)/100$

2) экспоненциального вида

$$R_H = b_0 e^{b_1 v} \quad (13.9)$$

где v – скорость (время) распространения ультразвука;

R_H – прочность, определенная по уравнению МПа;

R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значение прочности в серии испытанных образцов, МПа;

R_ϕ – средняя прочность бетона испытанных образцов в серии, МПа;

a_0, a_1, b_1, b_0 – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$a_0 = \bar{R}_\phi - a_1 \bar{v} \quad (13.10)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{R}_\phi - R_{j\phi})(\bar{v} - v_j)}{\sum_{j=1}^n (\bar{v} - v_j)^2} \quad (13.11)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (\bar{v} - v_j)(\ln \bar{R}_\phi - \ln R_{j\phi})}{\sum_{j=1}^n (\bar{v} - v_j)^2} \quad (13.12)$$

$$b_0 = e^{\ln \bar{R}_\phi} - b_1 \bar{v} \quad (13.13)$$

где \bar{v} – средняя скорость ультразвука в серии всех образцов, м/с;

$R_{j\phi}, v_j$ – единичные значения прочности и скорости ультразвука для j -й серии образцов;

$$\bar{R}_\phi = \frac{\sum_{j=1}^n R_{j\phi}}{N} \quad (13.14)$$

$$\bar{v} = \frac{\sum_{j=1}^n v_j}{N} \quad (13.15)$$

$$\ln \bar{R}_\phi = \frac{\sum_{j=1}^N \ln R_{j\phi}}{N} \quad (13.16)$$

где \bar{R}_ϕ – средняя прочность бетонов, испытанных при установлении градуированной зависимости, МПа;

N – число серий образцов, испытанных при установлении градуировочной зависимости;

$R_{j\phi}$, v_j – единичные значения прочности и скорости (времени) распространения ультразвука для j -й серии образцов;

R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значение прочности по испытанным сериям образцов, МПа.

Результаты измерения скорости ультразвука заносим в образцах серии и определения предела прочности при сжатии бетона испытанных образцов-кубов заносят в табл. 13.5. Вычисляют среднюю скорость ультразвука в серии 3-х образцов и средний предел прочности испытанных образцов.

Средние значения скорости ультразвука и предела прочности бетона испытанных 20-ти серий образцов для статистической обработки результатов испытаний, вычисления коэффициентов a_0 и a_1 (уравнения 13.10 и 13.11) зависимости «прочность бетона – скорость звука» заносят в табл. 13.5.

После вычисления коэффициентов a_0 и a_1 записывают уравнение градуировочной зависимости:

$$R_{jн} = a_0 + a_1 v \quad (13.17)$$

Таблица 13.5.

Результаты испытаний образцов

№ образца	Ультразвуковые измерения				Результаты механических испытаний			
	Номер точки прозвучивания	Скорость ультразвука, v_i , м/с	Средняя скорость ультразвука в образце, м/с	Средняя скорость ультразвука в серии образцов, м/с	Разрушающее усилие, кН	Рабочая площадь образца, A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	
							частный	средний по серии
1	1							
	2							
	3							

Вычисляют прочность бетона $R_{jн}$ в каждой серии образцов по полученной градуировочной зависимости (13.17) и результаты записывают в табл. 13.6.

Таблица 13.6.

Результаты испытаний бетона и показатели статистической обработки

№ серии	$V_{j\phi}$, м/с	$R_{j\phi}$, МПа	$v_{\phi}-v_{j\phi}$, МПа	$R_{\phi}-R_{j\phi}$, МПа	$(v_{\phi}-v_{j\phi})(R_{\phi}-R_{j\phi})$, м/с, МПа	$(v_{\phi}-v_{j\phi})^2$, м/с	$(R_{\phi}-R_{j\phi})^2$, МПа	R_{jn} , МПа	$R_{\phi}-R_{jn}$, МПа	$(R_{\phi}-R_{jn})^2$, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										
2										
...										
20										

Проводят корректировку установленной градуировочной зависимости путем обработки единичных результатов, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{|R_{jn} - R_{j\phi}|}{S} \leq 2 \quad (13.18)$$

где: S – среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_{j\phi} - R_{jn})^2}{n - 2}} \quad (13.19)$$

где: R_{jn} - прочность бетона в j -й серии образцов, определенная по градуировочной зависимости 13.17.

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний.

Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты не станут удовлетворять условию формулы 13.18.

Результаты испытаний образцов, прочность бетона по градуировочной зависимости и результаты отбраковки заносят в табл. 13.7.

Таблица 13.7.

Результаты испытаний образцов и прочность бетона по градуировочной зависимости

№ серии	Скорость ультразвука	Прочность, МПа				$\frac{R_{jn} - R_{j\phi}}{S}$	
		по результатам испытаний на сжатие $R_{j\phi}$	по градуировочной зависимости $R_{j\phi}$		до отбраковки	после отбраковки	
			до отбраковки	после отбраковки			
1							
2							
...							
20							

Погрешность определения прочности бетона по установленным градуировочным зависимостям вычисляют по формуле:

$$S_T = \sqrt{S^2 + q^2 S_k^2} \quad (13.20)$$

где S_k^2 – среднеквадратическое отклонение коэффициента перехода (K), определенное в соответствии с ГОСТ 17624 При диагональном прозвучивании $S_k=0$.

Тогда для зависимости (13.8)

$$q = R_\phi - a_0 \quad (7.26)$$

для зависимости (13.9)

$$q = \ln \frac{R_\phi}{b_0} \quad (7.27)$$

Если $\frac{S_T}{R_\phi} \times 100\% > 12$, определение прочности бетона по ГОСТ 17624 не допускается.

Заключение

Так как отношение $\frac{S_T}{R_\phi} \times 100\%$ составляет _____%, что меньше 12 %, то согласно ГОСТ 17624 определение прочности бетона по установленной градуировочной зависимости $R_n =$ _____ допускается.

Преимущества и недостатки ультразвукового метода

Главное преимущество ультразвукового метода – возможность быстрого и надежного контроля прочности бетона всех изделий, выпускаемых заводом железобетонных конструкций. Можно организовать непрерывный контроль нарастания прочности в процессе термовлажностной обработки. Ультразвуковой метод в отличие от механических позволяет также определять свойства бетона не в поверхностном слое, а по всей толщине изделия, что существенно повышает надежность контроля качества.

Недостаток применения ультразвука для оценки прочности бетона в изделиях и конструкциях – сильное влияние некоторых технологических факторов на зависимость между прочностью ультразвуковых волн, что несколько обесценивает точность метода, особенно при испытании конструкций без бетона с неизвестными свойствами. Импульсным методом нельзя, например, контролировать прочность крупных массивных изделий и конструкций (толщиной 5 м и длиной свыше 10 м).

При испытании высокопрочных бетонов классов выше С40/50 и бетонов на пористых заполнителях классов ниже С8/10 ультразвуковой метод существенно уступает по прочности механическим методам. Кроме того, для ультразвуковых методов испытаний используют сложную радиотехническую аппаратуру, наладка и ремонт которой в полевых условиях затруднительны и требуют специалистов вы-

сокой квалификации. Однако ультразвуковой импульсный метод контроля прочности бетона – более технологичный, быстрый и удобный, чем существующие механические методы.

13.3. Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Каковы стандартные условия твердения контрольных образцов бетона?
2. Как рассчитать предел прочности бетона, если образцы размерами 100x100x100 мм испытывали в возрасте 28 суток?
3. Как рассчитать прочность бетона в нормальном 28-суточном возрасте, если контрольные образцы – кубы с размером 150x150x150 мм испытывали в возрасте 12 суток?
4. Сопоставить понятия «класс» и «гарантированная прочность» бетона. Какова их взаимосвязь?
5. Какие частоты механических колебаний называют ультразвуком?
6. Что такое пьезоэлектрический эффект?
7. Принцип работы ультразвуковых приборов.
8. Способы прозвучивания бетонных образцов?
9. В чем сущность сквозного и поверхностного прозвучивания?
10. Как достигается надежный контакт между испытываемым материалом и рабочей поверхностью ультразвуковых преобразователей?

13.4. Литература и нормативные документы

1. Строительные материалы: лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 632 с.
2. СТБ 1544. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия.
3. СТБ 2221. Бетоны конструкционные тяжелые для транспортного и гидротехнического строительства. Технические условия.
4. ГОСТ 10180. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
5. ГОСТ 18105. Бетоны. Правила контроля прочности.
6. ГОСТ 28570. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций.
7. СТБ 2264. Испытание бетона. Неразрушающий контроль прочности.
8. ГОСТ 17624. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

Лабораторная работа № 14

КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР

Цель работы

1. Ознакомиться с проблемой выбора состава растворной смеси для возведения каменных конструкций из кирпича, естественных или искусственных камней, блоков, панелей;
2. Определить основные показатели качества растворных смесей и готового строительного раствора;
3. Ознакомиться с технологическими и техническими требованиями к растворам;
4. Научиться принципам подбора состава растворной смеси;
5. Приобрести навыки выполнения стандартных испытаний растворной смеси и затвердевшего раствора.

14.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация строительных растворов по применяемым вяжущим.
2. Классификация строительных растворов по области их применения (назначению).
3. Чем отличаются сложные (смешанные) растворы от простых?
4. Какие заполнители применяют для изготовления строительных растворов?
5. Какими технологическими особенностями обладают строительные растворы?
6. От каких факторов зависят свойства строительных растворов?
7. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для того, чтобы установить марку строительного раствора?
8. Какое влияние на прочность при сжатии строительных растворов оказывает различное содержание воды?
9. Как можно повысить прочность на сжатие строительного раствора?

14.2. Задания к лабораторной работе

- Задание 1.** Определение состава и приготовление растворной смеси, готовой к употреблению.
- Задание 2.** Определение подвижности растворной смеси.
- Задание 3.** Определение средней плотности растворной смеси.
- Задание 4.** Определение выхода растворной смеси в опытном замесе.

Задание 5. Определение средней плотности и прочности на сжатие строительного раствора.

Общие сведения о строительных растворах

Раствор строительный – затвердевший материал, получаемый из смеси вяжущего, мелкого заполнителя, воды и, при необходимости, минеральных и химических добавок, структура которого формируется вследствие процесса твердения вяжущего.

Растворная смесь – это смесь компонентов раствора до затвердевания.

Согласно СТБ 1307 растворные смеси классифицируют по степени готовности на:

- растворные смеси, готовые к применению;
- растворные смеси предварительного изготовления;
- растворные смеси сухие.

Растворная смесь готовая к применению (РСГП) – смесь вяжущего, мелкого заполнителя и необходимых добавок, полностью затворенная водой, готовая к применению.

Растворная смесь предварительного изготовления (РСПИ) – смесь вяжущего, мелкого заполнителя и необходимых добавок, частично затворенная водой до подвижности от 1 до 3 см, перед применением дозатворяемая водой или растворами химических добавок в соответствии с указаниями изготовителя.

Растворная смесь сухая (РСС) – смесь сухих компонентов: вяжущего, мелкого заполнителя и необходимых добавок, перед применением затворяемая водой или растворами химических добавок в соответствии с указаниями изготовителя.

Строительные растворы разделяют на следующие группы:

По применяемым вяжущим:

- *простые*, с использованием одного вида вяжущего (цементные, известковые, гипсовые);
- *сложные*, с использованием смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые, известково-зольные);

По средней плотности:

- *тяжелые* (со средней плотностью ρ_0 1500 кг/м³ и более);
- *легкие* (со средней плотностью менее ρ_0 1500 кг/м³);

По назначению:

- *кладочные* (для каменной кладки стен, фундаментов, столбов, сводов и др.), в том числе *монтажные* (для заполнения швов между крупными элементами);
- *штукатурные* (для отделки внутренних стен, потолков, фасадов зданий);

- облицовочные (в том числе клеевые облицовочные);
- растворы для стяжек (в том числе для самонивелирующихся стяжек);
- ремонтные;
- гидроизоляционные;
- жаростойкие (на основе огнеупорных алюмосиликатных мертелей: кладочные или штукатурные).

В зависимости от назначения к растворам предъявляются различные требования, используются разные материалы и технологические приемы. Объектом данной лабораторной работы являются растворы, применяемые для кладки фундаментов, стен и других конструктивных элементов зданий и сооружений из кирпича, керамических камней, бутового камня, бетонных блоков или панелей.

Материалы для приготовления кладочных растворов

В качестве *вяжущего* для приготовления кладочных растворов используют преимущественно портландцемент или его разновидности. Наряду с цементом в состав раствора вводят также известь строительную. При невысоких требованиях к прочности раствора возможно применение и бесцементных смесей на известковых вяжущих.

В качестве заполнителя используют природный (чаще всего кварцевый) песок, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736, а также продукты промышленной переработки. Для легких растворов применяются пористые пески (СТБ 1217).

Предельная крупность зерен мелкого заполнителя (песка) D_{max} назначается:

- 1,25 – в штукатурных растворах для накрывочного слоя и однослойных покрытий;
- 2,50 – в штукатурных растворах для обрызга и грунта;
- 5,00 – в кладочных растворах.

В состав растворной смеси, кроме вяжущих и заполнителей, при необходимости вводят различные химические **добавки**: пластифицирующие, противоморозные, ускоряющие твердение, замедляющие схватывание. Применяют также тонкодисперсные наполнители (порошки), позволяющие сэкономить часть цемента.

Пластифицирующие добавки в цементных растворах могут быть:

- *неорганическими*: известь, глина, цементная пыль, зола-унос ТЭС (теплоэлектростанций)
- *органическими*: мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот, ЛСТ (лигносульфонат технический (прежнее название СДБ)), ГКЖ (гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости), СНВ, суперпластификатор С-3.

Органические пластификаторы – микропенообразователи, позволяют получать удобоукладываемые растворы при частичной или полной замене ими в растворе известкового теста.

Вода для приготовления растворных смесей не должна содержать веществ, которые могли бы помешать нормальному твердению вяжущих (СТБ 1114).

Показатели качества растворной смеси и затвердевшего раствора

Основными показателями качества растворных смесей являются:

- подвижность;
- жизнеспособность;
- водоудерживающая способность (для растворных смесей с подвижностью более 4 см);
- расслаиваемость;
- растекаемость (для растворных смесей самонивелирующихся стяжек);
- расчетная температура применения (при температуре воздуха ниже 0 °С);
- насыпная плотность (для сухих растворных смесей);
- влажность (для сухих растворных смесей).

Подвижность определяется согласно ГОСТ 5802 по глубине погружения в растворную смесь стандартного конуса. Она задается в зависимости от назначения растворной смеси (вида кладки).

Например, для марки П_{к3} для кладки из обыкновенного полнотелого кирпича и других полнотелых камней или блоков, а также для пустотелых, но с несквозными (невыходящими на верхнюю панель) пустотами – подвижность свыше 8 см до 12 см включительно; для марки П_{к2} для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней со сквозными пустотами – подвижность свыше 4 см до 8 см включительно.

В соответствии с СТБ 1307 в зависимости от подвижности растворные смеси подразделяются на марки (табл. 14.2).

Таблица 14.1.

Марки растворной степени по подвижности

Марка по подвижности	Глубина погружения конуса, см
П _{к1}	От 1 до 4 включ.
П _{к2}	Св. 4 до 8 включ.
П _{к3}	Св. 8 до 12 включ.
П _{к4}	Св. 12 до 14 включ.

Приведенные показатели подвижности имеют большое практическое значение. Чем они выше, тем больше способность раствора растекаться по поверхности камня тонким слоем, заполняя все его неровности и вертикальные швы кладки, что облегчает работу каменщика, снижает расход кладочного раствора за счет уменьшения толщины швов и повышает качество кладки. Однако при использовании пустотелых камней или кирпича (дырчатого, щелевого) приходится ограничивать подвижность растворной смеси во избежание его попадания в пустоты, что привело бы не только к перерасходу раствора, но и увеличило бы теплопроводность стен. Задаваемая подвижность растворной смеси зависит также от погодных условий при производстве работ: в сухой и жаркий период принимают подвижность большей, в дождливый – меньшей.

Подвижность растворной смеси зависит от вида и качества вяжущего, может регулироваться добавками, но, главным образом, определяется расходом воды.

Жизнеспособность – время сохранения подвижности растворной смеси в пределах одной марки по подвижности или консистенции.

По жизнеспособности растворные смеси подразделяют на группы по сохраняемости подвижности в пределах одной марки по подвижности (табл. 14.2.).

Таблица 14.2.

Группы по сохраняемости подвижности растворной смеси

Группа по сохраняемости подвижности	Время сохранения заданной марки растворной смеси по подвижности, мин.
St-1	До 30 включ.
St-2	Св. 30 до 60 включ.
St-3	Св. 60 до 90 включ.
St-4	Св. 90

Расслаиваемость растворной смеси характеризует ее связность, сопротивление оседанию песка (как наиболее тяжелого компонента) вниз. Чем меньше вяжущего и больше воды, тем сильнее расслаиваемость смеси, что затрудняет производство строительных работ, в частности, транспортирование растворной смеси, ведет к необходимости повторного ее перемешивания.

Водоудерживающая способность (V %) растворной смеси должна обеспечить нормальное твердение содержащегося в ней вяжущего при укладке тонким

слоем на отсасывающее воду основание. Водоудерживающая способность цементного раствора обычно невелика, что создает опасность его пересушивания в кладке и, как результат, задержки роста прочности. *Добавка извести способствует удержанию в растворе воды, необходимой для твердения цемента.*

Из перечисленных свойств (характеристик) растворных смесей, согласно ТНПА **обязательным** является определение ***подвижности и жизнеспособности***. Другие свойства определяют лишь при необходимости, диктуемой проектом или условиями производства работ.

Основными показателями качества растворов являются:

- прочность на сжатие;
- прочность на растяжение при изгибе (для растворов самонивелирующихся стяжек, ремонтных, гидроизоляционных, жаростойких);
- средняя плотность (для легких растворов);
- морозостойкость (для растворов, подвергающихся в процессе эксплуатации попеременному замораживанию и оттаиванию);
- прочность сцепления с основанием (адгезия) (для штукатурных, штукатурных теплоизоляционных, ремонтных, гидроизоляционных, жаростойких (штукатурных) растворов и растворов самонивелирующихся стяжек) и др.

Обязательным, по СТБ 1307, является определение ***предела прочности на сжатие $R_{сж}$*** .

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ является основной конструкционной характеристикой кладочного раствора, по которой производится его маркировка.

Условное обозначение растворной смеси

Условное обозначение растворной смеси должно состоять из:

- сокращенного обозначения растворной смеси по степени готовности,
- назначения раствора (для штукатурных растворов указывают применение: В — для внутренних работ, Н — для наружных работ; толщину наносимого покрытия: более 5 мм или менее 5 мм),
- вида применяемого вяжущего,
- средней плотности (для легких растворов),
- марки по прочности на сжатие,
- марки по морозостойкости (при необходимости),
- марки по водонепроницаемости (при необходимости и фактических значениях выше минимальных нормируемых),
- марки по адгезии (при необходимости и фактических значениях выше минимальных нормируемых),

- марки по подвижности (консистенции),
- группы по сохраняемости подвижности (консистенции).

Пример условного обозначения:

Растворная смесь предварительного изготовления, кладочная, на цементном вяжущем, марки по прочности М75, марки по подвижности Пк2, с транспортной подвижностью 3 см, группы по сохраняемости подвижности St-2:

РСПИ, кладочная, цементная, М75, Пк2(3), St-2 СТБ 1307-2012.

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Методика испытаний

Назначение марки кладочного раствора

Согласно СТБ 1307 по пределу прочности на осевое сжатие для строительных растворов установлены следующие марки:

М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200.

Указанные числа представляют собой минимальные для соответствующих марок значения предела прочности раствора на сжатие $R_{сж}$, выраженные в кгс/см². При выражении предела прочности раствора в МПа эти значения принимаются (с округлением) в 10 раз меньшими. Например, раствор марки 50 характеризуется пределом прочности не менее 5 МПа.

При назначении марки раствора при расчете каменных конструкций сначала определяют требуемую прочность кладки. Расчетное сопротивление сжатию кладки зависит от вида, размеров и прочности стенового материала (кирпич керамический и силикатный всех видов, керамические и силикатные камни, сплошные и пустотелые блоки из бетонов всех видов, блоки из природного камня и прочие), а также от прочности тяжелых растворов.

Приняв для кладки каменный материал и зная расчетное сопротивление сжатию кладки, по ТНПА можно определить, какая прочность раствора необходима и какой марке раствора она соответствует.

Исходные данные

Возможен ряд вариантов исходных данных, для подбора состава раствора, задаваемых студентам преподавателем.

Задание: *Определить состав кладочного цементно-известкового раствора марки _____ для _____ кладки в _____*
(наземной, подземной) (летних, зимних)
условиях в здании из _____ с относительной влажностью
(кирпича, камней, бута)
воздуха помещений _____ %.

(50-60%, 90-95%)

Требуемая прочность раствора $R_p =$ _____ МПа

Требуемая подвижность растворной смеси _____ см.

Принимаются следующие характеристики материалов:

Цемент Марка цемента _____

Активность цемента $R_{ц} =$ _____ МПа,

Насыпная плотность цемента, $\rho_{нц}$ _____ кг/м³.

Тесто известковое Плотность известкового теста $\rho_{ит}$ _____ кг/м³
(неорганический пластификатор)

Песок кварцевый Предельная крупность песка $D_{max} =$ _____ мм.

Насыпная плотность песка $\rho_{нп} =$ _____ кг/м³.

Влажность песка W _____ %

Последовательность подбора состава раствора следующая:

1) Предварительное определение состава растворной смеси.

Вследствие того, что расход цемента и неорганического пластификатора определяются из расчета на 1 м³ песка, расход песка $V_{п}$ принимается равным 1 м³,

или по массе $П$, кг :

$$П = 1 \cdot \rho_{нп}, \quad (14.1)$$

где $\rho_{нп}$ – насыпная плотность песка, кг/м³.

2) Определение расхода цемента на 1 м³ песка.

Для предварительного определения расхода цемента можно принять, что прочность кладочного раствора прямо пропорциональна расходу цемента и его активности. Количество цемента на 1 м³ песка естественной влажности в рыхлой засыпке $Ц$, кг, необходимое для получения раствора, заданной прочности R_p вычисляют по формуле:

$$Ц = \frac{830 \cdot R_p}{K_{п} \cdot R_{ц}} + 45, \quad (14.2)$$

где R_p – требуемая прочность (марка) раствора, МПа;

$R_{ц}$ – активность (марка) цемента, МПа;

$K_{п}$ – коэффициент, учитывающий качество песка:

$K_{п} = 1$ – для крупного песка ($M_k > 2,5$),

$K_{п} = 0,8$ – для песка средней крупности ($M_k = 2,0 \dots 2,5$) и

$K_{п} = 0,6 \dots 0,7$ для мелкого песка ($M_k < 2$).

Согласно требованиям ТНПА минимальный расход цемента в кладочных растворах определен: для конструкций, эксплуатируемых в нормальных влажностных

условиях – 100 кг на 1 м³ сухого песка, для конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности – 125 кг на 1 м³ сухого песка и 175 кг на 1 м³ сухого песка при мокром режиме помещений.

Поэтому, если в результате расчета по формуле (14.2) получается величина $\mathit{Ц}$ меньше указанной, ее следует повысить до указанной.

Затем вычисляют расход цемента по объему $V_{\mathit{Ц}}$, м³ на 1 м³ песка:

$$V_{\mathit{Ц}} = \frac{\mathit{Ц}}{\rho_{\mathit{нц}}}, \quad (14.3)$$

где $\rho_{\mathit{нц}}$ – насыпная плотность цемента, кг/м³.

3) Определение расхода известкового теста.

Расход неорганического пластификатора (известкового теста) на 1 м³ песка $V_{\mathit{ИТ}}$, м³ вычисляют по формуле:

$$V_{\mathit{ИТ}} = 0,17 \cdot \left(\frac{2 \cdot \mathit{Ц}}{1000} \right), \quad (14.4)$$

или по массе на 1 м³ песка $\mathit{ИТ}$, кг:

$$\mathit{ИТ} = V_{\mathit{ИТ}} \cdot \rho_{\mathit{ИТ}},$$

$\rho_{\mathit{ИТ}}$ – плотность известкового теста, кг/м³.

При применении известкового теста (или известкового молока) плотностью отличной от 1400 кг/м³ его количество по объему вычисляют умножением объема известкового теста плотностью 1400 кг/м³ на коэффициент приведения (табл. 14.3).

Таблица 14.3.

Значение коэффициента приведения

Плотность известкового теста $\rho_{\mathit{ИТ}}$, кг/м ³	Коэффициент приведения к тесту плотностью 1400 кг/м ³
1500	0,8
1450	0,89
1400	1,0
1350	1,14
1300	1,33
1250	1,6
1200	2,0

4) Определение расхода воды.

Расход воды для получения раствора заданной подвижности зависит от состава раствора, вида вяжущего и заполнителя и устанавливается в опытных замесах. Первоначальный расход воды на 1 м³ песка $\mathit{В}$, л, вычисляют приближено по формуле:

$$\mathit{В} = 0,5 \cdot (\mathit{Ц} + \mathit{ИТ}) \quad (14.5)$$

Состав раствора в частях характеризуют отношением:

Цемент : Известковое тесто : Песок

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{ИТ}{Ц} : \frac{П}{Ц} \text{ или } \frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{ИТ}}{V_{ц}} : \frac{V_{П}}{V_{ц}}$$

$$1 : ИТ : П \text{ или } 1 : V_{ИТ} : V_{П}$$

4) Приготовление опытного замеса и уточнение состава растворной смеси

Для приготовления опытного замеса необходимо определить расход песка, цемента и известкового теста.

Мерным сосудом отмеряем 3 л песка $V_{пз}$. Расход песка на опытный замес составит:

$$П_3 = 0,003 \cdot П, \text{ кг} \quad (14.6)$$

Определяем расход цемента на замес:

$$Ц_3 = 0,003 \cdot Ц, \text{ кг} \quad (14.7)$$

Расход известкового теста:

$$ИТ_3 = 0,003 \cdot ИТ, \text{ кг} \quad (14.8)$$

Расход воды следует подобрать опытным путем, исходя из заданной подвижности (см). Начальный расход воды затворения (не считая воды, содержащейся в известковом тесте и песке) определяется по формуле:

$$В_3 = 0,003 \cdot В, \text{ кг} \quad (14.9)$$

Расход воды для первого замеса принимают равным $0,9 В_3$.

Окончательный расход воды устанавливается опытным путем по достижении заданной подвижности.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ (по ГОСТ 5802)

Приборы и материалы

1. Прибор для определения подвижности растворной смеси (рис. 14.1).
2. Стальной стержень, диаметром 12 мм, длиной 300 мм.
3. Кельма.
4. Приготовленная растворная смесь.

Методика определения

Строительные растворы имеют специфические технологические особенности:

- укладка тонким слоем на водоотсасывающее пористое основание (кирпич, бетон);
- отсутствие специальных методов выравнивания и уплотнения;
- длительный период применения приготовленного объема раствора.

Поэтому растворные смеси должны быть пластичными, подвижными.

Удобоукладываемость свежеприготовленной растворной смеси характеризуется маркой по подвижности (Π_k), определяемой по глубине погружения (в см) в эту смесь эталонного конуса под действием собственной массы (рис. 14.1).

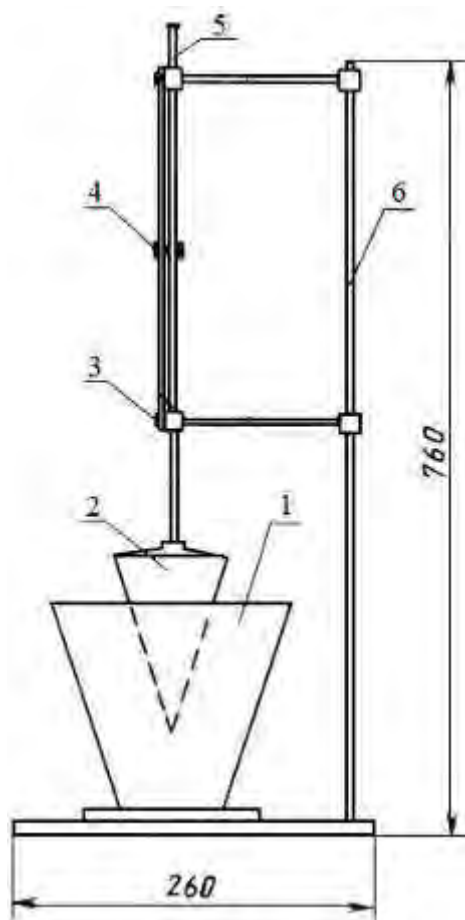


Рис. 14.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:
1 – сосуд; 2 – конус; 3- винт; 4 – шкала; 5 – стержень; 6 -штатив

Основная часть прибора для определения подвижности (рис. 14.1) – эталонный стальной конус 2 высотой 145 мм, диаметром основания 75 мм и массой 300 ± 2 г. В центре основания конуса закреплен стержень 5, свободно перемещающийся во втулках штатива 6. Винтом 3 конус можно закрепить на требуемой высоте. К штативу прикреплен шкала 4, по которой фиксируется перемещение конуса.

Среднюю пробу растворной смеси емкостью не менее 3 л перед испытанием **интенсивно перемешивают в течение 30 с** и переносят в стальной сосуд 1 (в форме усеченного конуса) высотой 180 мм, диаметром *верхнего* основания 250 мм, нижнего – 150 мм. Сосуд наполняют смесью на 1 см ниже его краев. Смесью уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 12 мм длиной 300 мм (25 раз) и встряхивают сосуд 5...6 раз легким постукиванием о стол.

Поверхность конуса 2 очищают от загрязнений и протирают влажной тканью.

Затем сосуд с растворной смесью устанавливают на площадку прибора так, чтобы острие конуса соприкасалось с центром поверхности растворной смеси.

Стержень 5 закрепляют зажимным винтом и фиксируют положение стрелки на шкале (снимают первый отсчет по шкале). Затем быстро отпускают стопорный винт и дают конусу свободно погружаться в растворную смесь. По окончании погружения (после остановки) снимают и записывают второй отсчет по шкале. Глубину погружения эталонного конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое значение результатов двух определений глубины погружения на разных пробах растворной смеси. Разница в показаниях при этом не должна превышать 20 мм.

По результатам испытаний определяют марку по подвижности P_k по табл. 14.1.

Если глубина погружения стандартного конуса оказывается меньше заданного показателя подвижности, добавляют малыми порциями воду (B_d). Перемешивают растворную смесь с добавкой воды, снова определяют подвижность и таким образом постепенно доводят смесь до заданной подвижности.

Результаты испытаний

Результаты опытов записываются в табл. 14.4.

Таблица 14.4.

Результаты определения подвижности растворной смеси

№ опыт а	Расход материалов на замес, кг					Подвижность растворной смеси, см
	Цемент, C_3	Известковое тесто, IT_3	Песок, P_3	Вода, B_3	Добавка воды, B_d	
1						
2						
3						

Заключение

Если при подборе дозировки воды выполнено несколько опытов, зависимость подвижности растворной смеси от добавки воды полезно представить графически и сделать выводы из характера полученной кривой.

Задание 3. ОПРЕДЕЛИТЬ СРЕДНЮЮ ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Когда растворная смесь требуемой подвижности получена, следует определить ее среднюю плотность ρ_0 по ГОСТ 5802.

Приборы и материалы

1. Стальной цилиндрический сосуд вместимостью 1 л.
2. Весы лабораторные.
3. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм.

4. Стальная линейка 400 мм.

Методика определения

Определение средней плотности растворной смеси ρ_0 определяется в литровом сосуде. Перед испытанием определяют массу пустого сосуда (m_0) с погрешностью до 2 г. Затем его наполняют с некоторым избытком растворной смесью, уплотненной штыкованием стальным стержнем 25 раз и легким постукиванием сосуда о стол (5 – 6 раз). Избыток смеси срезают стальной линейкой вровень с краями сосуда, наружные поверхности сосуда протирают, удаляя прилипшую растворную смесь, и определяют массу сосуда (m_1) с погрешностью до 2 г.

Среднюю плотность пробы растворной смеси ρ_0 (в кг/м³) определяют по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_1 - m_0}{V} \quad (14.10)$$

где: m_1 – масса сосуда с растворной смесью, г;

m_0 – масса пустого сосуда, г;

V – вместимость сосуда, м³ (1 л = 0,001 м³).

За среднюю плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений на различных пробах смеси (расхождение значение средней плотности проб не должно превышать при этом 5 % от меньшего значения).

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе растворной смеси.

Результаты испытаний

Результаты опытов заносят в табл. 14.5.

Таблица 14.5.

№ опыта	Масса пустого сосуда m_0 , кг	Масса сосуда с растворной смесью m_1 , кг	Объем сосуда V , см ³	Средняя плотность растворной смеси, ρ_0 , кг/м ³
1				
2				
3				

Заключение

Полученные значения средней плотности растворной смеси сравнить с полученным в предыдущей лабораторной работе значением средней плотности бетонной смеси и пояснить, почему средняя плотность растворной смеси *отличается* от средней плотности *бетонной смеси*, определенной в работе №12.

Задание 4. ОПРЕДЕЛИТЬ ВЫХОД РАСТВОРНОЙ СМЕСИ В ОПЫТНОМ ЗАМЕСЕ

Фактический выход растворной смеси при установленной дозировке материалов на 1 м^3 песка

$$V_{\text{рф}} = \frac{\sum m}{\rho_0} \quad (14.11)$$

где $\sum m$ – сумма масс всех дозированных на замес материалов, кг:

$$\sum m = \text{Ц}_3 + \text{ИТ}_3 + \text{П}_3 + \text{В}_3 + \text{В}_\text{Д} \quad (14.12)$$

Зная фактический объем растворной смеси, определим расход материалов (по массе) на 1 м^3 строительного раствора:

$$\text{Ц}_\text{ф} = \frac{\text{Ц}_3}{V_{\text{рф}}}, \quad (14.13)$$

$$\text{ИТ}_\text{ф} = \frac{\text{ИТ}_3}{V_{\text{рф}}}, \quad (14.14)$$

$$\text{П}_\text{ф} = \frac{\text{П}_3}{V_{\text{рф}}}, \quad (14.15)$$

$$\text{В}_\text{ф} = \frac{\text{В}_3 + \text{В}_\text{Д}}{V_{\text{рф}}}, \quad (14.16)$$

где $\text{Ц}_\text{ф}$, $\text{ИТ}_\text{ф}$, $\text{П}_\text{ф}$, $\text{В}_\text{ф}$ – фактический расход цемента, известкового теста, песка и воды на 1 м^3 строительного раствора.

Определяем расход материалов на замес растворомешалки (зр) емкостью x л.

$$1 + V_{\text{ит}} + V_{\text{п}} = y \quad (14.17)$$

Расход цемента на замес $V_{\text{цз}}$, л, составит:

$$V_{\text{цз}} = \frac{x}{y} \cdot 1 \quad (14.18)$$

или по массе $\text{Ц}_\text{зр}$, кг

$$\text{Ц}_\text{зр} = V_{\text{цз}} \cdot \rho_{\text{нц}},$$

где $\rho_{\text{нц}}$ – насыпная плотность цемента, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход известкового теста на замес $V_{\text{итз}}$, л, составит

$$V_{\text{итз}} = \frac{x}{y} \cdot V_{\text{ит}} \quad (14.19)$$

или по массе $\text{ИТ}_\text{зр}$, кг

$$\text{ИТ}_\text{зр} = V_{\text{итз}} \cdot \rho_{\text{ит}},$$

где $\rho_{\text{ит}}$ – плотность известкового теста, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход песка на замес $V_{\text{пз}}$, л, составит:

$$V_{\text{пз}} = \frac{x}{y} \cdot V_{\text{п}} \quad (14.20)$$

или по массе $\text{П}_\text{зр}$, г

$$\text{П}_\text{зр} = V_{\text{пз}} \cdot \rho_{\text{нп}},$$

где $\rho_{\text{нп}}$ – насыпная плотность песка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход воды (без учета воды, содержащейся в песке и в известковом тесте) на замес $V_{зр}$, л, составит:

$$V_{зр} = \frac{B}{1000} \cdot V_{пз}, \quad (14.21)$$

где B – расход воды на 1 м^3 песка с учетом определения подвижности в замесе:

$$B = (B_з + B_д) \cdot 0,003$$

Полученные значения расхода материалов сводим в табл. 14.6.

Таблица 14.6.

Результаты определения расхода материалов

Наименование материала	Расход материалов				
	на 1 м^3 песка		на 1 м^3 раствора	на 1 замес растворомешалки емкостью x л	
	кг	л	кг	кг	л
Цемент	C	V_c	C_f	$C_{зр}$	$V_{цз}$
Известковое тесто	$ИТ$	$V_{ит}$	$ИТ_f$	$ИТ_{зр}$	$V_{итз}$
Песок	$П$	V_p	$П_f$	$П_{зр}$	$V_{пз}$
Вода	B	B	B_f	$B_{зр}$	$B_{зр}$

Заключение

Сделать выводы по полученным результатам.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Несущую способность конструкции в большей степени обеспечивают свойства материалов, из которых она получена. Для стеновой конструкции, выполненной из мелкоштучных изделий или крупноразмерных блоков, ее несущая способность складывается из прочности самого стенового материала, прочности раствора и прочности сцепления раствора с поверхностью изделия.

Прочность раствора характеризуется *маркой*. Для строительного раствора установлены следующие марки по прочности на сжатие: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200 (по СТБ 1307).

Согласно ГОСТ 5802 для определения прочности раствора на сжатие изготавливают три образца-куба размерами $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм. Указанный размер ребра куба выбран из соображений удобства последующего расчета предела прочности. Действительно, площадь поперечного сечения образца в этом случае $\approx 5000 \text{ мм}^2$ (50 см^2) и деление разрушающего усилия на площадь поперечного сечения не требует применения калькулятора и легко осуществляется в уме удвоением величины разрушающего усилия и переносом запятой влево на четыре знака (если площадь в см^2).

Приборы и материалы

1. Разъемные стальные формы без поддона по ГОСТ 22685.
2. Пресс гидравлический.
3. Штангенциркуль с погрешностью измерения 0,1 мм.
4. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм
5. Весы технические по ГОСТ 24104
6. Стальная линейка по ГОСТ 427.
7. Образцы-кубы из затвердевшего цементно-известкового раствора.

Методика испытаний

1. Изготовления опытных образцов и их испытание.

В соответствии с требованиями стандарта, если подвижность растворной смеси не менее 5 см (а при кладке из кирпича, керамических и других пористых камней она всегда больше), образцы надлежит изготавливать на пористом основании (на кирпичах) в формах без поддона по методике, описанной в п.п. 6.4.2 и 6.4.3 ГОСТ 5802.

Собранную и смазанную форму устанавливают на уложенный плашмя кирпич с ровной поверхностью, предварительно покрытый смоченной водой газетной или другой непроклеенной бумагой. Кирпич применяют керамический влажностью не более 2 % и водопоглощением 10...15 % по массе. Затем каждую из трех форм заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком, уплотняют ее штыкованием 25 раз стальным стержнем диаметром 12 мм. После того, как поверхность растворной смеси станет матовой (вследствие отсоса из нее части воды кирпичом), избыток смеси срезают ножом, смоченным водой, вровень с краями формы и заглаживают поверхность. Повторное использование кирпича в качестве отсылающего воду основания не допускается.

Если образцы-кубы изготавливают из растворной смеси подвижностью менее 5 мм, берут формы с поддоном.

Формы, заполненные растворной смесью, приготовленной на гидравлических вяжущих веществах, выдерживают до распалубки в камере с температурой $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью $65\pm 10\%$.

Через 24 ± 2 ч после укладки растворной смеси образцы-кубы освобождают от форм и верхнюю грань нумеруют трудно стираемой краской.

Образцы хранят при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ следующим образом. Образцы из растворных смесей на гидравлических вяжущих веществах в течение трех суток хранят в камере нормального хранения при относительной влажности выше 95 %, а остальное время – в воде; для растворов, твердеющих на воздухе, образцы следует

хранить в помещении при относительной влажности 65 ± 10 %. При хранении в помещении образцы защищают от сквозняков и действия нагревательных приборов.

На изготовление трех образцов-кубов требуется немногим более 1 л растворной смеси. Поэтому из приготовленного замеса можно изготовить с исследовательской целью еще три образца, изменив какой-нибудь фактор, и затем при сравнении результатов испытания получить возможность оценить влияние этого фактора. Например, вместо бумаги, прокладываемой по стандартной методике между формой и пористым основанием, можно проложить полиэтиленовую пленку, исключив тем самым отсос воды (или использовать плотный поддон). В этом случае, сравнивая результаты испытания двух серий образцов, мы увидим влияние водопоглощения основания на прочность раствора.

Другие варианты исследовательских задач:

- вместо предусмотренного стандартом уплотнения растворной смеси штыкованием использовать виброуплотнение;
- изготовить обе серии образцов одинаково, но испытать их в разном возрасте или при различных условиях хранения. Для формования трех образцов исследовательской серии можно также изменить состав растворной смеси, оставшейся после формования основных образцов по стандарту, например, добавить еще воды или добавить песка, или ввести ту или иную химическую добавку.

Маркировка раствора производится по пределу прочности на осевое сжатие в возрасте 28 суток. Если испытания на прочность осуществляются в другом возрасте, результаты испытаний можно привести к 28-суточному возрасту умножением на следующие коэффициенты приведения (табл.14.7).

Таблица 14.7.

Коэффициенты приведения, учитывающие возраст бетона

Возраст при испытании, сут.	3	7	14	28	60	90
Коэффициент приведения	3	1,8	1,25	1	0,8	0,77

Если раствор твердел при температуре, отличавшейся от предусмотренной стандартом, влияние возраста и температуры на прочность твердеющего раствора можно учесть приведением результатов испытания к стандартным в 28-суточном возрасте посредством умножения на следующие коэффициенты (табл. 14.8):

**Коэффициенты приведения, учитывающие
температуру твердения раствора**

Возраст при испытании, сут.	Коэффициент твердения при температуре твердения раствора, °С	
	10	25
3	5,5	2,4
7	2,7	1,6
14	1,7	1,2
28	1,2	0,96

Перед испытанием на прочность каждый образец следует обмерить и измерить массу m для определения средней плотности ρ_0 затвердевшего раствора по ГОСТ 5802 п. 7.

2 Определение средней плотности затвердевшего раствора

Определение средней плотности затвердевшего раствора производят при его естественной влажности (или при другой влажности, установленной стандартом) на трех стандартных образцах-кубах с ребром 70,7 мм.

Объем образцов V вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Массу образцов m определяют взвешиванием с погрешностью не более 0,1 г. Плотность образца затвердевшего строительного раствора ρ_0 вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V} \cdot 1000 \quad (14.22)$$

Результаты испытаний

Результаты опытов заносят в таблицу 14.9.

Таблица 14.9.

Результаты определения средней плотности раствора

№ п/п	Показатели	№ образцов		
		1	2	3
1	Масса образцов m , г			
2	Размеры образца:			
	ширина, см			
	толщина, см			
	высота, см			
3	Площадь поперечного сечения A , см ²			
4	Объем образца V , см ³			
5	Средняя плотность образца раствора ρ_0 , кг/м ³			

Среднюю плотность затвердевшего раствора вычисляют как среднее арифметическое результатов определения средней плотности трех образцов одной серии.

3. Определение прочности строительного раствора на сжатие

Методика испытаний

Предел прочности при сжатии определяют для каждого образца как частное от деления разрушающего усилия на рабочую площадь образца.

При испытании образец устанавливают в центр нижней плиты прессы так, чтобы к плите прессы прилежала *грань образца, бывшая при формировании боковой*.

Нагрузка на стандартный образец 70,7 x 70,7 x 70,7 мм должно расти непрерывно с постоянной скоростью 0,6±0,4 МПа в секунду. Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимают за разрушающее усилие. Предел прочности на сжатие для каждого образца рассчитывают по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (14.23)$$

где F – разрушающее усилие, Н

A – площадь поперечного сечения образца, мм²

Предел прочности раствора на сжатие вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов-кубов.

Результаты испытаний

Результаты испытания и их приведение к стандартным отражают в табл. 14.10.

Таблица 14.10.

Результаты определения марки раствора

№ образца	Разрушающее усилие F , Н	Площадь сечения A , мм ²	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа
1			
2			
3			
Среднее			
Марка раствора			

Заключение

Полученные результаты определения средней плотности затвердевшего раствора сравнить со средней плотностью образцов из тяжелого цементного бетона.

Сделать вывод по результатам определения предела прочности на сжатие раствора.

Если полученная марка раствора соответствует заданной, подобранный состав растворной смеси может быть выдан к производству строительных работ. Если же она оказалась выше или ниже требуемой, состав подлежит корректировке и дополнительной проверке с изменением расхода цемента (соответственно уменьшением или увеличением) пропорционально необходимому изменению предела прочности раствора, что и отражается в заключении к лабораторной работе.

14.3 Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Основные виды растворов по назначению.
2. Основные виды кладочных растворов по виду вяжущего.
3. Что такое марка раствора? Исходя из чего она назначается?
4. Поясните разницу в понятиях «раствор» и «растворная смесь».
5. Что такое подвижность растворной смеси и чем она характеризуется?
6. Каковы критерии выбора той или иной подвижности растворной смеси?
7. Какой смысл имеет понятие «расслаиваемость» растворной смеси?
8. Какой смысл имеет понятие «водоудерживающая способность» растворной смеси?
9. Какие материалы используются для приготовления кладочных растворов?
10. Какая предельная крупность песка допускается в кладочных растворах?
11. Как зависит прочность раствора от расхода цемента и его активности?
12. Что дает добавление извести в цементно-песчаный раствор?
13. Как определить фактический выход растворной смеси по объему в опытном замесе?
14. Как определить фактический расход материалов на 1 м³ раствора?
15. Каковы форма, размеры и особенности изготовления образцов из растворной смеси, предназначенной для кирпичной кладки?
16. Каковы стандартные условия хранения и испытания растворных образцов?
17. Как скорректировать состав раствора, если результаты испытаний не соответствуют заданной марке?
18. Какие минеральные пластификаторы используются в строительных растворах?
19. Как определить плотности растворной смеси и строительного раствора?
20. От чего зависит прочность строительных растворов?
21. Как определить предел прочности при осевом сжатии?
22. От чего зависит водоудерживающая способность растворной смеси?
23. В чем заключаются стандартные условия твердения образцов из растворных смесей, изготовленных на гидравлических и водоудерживающих веществах?
24. От чего зависит выбор вяжущего в строительных растворах?

25. Как определить подвижность растворной смеси? В чем отличие этого испытания от определения подвижности бетонной смеси?
26. Почему при определении прочности строительного раствора при сжатии для изготовления образцов в одних случаях используют формы без дна, а в других обычные формы?
27. Каковы сроки и режим твердения образцов из растворов на гидравлических вяжущих?

14.4 Литература

1. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. М., Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004, – 287 с.
2. Строительные материалы: лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 632 с.
3. СТБ 1307. Смеси растворные и растворы строительные.
4. ГОСТ 8736. Песок для строительных работ. Технические условия.
5. СТБ 1217. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.
6. СТБ 1114. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.
7. ГОСТ 5802. Растворы строительные. Методы испытания.

Лабораторная работа № 15

ИСПЫТАНИЕ ВЯЗКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА

Цель работы

- Ознакомиться с методикой определения основных показателей качества вязкого битума.
2. Приобрести необходимые практические навыки при определении основных показателей качества вязких битумов.

15.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

- Какие органические вяжущие вещества Вы знаете?
2. Перечислите основные свойства органических вяжущих веществ и положительные свойства битумов.
- Отрицательные свойства битумов.
 - Какие имеются способы улучшения качества битума?
 - Какое влияние на свойства битума оказывают компоненты его группового состава (смолы, масла, асфальтены)?
 - Способы повышения качества вязких битумов.
 - Какие материалы и изделия получают на основе битумов? Их применение в строительстве.

15.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение вязкости (твердости) битума (по ГОСТ 11501).

Задание 2. Определение растяжимости битума (по ГОСТ 11505).

Задание 3. Определение температуры размягчения битума по методу «Кольцо и шар» (по ГОСТ 11506).

Общие сведения

Группу органических вяжущих веществ образуют битумные и дегтевые вяжущие, а также полимеры и органические клеи. Для органических веществ, в отличие от минеральных, характерны следующие свойства:

- ▶ гидрофобность;
- ▶ атмосферостойкость;
- ▶ растворимость в органических растворителях;
- ▶ аморфность строения;

- ▶ повышенная деформативность (особенно при высоких температурах);
- ▶ способность размягчаться при нагревании (до 80...170 °С) вплоть до полного плавления и объединения с каменными или другими строительными материалами;
- ▶ способность вновь затвердевать при понижении температуры до 20...25 °С и ниже или при испарении растворителя или легких фракций;
- ▶ адгезия (прилипание) к поверхности каменных, деревянных и металлических материалов, зависящая от природы материала и от содержания поверхностно-активных полярных компонентов. Характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного материала от другого.

Битумные и дегтевые вяжущие имеют темно-коричневый или черный цвет, поэтому их часто называют "черными вяжущими".

Дегтевые вяжущие – искусственные материалы, получаемые в заводских условиях. При сухой перегонке (без доступа воздуха) каменного или бурого угля, сланца, дерева, торфа и других органических веществ с целью получения кокса, полукокса, газа образуются летучие вещества, которые после конденсации (сгущения) образуют вязкие жидкости, называемые соответственно каменноугольными, буроугольными, сланцевыми, торфяными, древесными дегтями.

Наиболее широкое применение в строительстве получили каменноугольные дегти, обладающие более высокими строительными материалами, чем другие дегти.

Дегтевые материалы применяют ограниченно, так как большинство их служит сырьем для получения разных химических продуктов. К тому же дегтевые вяжущие и материалы на их основе в условиях эксплуатации (под влиянием влаги, кислорода воздуха, солнечной радиации) сравнительно быстро "стареют", становясь хрупкими и малопрочными, обладают неприятным запахом и выделяют вредные для здоровья вещества (фенолы и др.).

Битумные вяжущие материалы могут быть как *природные*, так и *искусственные*.

Природные битумы (твердые или вязкие) образовались из нефти в верхних слоях земной коры в результате испарения летучих фракций и под влиянием окислительного процесса и полимеризации. Природные битумы иногда встречаются в виде залежей, состоящих почти из чистого битума с небольшим количеством минеральных примесей, но чаще они содержатся в осадочных горных породах – песках, песчаниках, карбонатных породах (известняках CaCO_3 , доломитах $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), глинистых грунтах. Такие породы называют *асфальтовыми* или *битуминозными*.

Природные битумы отличаются высокой атмосферостойкостью и хорошим прилипанием (адгезией) к поверхности каменных материалов, но из-за дефицитности и высокой стоимости в строительстве применяются ограниченно. Их используют главным образом в химической и лакокрасочной промышленности.

Искусственные нефтяные битумы получают из нефти путем обработки остатков, образующихся при ее фракционной перегонке. В зависимости от способа производства различают:

1. остаточные;
2. окисленные;
3. крекинговые нефтяные битумы.

Битумы – сложная смесь высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углерода C с кислородом O , серой S , азотом N). Элементарный химический состав всех битумов достаточно близок. В них 70...87 % углерода (C), до 15 % водорода (H), до 10% кислорода (O), до 1,5 % серы (S) (в природных битумах до 10 %), небольшое количество азота (N). Элементарный состав не дает представления о десятках химических соединений, содержащихся в битумах. Выделить индивидуальные углеводородные соединения из битумов весьма сложно, поэтому из битумов специальными методами выделяют *группы углеводородов* с более или менее сходными свойствами.

Групповой состав битума:

1. асфальтены (твердая часть) – 3.....30 %;
2. карбены, карбиды – до 3 %;
3. смолы – 15.....30 %;
4. масла; – 45.....60 %
5. асфальгеновые кислоты и их ангидриды – до 3 %;
6. парафины – 6.....8 %.

Асфальтены – это высокомолекулярные углеводороды и их производные с молекулярной массой 1000-5000, плотностью $\rho > 1$. При длительном нагревании битума в присутствии воздуха масла переходят в смолы, а те – в асфальтены. Чрезмерно большое количество асфальтенов в битуме может образоваться также под действием солнечной радиации, что вызывает постепенное («старение») битума.

В асфальтенах содержатся:

1. *карбены*, растворимые в CCl_4 ;
2. *карбоиды*, нерастворимые в маслах и летучих растворителях.

В состав битумов могут входить также твердые углеводороды – *парафины*.

Смолы – вязкопластичные аморфные вещества, твердые или полутвердые при обычной температуре, плотностью около единицы ($\rho \approx 1$) и молекулярной массой 500...1000. Смолы придают битумам вяжущие свойства и пластичность.

Масла – жидкая при обычной температуре группа углеводородов плотностью менее единицы ($\rho < 1$) и молекулярной массой 100...500. Повышенное содержание масел в битумах придает им подвижность и текучесть.

Асфальтогеновые кислоты по консистенции могут быть твердыми или высоковязкими. Они способствуют повышению прочности сцепления битума с каменными материалами, деревом, металлом, так как являются поверхностно-активной частью битума.

Вязкие битумы характеризуются следующими важнейшими свойствами, например, способностью при нагревании (до 80...160°C) или при добавлении растворителей (бензин, керосин, скипидар) переходить в жидкое состояние (приобретая пластичность). В таком виде они хорошо смачивают и пропитывают другие материалы. При охлаждении (до 20...25°C) или испарении растворителя вновь затвердевают, быстро увеличивают вязкость при остывании, прочно склеиваясь с другими материалами; придают гидрофобные (водоотталкивающие) и водонепроницаемые свойства материалам, пропитанным или покрытым ими; обладают стойкостью к действию водных растворов многих кислот, щелочей, солей и к большинству агрессивных газов. Битумы обладают аморфным строением; пористость их практически равна нулю.

Недостатки битума – горючесть и малый интервал температур, когда битум находится в виде твердого, но не хрупкого вещества. При понижении температуры до минус 10...20 °C битумы становятся хрупкими, а при температуре выше 90 °C начинают течь. Чтобы увеличить интервал рабочих температур битума, к нему добавляют резину (сплавляют с ней), синтетический каучук или полимеры.

Битумы применяются для приготовления мастик, лаков и красок, битумных эмульсий, битумоминеральных материалов, кровельных и гидроизоляционных материалов.

По назначению нефтяные битумы делят на: строительные, кровельные и дорожные (на основании действующих нормативных правовых актов), а по показателям качества (свойствам) – на марки.

По консистенции – вязкие и жидкие

Основными техническими характеристиками, определяющими качество вязких (твердых и полутвердых) битумов и деление их на марки, являются:

- вязкость (твердость);
- температура размягчения;
- растяжимость.

Для жидких битумов –

- вязкость;
- фракционный состав (содержание летучих масел).

Марку битума обозначают «БН» (битум нефтяной) с числовым индексом, характеризующим нормируемые показатели. Для обозначения марок битумов специального назначения вводится дополнительная буква (К – кровельный, Д – дорожный и т.д.). Пример обозначения: БНД 100/150 – битум нефтяной дорожный с глубиной проникания иглы при температуре 25°C от 100 до 150 (в десятых долях миллиметра). Требования к вязким битумам отражены в табл. 15.1.

Насыщение строительных материалов водой отрицательно влияет на многие их свойства: увеличивает теплопроводность λ , повышает среднюю плотность, снижает прочность, а при замораживании приводит к быстрому их разрушению, от воздействия воды строительные конструкции защищают гидроизоляционными материалами. Эти материалы должны обладать водонепроницаемостью и водостойкостью. Кроме того, гидроизоляция должна быть эластичной и гибкой, чтобы не давать трещин во время эксплуатации, быть легкой и не занимать большого объема. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют материалы на основе битума и дегтя.

Таблица 15.1

Технические требования к вязким нефтяным битумам

Марка битума	Глубина проникания иглы, 0,1 мм при t, °C	Растяжимость см, не менее при t °C	Температура	
			размягчения, °C, не ниже	вспышки, °C, не ниже
Строительные битумы				
БН - 50/50	41...60	40	50	220
БН - 70/30	21...40	3	70	230
БН - 90/10	5...20	1	90	240
Кровельные битумы				
БНК-45/180	140...220	не нормируется	40...50	240
БНК-90/40	35...45		85...95	240
БНК-90/30	25...35		85...95	240
Дорожные битумы				
БНД-160/220	160...220	≥99	35-43	220
БНД-100/150	100...150	≥99	39-47	230
БНД-70/100	70...100	≥99	43-51	230
БНД-50/70	50...70	≥99	46-54	230

Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов делят на: рулонные, листовые и штучные изделия; обмазочные материалы – мастики, эмульсии и пасты; по виду вяжущих – на битумные, дегтевые, гудрокамовые, (продукты совместного окисления каменноугольных масел и нефтяного гудрона), резинобитумные, битумо- и дегтеполимерные.

Рулонные кровельные и гидроизоляционные материалы могут быть двух типов: *основные и безосновные*. *Основные материалы* изготавливают путем обработки органическим вяжущим основы – кровельного картона, стеклоткани, стекловолокна, полиэстера, металлической фольги, асбестового картона. *Безосновные материалы* получают в виде полотнищ заданной толщины прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей из органического вяжущего, порошкового или волокнистого наполнителя и специальных добавок. Рулонные материалы, имеющие основу, делят на два вида: покровные и беспокровные.

Покровные материалы, применяемые главным образом для верхней части кровельного ковра, получают пропиткой основы органическим вяжущим и нанесением на нее с двух сторон покровного слоя из более тугоплавких органических вяжущих, часто с добавкой в них наполнителей, антисептиков и других компонентов. Покровный слой воспринимает атмосферные воздействия.

Беспокровные материалы, предназначенные для нижней и средней частей кровельного ковра, покровного слоя не имеют.

К *покровным* рулонным материалам относятся:

1. **Рубероид** – кровельный картон, пропитывается мягким нефтяным битумом. Далее с обеих сторон наносится тугоплавкий битум. Лицевая поверхность кровельного рубероида имеет различного вида посыпки.

2. **Наплавляемый рубероид**, который в отличие от обычного имеет более толстый покровный слой (0,6...2 мм) с обеих сторон из тугоплавкого битума; при применении такого рубероида отпадает необходимость в кровельной мастике, так как его наклеивают расплавлением нижнего покровного слоя пламенем горелки с последующей его прикаткой.

3. **Современные рулонные битумно-полимерные** модифицированные высокоэластичные материалы на прочной негниющей основе на базе стекловолокна или синтетического волокна «полиэстер», на которую с обеих сторон нанесен слой битума, модифицированного полимером.

Полимерные добавки позволяют расширить интервал рабочих температур битума (снижая температуру хрупкости и повышая температуру размягчения) и обеспечивают сохранение эластичности вяжущего длительное время. Для модификации битума используют в основном *термоэластопласты*, в частности, атактический полипропилен (АПП) – побочный продукт при производстве пропилена, но по

внешнему виду напоминающий невулканизированный каучук, и *синтетические каучуки*, например стирол-бутадиен-стирольный (СБС).

Битумы, модифицированные АПП, по сравнению с обычным окисленным битумом, характеризуются высокой теплостойкостью, хорошей гибкостью на холоде (до минус 20 °С) и высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям. Битумы, модифицированные СБС, характеризуется еще более высокой гибкостью на холоде (до минус 30 °С), но они более чувствительны к УФ облучению, в связи с чем требуют применения эффективной защиты от солнечного света. Материалы на основе таких модифицированных битумов имеют расширенный диапазон эксплуатационных температур, повышенную долговечность и позволяют производить работы по устройству кровли из рулонных материалов при отрицательных температурах (т.е. практически круглый год).

У современных рулонных битумно-полимерных материалов для защиты от солнечного излучения применяются бронирующие посыпки из цветной минеральной (сланцевой, керамической) или полимерной крошки на верхней стороне материала и пленочная защита от слипания материала на нижней стороне (рис.15.1).

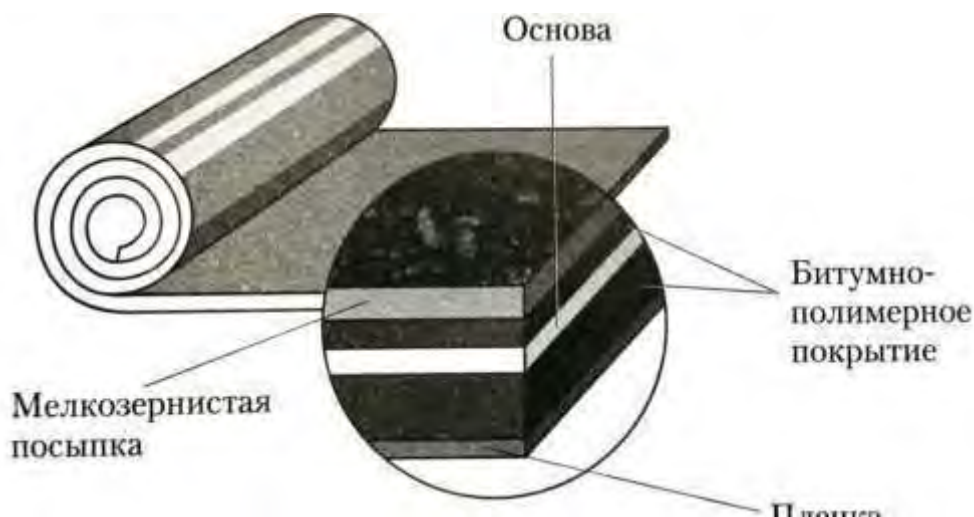


Рис.15.1. Поперечное сечение битумно-полимерного рулонного кровельного материала. Основа – стеклохолст 110 г/см², покрытие модифицированное СБС битумнополимерное, пленка – легкосыемая прочная силиконовая

4. **Толь кровельный покровный** – материал, аналогичный рубероиду, но с кровельным картоном, пропитанный и покрытый не битумом, а каменноугольным дегтем и слоем минеральной насыпки на внешней поверхности.

В дорожном и мостовом строительстве в качестве покрытия проезжей части применяются *асфальтобетоны*, где в качестве связующего используются вязкие битумы.

Задание 1. Определение вязкости (твердости) битума (по действующим ТНПА)

Вязкость – свойство материала оказывать сопротивление перемещению частиц под воздействием внешних сил, т.е. вязкость битума является характеристикой его структурно-механических свойств и зависит, главным образом, от температуры и группового состава. При повышении температуры вязкость снижается, и битум переходит в жидкое состояние, при понижении – резко возрастает; при отрицательных температурах битум становится хрупким. Методы испытаний твердых и мягких битумов на вязкость предусмотрены действующим нормативным техническим правовым актом.

Вязкость (точнее, текучесть) у твердых и полутвердых битумов определяют *условным показателем – глубиной проникания (погружения) иглы* (пенетрацией) в битум при определенной нагрузке, температуре и времени погружения. По глубине проникания в битум иглы пенетрометра под нагрузкой 1Н (100 г) в течение 5 с при температуре 25 °С или под нагрузкой 200 г течение 60 с при температуре 0 °С судят о вязкости битума. Вязкость выражают в градусах, причем 1° соответствует глубине проникания иглы на 0,1 мм.

Приборы и материалы

I. Пенетрометр с иглой и дополнительным грузом.

II. Чашка металлическая (пенетрационная) цилиндрическая с плоским дном, внутренним диаметром (55 ± 1) мм и внутренней высотой (35 ± 2) мм – для битумов с глубиной проникания иглы до $250 \cdot 10^{-1}$ мм, для битумов с пенетрацией более $250 \cdot 10^{-1}$ мм – высота чашки (60 ± 2) мм.

III. Баня песчаная вместимостью не менее 10 дм³ (для термостатирования).

IV. Термометр ртутный стеклянный с ценой деления 0,1 °С.

V. Кристаллизатор – стеклянный сосуд, вместимостью 1 л.

VI. Секундомер механический.

VII. Сито с металлической сеткой № 07.

VIII. Толуол, бензин или другой растворитель.

Методика испытаний

Глубину проникания иглы в битум определяют на приборе «Пенетрометр» (рис.15.2) следующим образом.



Рис. 15.2. Пенетрометр

1 – штатив; 2 – круг со шкалой (лимб – циферблат разделенный на 360 °С); 3 – направляющий стержень (кремальера); 4 – свободно падающий стержень с иглой и грузом (иглодержатель); 5 – стопорная кнопка; 6 – кристаллизатор с металлической чашкой; 7- подставка; 8- зеркало

Предварительно обезвоженный и процеженный битум расплавляют до подвижного состояния (не перегревая битум) и тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха. Битум наливают в металлическую чашку на высоту не менее 30 мм так, чтобы поверхность битума была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки, и выдерживают при температуре 25 ± 5 °С в течение 60...75 мин. После этого чашку с битумом помещают в ванну с водой, нагретой до 25 °С, и оставляют на 60...75 мин до испытания. Высота слоя воды над битумом должна быть не менее 25 мм. Колебания температуры воды в ванне не должны превышать $\pm 0,5$ °С.

Через 60...75 мин чашку с битумом помещают в плоскодонный сосуд вместимостью не менее 1 л (кристаллизатор), наполненный водой, имеющей температуру 25 °С. Сосуд устанавливают на столик пенетрометра. Подводят острие иглы к поверхности битума, при этом игла должна слегка касаться битума, но не входить в него. Кремальеру (контактную рейку) доводят до верхней площадки стержня, имеющего иглу, и устанавливают стрелку на нуль или отмечают ее положение, после чего одновременно пускают секундомер и нажимают стопорную кнопку, давая игле

свободно входить в битум в течение 5 с. По истечении этого времени кнопку отпускают, затем доводят нижнюю часть кремальеры до верхней площадки стержня с иглой, и стрелка, передвигающаяся вместе с кремальерой, показывает в градусах расстояние, пройденное иглой за 5 с.

Определение повторяют не менее трех раз в разных точках на поверхности битума, отстоящих не менее чем на 10 мм от краев чашки и одна от другой. Среднее арифметическое этих определений дает значение проникания. Чем выше вязкость битума, тем меньше глубина погружения иглы.

После каждого испытания иглу обтирают тканью, смоченной растворителем.

В случае определения глубины проникания иглы при 0°C, что требуется при оценке качества битумов марок БНД, продолжительность охлаждения битума на воздухе составляет 60...90 мин, температура воды в бане со льдом должна быть (0±0,1) °C.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл.15.2.

	+25 °C
Масса стержня с иглой	
Время погружения иглы	

Таблица 15.2

Результаты определения вязкости битума

Порядок измерения	Показания стрелки на лимбе (шкале) пенетromетра в градусах (0,1 мм)		Глубина проникания иглы в битум в градусах (0,1 мм)
	до погружения иглы в битум	после погружения иглы в битум	
при температуре +25 °C			
1			
2			
3			

Заключение.

По твердости (глубине проникания иглы) битум _____
 марки _____

Задание 2. Определение растяжимости (дуктильности) битума (по действующим ТНПА)

Растяжимость – способность битумов под влиянием растягивающего усилия удлиняться без нарушения сплошности (т.е. без образования трещин, разрывов). Это свойство имеет большое значение в тех случаях, когда битум используют для создания непроницаемых покрытий (например, гидроизоляционные покрытия, кровли, дорожные асфальтобетонные покрытия). Поэтому при прочих равных показателях предпочтение отдается битумам с большей растяжимостью. Показателем растяжимости является абсолютное удлинение (в сантиметрах) образца до момента разрыва.

При определении растяжимости измеряют предельные деформации битумных образцов – восьмерок, растягиваемых с постоянной скоростью 5 см в минуту при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ на приборе дуктилометре.

Так же как и вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, их группового состава и структуры. Как правило, растяжимость возрастает при увеличении содержания смол, а также с повышением температуры.

Растяжимость (дуктильность) битумов определяют согласно ГОСТ 11505 на приборе дуктилометре (рис.15.3), который представляет собой металлический ящик. По всей длине прибора проходит червячный винт с насаженными салазками, которые передвигаются по винту при помощи электродвигателя. Дуктилометр снабжен шкалой – линейкой, по которой скользит указатель, закрепленный на салазках.

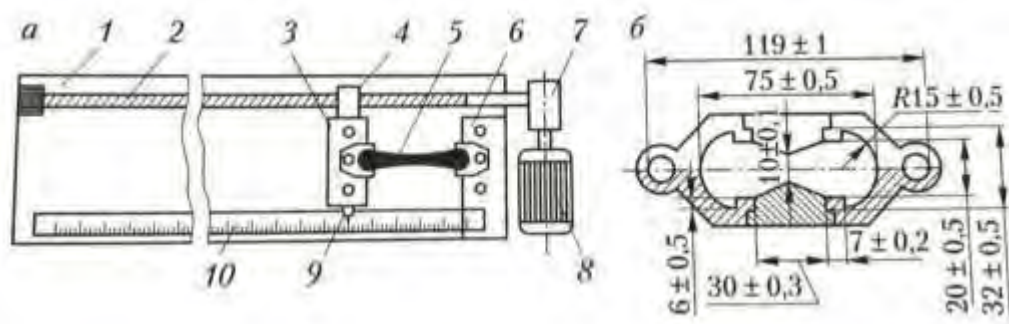


Рис. 15.3. Определение растяжимости битума

а) – дуктилометр; б) – разборная форма «восьмерка»

1 – ванна (ящик); 2 – червячный винт; 3 – подвижные салазки; 4 – гайка; 5 – образец битума; 6 – неподвижная опора; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель; 9 – стрелка; 10 – линейка

1. Приборы и материалы

2. Дуктилометр.
3. Формы разъемные латунные для битума – "восьмерки".
4. Термометр ртутный стеклянный с ценой деления 0,1 °С.
5. Нож для среза битума с прямым лезвием.
6. Сито с металлической сеткой № 07.
7. Пластика полированная металлическая или термостойкая стеклянная.
8. Разделительный состав, смесь глицерина и тальком (1 :3) или смесь глицерина с декстрином (2 :1).
9. Спирт этиловый.

Методика испытаний

Битум, подготовленный к испытанию, расплавляют, перемешивают и тонкой струей наливают в сборные формы с небольшим избытком. Перед заливкой битума внутренние поверхности форм смазывают смесью талька с глицерином (состава 1:3) и устанавливают на металлическую пластину. Залитый в форму битум оставляют охлаждаться в течение 30 минут при комнатной температуре, после этого горячим ножом в два приема срезают избыток битума от середины формы к ее краям.

Образцы битума с формой помещают в ванну дуктилометра, куда предварительно налита вода температурой 25 °С и выдерживают в ней 1 ч. Температура воды должна быть постоянной $25 \pm 0,5$ °С. Слой воды над образцом – не менее 25 мм. Через 1 ч формы с битумом вынимают из воды, снимают с пластинки и закрепляют в дуктилометре, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках дуктилометра. После этого отнимают боковые части формы. Включают двигатель дуктилометра и наблюдают за растяжением битума. Скорость растяжения должна быть 5 см в 1 мин. Длину нити битума (см), отмеченную указателем в момент ее разрыва, принимают за показатель растяжимости битума. Испытание проводят три раза, и за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех параллельных определений. Расхождения между ними не должны превышать 10 % от среднего арифметического сравниваемых результатов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают в табл. 15.3.

Результаты определения растяжимости битума

Показатели	Единица измерения	№ образца			Среднее арифметическое
		1	2	3	
Выдержка битума в воде, нагретой до 25 °С					
Выдержка форм –«восьмерок» с битумом на воздухе					
Температура воды во время опыта					
Скорость растяжения образца					
Удлинение образца при разрыве					

Заключение.

Сделать выводы по результатам испытаний. Указать марку битума.

Задание 3. Определение температуры размягчения битума по методу «Кольцо и шар» (по действующим ТНПА)

Температурой размягчения битума условно считают температуру, при которой битум переходит из твердого состояния в пластичное, приобретая подвижность.

Температуру размягчения битума согласно ТНПА определяют на аппарате «Кольцо и шар» - КиШ (рис. 14.4) следующим образом. Латунные кольца укладывают на металлическую пластинку и смазывают смесью талька с глицерином (состав 1:3). Затем заполняют их с некоторым избытком расплавленным и перемешанным битумом. После охлаждения колец с битумом на воздухе в течение 30 мин при $t = (25 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C}$ избыток битума срезают нагретым ножом вровень с краями колец. Кольца с битумом устанавливают горизонтально в отверстия на верхней пластинке аппарата. Термометр вставляют в среднее отверстие верхней пластинки так, чтобы ртутный шарик его был на одном уровне с нижней поверхностью битума в кольце. **Температурой размягчения** называют температуру, при которой битум, выдавливаемый из кольца определенных размеров под действием собственной массы и

массы действующего на него металлического шарика, достигает нижней пластинки аппарата.

Свойства битумов тесно связаны между собой. Твердые битумы (с малой глубиной проникания иглы) имеют высокую температуру размягчения, но малую растяжимость, т.е. являются относительно хрупкими (особенно при отрицательных температурах). Битумы с низкой температурой размягчения, т.е. мягкие, обладают высокой пластичностью.

Нормы по температуре размягчения битума приведены в таблице 14.1

Сущность метода заключается в определении температуры, при которой вяжущееся, находящееся в кольце заданных размеров, в условиях испытания размягчается и, перемещаясь под действием стального шарика, касается контрольного диска аппарата.

Приборы и материалы

1. Аппарат для определения температуры размягчения битума («Кольцо и шар» – КиШ)
2. Пластинка полированная металлическая или термостойкая стеклянная
3. Стакан (баня) или стеклянный стакан из термостойкого стекла диаметром не менее 85 мм и высотой не менее 120 мм
4. Термометр ртутный стеклянный по ГОСТ 400 с ценой деления $0,1^{\circ}\text{C}$
5. Нож для срезания битума с прямым лезвием
6. Сито с металлической сеткой № 07
7. Тальк
8. Глицерин
9. Горелка газовая или плитка электрическая с регулировкой нагрева
10. Пинцет

Методика испытаний

Температуру размягчения битума согласно ТНПА определяют на аппарате «Кольцо и шар» (КиШ) (рис. 15.4) следующим образом.

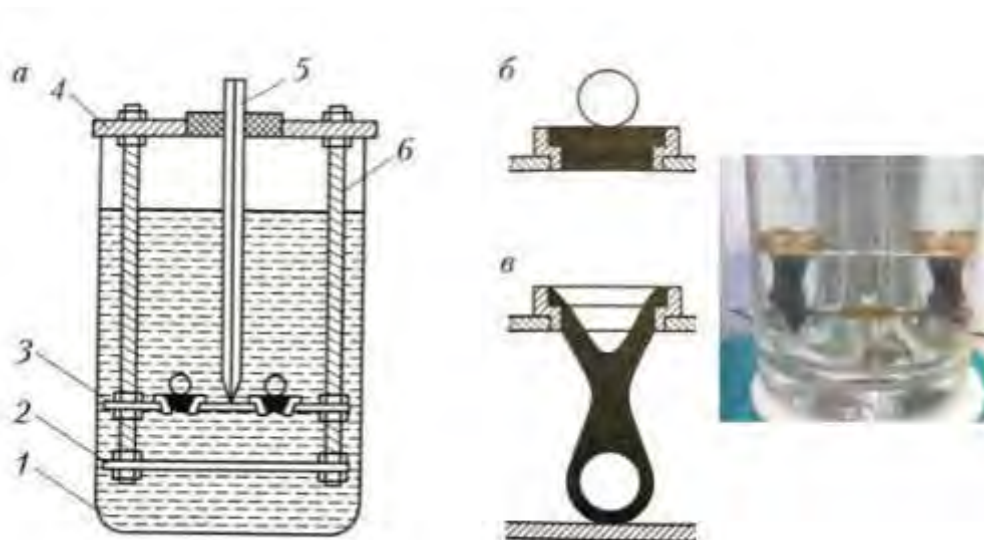


Рис. 15.4 Определение температуры размягчения битума по методу «Кольцо и шар»: а – прибор; б – кольцо с битумом и шариком до испытания; кольцо и шарик в момент размягчения битума; 1 – стакан; 2-4 – диски; 5 – термометр; 6 – стержни

Заливают латунные ступенчатые кольца высотой 6,35 мм с верхним внутренним диаметром $19,9 \pm 0,2$ мм и нижним внутренним диаметром $15,7 \pm 0,2$ мм битумом.

Кольца нагревают до предполагаемой температуры размягчения битума, укладывают на металлическую или стеклянную пластинку, смазанную смесью декстрина с глицерином или талька с глицерином состава 1 : 3, и заполняют с некоторым избытком расплавленным битумом. При испытании битума с температурой размягчения в интервале $30..110$ °С кольца с битумом охлаждают в течение 30 мин при температуре 25 ± 10 °С, а затем срезают ножом избыток. При температуре размягчения 30 °С кольцо с битумом помещают на 30 мин в стакан с водой температурой на $8 + 1$ °С ниже предполагаемой температуры размягчения, а затем срезают вровень с краями.

Кольца с битумом устанавливают в отверстие среднего диска подвески, которую опускают в стакан из термостойкого стекла диаметром не менее 85 мм и высотой не менее 120 мм, заполненный жидкостью. Уровень жидкости в стакане должен быть выше колец не менее чем на 5 см.

Если температура размягчения битума ниже 80 °С (такую температуру размягчения имеют вязкие битумы), стакан заполняют дистиллированной или свежескипяченной водой с температурой 8 ± 1 °С.

Кольца с битумом выдерживают в воде в течение 15 мин, затем вынимают вместе с подвеской и на каждое укладывают пинцетом.

Шарик предварительно выдерживают в стакане с водой, где он охлаждается до $5,0 \pm 0,5$ °С или нагревается до 34 ± 1 °С. Затем прибор снова помещают в стакан, ставят на асбестовую сетку и нагревают со скоростью 5 °С в минуту. Битум размягчается, и стальной шарик его продавливают.

За температуру размягчения битума принимают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижнего диска подвески. За расчетную температуру размягчения принимают среднее арифметическое значение из двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 1 °С при температуре размягчения до 80 °С.

Результаты испытания записывают в табл. 14.4.

Показатель	Номер определения		Среднее значение
	1	2	
Температура размягчения, °С			

Заключение

Схема опыта (зарисовать в лабораторный журнал).

Полученные результаты испытаний битума сравнивают с требованиями ТНПА и делают вывод о марке битума и его пригодности.

15.3 Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какой материал называют битумом?
2. Каковы способы производства нефтяных битумов?
3. Какое значение имеют битумные и дегтевые вяжущие в строительстве?
4. Привести общую характеристику битумных и дегтевых вяжущих.
5. Охарактеризовать основные разновидности битумов и изложить требования к ним.
6. К какой классификационной группе строительных материалов относятся битумные и дегтевые материалы?
7. Какие характеристики необходимо знать, чтобы определить марку битума?
8. По каким показателям определяют марку битума: строительного, дорожного?
9. Чем обусловлена та или иная вязкость битума?
10. Как определить растяжимость битума?
11. Как и на каком приборе определяется растяжимость битума?

12. Для каких материалов на основе битумов важен показатель растяжимость?
13. Как определить температуру размягчения битума?
14. Методика определения температуры размягчения битума. Когда при эксплуатации важен этот показатель?
15. Как и на каком приборе определяется вязкость (пенетрация) битума?
16. Методика определения твердости битума, от чего зависит этот показатель?
17. Какие марки строительных битумов вы знаете?
18. Что обозначают буквы и цифры в марке материала БН 90/10, БНК 45/180?
19. Какова химическая, атмосферная стойкость битума?
20. Как изменяются свойства нефтяных битумов при изменении температуры?
21. Как осуществляется транспортирование битума?
22. Из чего как и изготавливают рулонные кровельные материалы?
23. Какие вещества называются органическими вяжущими и чем они отличаются от неорганических веществ?
24. Какими свойствами обладают битумы?
25. Чем отличается битум от дегтя?
26. Из чего и как изготавливают толь кровельный?
27. Области применения битумов разных марок.

15.4 Литература и действующие технические нормативные правовые акты

1. Битумные вяжущие материалы: учеб. пособие / А.И. Абдуллин, Т.Ф. Ганиева и др. / Спб. : Проспект науки, 2021. – 208 с.
2. Беляев, К.В. Производство, транспортирование и применение вяжущих в строительстве [Электронный ресурс] : учебное пособие / К.В. Беляев, В.С. Серебренников. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2015.
3. Калгин, Ю.И. Испытание дорожных битумов и асфальтобетонных смесей : лаб. Практикум / Ю.И. Калугин, А.С. Строки, Е.Б. Тюков; Воронежский ГТУ. – Воронеж, 2021. – 93 с.
4. Новые материалы в дорожном строительстве: Учеб. пособие / В.А. Веренько. — Мн.: УП «Технопринт», 2004. — 170 с.
5. ГОСТ 6617–2021 Битумы нефтяные строительные. Технические условия.
6. ГОСТ 9548. Битумы нефтяные кровельные. Технические условия.
7. ГОСТ 22245. Битумы нефтяные дорожные. Технические условия.
8. ГОСТ 11501. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.
9. ГОСТ 11505. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости.
10. ГОСТ 11506. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.

Лабораторная работа № 16

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ТИМ)

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами и методикой определения теплопроводности теплоизоляционных материалов;
2. Определить структурные характеристики эффективных теплоизоляционных материалов, используемых в строительном производстве;

16.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какими техническими показателями характеризуются теплоизоляционные материалы?
2. По каким признакам классифицируют теплоизоляционные материалы?
3. Классификация теплоизоляционных материалов по структуре.
4. Как классифицируют теплоизоляционные материалы по величине средней плотности?
5. Какие теплоизоляционные материалы существуют в зависимости от вида исходного сырья?
6. Как делят теплоизоляционные материалы по внешнему виду и форме?
7. Какие физические характеристики материала влияют на величину теплопроводности? Как? Перечислить.

16.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение структурных характеристик и влажности теплоизоляционных материалов.

Задание 2. Определение теплопроводности сухих теплоизоляционных материалов.

Задание 3. Классификация исследованных теплоизоляционных материалов.

Общие сведения о теплоизоляционных материалах

К теплоизоляционным относят материалы и изделия, имеющие численное значение теплопроводности не более $0,175 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ и среднюю плотность в сухом состоянии до $600 \text{ кг}/\text{м}^3$ (в соответствии с ГОСТ 16381 теплопроводность до $0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$, средняя плотность до $300 \text{ кг}/\text{м}^3$). Такие материалы используют для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного и энергетического оборудования и трубопроводов.

Классификация теплоизоляционных материалов и изделий проводится по следующим признакам: структуре, форме, виду основного исходного сырья, средней плотности, жесткости (относительной деформации при сжатии), теплопроводности и по горючести.

По структуре теплоизоляционные материалы (ТИМ) делят на:

- 1) волокнистые (минераловатные, стекловолокнистые и др.);
- 2) зернистые (перлитовые, вермикулитовые, совелитовые, известково-кремнеземистые и др.);
- 3) ячеистые (изделия из ячеистых бетонов, пеностекло, ячеистые пластмассы).

По форме и внешнему виду ТИМ бывают:

- 1) рыхлые (минеральная и другие виды ваты, пористые заполнители и др.);
- 2) плоские (плиты, маты, войлок и др.);
- 3) фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.);
- 4) шнуровые.

По виду сырья ТИМ делят на:

- 1) неорганические (каменная вата и стеклянная, ячеистые бетоны, материалы на основе асбеста, керамические и др.);
- 2) органические (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, торфяные плиты, материалы из пористых пластмасс и др.);
- 3) комбинированные материалы, состоящие из органического и неорганического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическим связующим).

По содержанию связующего вещества материалы и изделия подразделяют на:

- 1) содержащие связующее вещество;
- 2) не содержащие связующее вещество.

По горючести ТИМ делят на три группы:

- 1) негорючие (НГ),
- 2) горючие (Г).

По средней плотности ТИМ делят на марки (D):

10, 15, 25, 35, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 450, 500, 600;

К сожалению, в разных стандартах подход к понятию «марка» различен. Например, в ряду D150 – D200 – D250 марка D200 может означать, что фактическая плотность материала находится в пределах $(151 - 200) \text{ кг/м}^3$, а может – $(176 - 225) \text{ кг/м}^3$.

По назначению теплоизоляционные материалы различают:

- 1) строительные теплоизоляционные – для теплоизоляции наружных стен, покрытий, подвальных и чердачных перекрытий;
- 2) для теплоизоляции горячих поверхностей – печей, сушил, автоклавов, паровых котлов, горячих трубопроводов и т.п.;
- 3) для предотвращения потерь холода – в холодильных установках.

Важнейшей структурной характеристикой ТИМ является *пористость Π* , от которой зависят средняя плотность ρ_c , теплопроводность λ , прочность R , газопроницаемость и другие технологические показатели. Большое значение имеет распределение воздушных пор в материале и характер пор, а также химический состав, молекулярное строение каркаса и условия применения ТИМ.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств материала. При равной пористости более высокими теплоизоляционными показателями обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры вследствие уменьшения передачи теплоты конвекцией и излучением. Это особенно необходимо учитывать при выборе материалов для высокотемпературной изоляции. *Увлажнение* и тем более замерзание воды в порах материала ведут к резкому увеличению теплопроводности, так как теплопроводность воды (0,58 Вт/(м·°С)) – примерно в 25 раз, а льда (2,32 Вт/(м·°С)) – в 100 раз больше, чем воздуха. Поэтому ТИМ необходимо предохранять от увлажнения. Прочность ТИМ вследствие их пористого строения относительно невелика. *Предел прочности при сжатии* обычно колеблется от 0,2 до 2,5 МПа. Требуется, чтобы прочностные характеристики ТИМ были достаточны для их сохранности при транспортировании, складировании, монтаже и работе в конкретных условиях эксплуатации.

Химическую и биологическую стойкость ТИМ повышают, применяя различные защитные покрытия и обработку антисептиками.

Применение ТИМ в строительстве *позволяет резко снизить массу конструкции*, затраты на сооружение зданий, уменьшить потребность в основных строительных материалах, сократить потери тепла в окружающую среду через ограждающие конструкции и тем самым уменьшить расход топлива, повысить комфортность помещений.

Весьма эффективным является использование ТИМ для изоляции тепловых агрегатов, технологической аппаратуры и трубопроводов. В холодильной промышленности ТИМ применяют для уменьшения затрат энергии на охлаждение.

В табл. 16.1. приведены основные физико-технические характеристики наиболее эффективных теплоизоляционных материалов.

Физико-технические характеристики теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Средняя плотность материала, ρ_c , кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии, λ , Вт/(м·°С)	Пористость, Π , %	Истинная плотность вещества, ρ_n , кг/м ³
Пенополиуретан и др.	20...35	0,04 ...0,05	97...98	1060
Каменная вата	150...250	0,05 ...0,075	90...94	2500
Пеногипс	250...400	0,07 ...0,095	90...98	2450
Ячеистое стекло	180...350	0,065...0,09	95...98	2500
Газосиликат	250...400	0,07 ...0,105	85...90	2550
Пенополистирол-бетон	250...350	0,065...0,095	70...80	1250
Керамзитобетон	500...600	0,14 ...0,16	65...77	2200
Древесина и др. ТИМ из растительных волокон	500	0,15 ...0,29	60...70	1540 ... 1550 целлюлоза

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ВЛАЖНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

К структурным характеристикам теплоизоляционных материалов относятся их средняя и истинная плотность, пористость, насыпная плотность и пустотность (для сыпучих материалов).

Приборы и материалы

1. Весы технические с точностью 0,01 г.
2. Штангенциркуль.
3. Образцы теплоизоляционных материалов (ячеистый бетон, пенополиуретан, жесткая минеральная плита, пенопласт полистирольный и др.)

Методика испытаний

Определение средней плотности материала ρ_c сводится к нахождению массы m , г сухого образца и его объема в естественном состоянии V_e , см³:

$$\rho_c = \frac{m}{V} \cdot 1000 \quad (16.1)$$

Масса образца определяется взвешиванием на технических или аналитических весах с точностью до 0,01 г. Объем образца рассчитывается по его линейным размерам, измеренным с помощью штангенциркуля.

Вычислив плотность материала ρ_c (кг/м³) по формуле (16.1) и зная плотность вещества ρ_n (табл. 16.1), рассчитывают пористость Π , % испытываемых ТИМ:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_n}\right) \cdot 100\% \quad (16.2)$$

Определение влажности материала сводится к определению *массы влажного образца*. Масса сухого образца определяется предварительно до его помещения во влажную среду. Величина эта должна быть зафиксирована на образце или в журнале лабораторных испытаний. Вычисляется влажность W по формуле

$$W = \frac{m_e - m_c}{m_c} 100, \%, \quad (16.3)$$

где m_e и m_c – соответственно масса образца во влажном и сухом состоянии, г.

Результаты испытаний

Полученные значения средней плотности ρ_c , пористости Π и влажности W ТИМ заносят в табл. 17.2. Среднюю плотность теплоизоляционных материалов вычисляют с точностью до 0,1 кг/м³, пористость и влажность с точностью до 0,1 %.

Таблица 16. 2.

Результаты определения структурных характеристик и влажности ТИМ

Наименование ТИМ	Масса образца, m , г	Линейные размеры, см	Объем образца, см ³	Плотность, кг/м ³		Пористость Π , %	Влажность W , %
				средняя ρ_c	истинная ρ_n		
Сухие образцы							
Влажные образцы							

Заключение

Сделать анализ полученных значений пористости и влажности ТИМ в зависимости от значения средней плотности.

Задание 2. Определение теплопроводности сухих теплоизоляционных материалов

Одной из важных характеристик теплоизоляционного материала является теплопроводность.

Теплопроводность – это способность материала пропускать через себя тепло от одной поверхности к другой *при наличии перепада* температуры.

Теплопроводность материала оценивается количеством тепла, проходящим через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 час при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1 °С. Показателем теплопроводности служит коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С (К)):

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{F(t_2 - t_1)\tau}, \quad (16.4)$$

где $(t_2 - t_1)$ – разность температур, °С;

τ – время прохождения тепла, ч;

Q – количество тепла, проходящее через материал, Дж;

a – толщина стенки материала, м;

F – площадь стенки, равная 1 м^2 .

Приборы и материалы

1. Электрический сушильный шкаф с температурой нагрева до 240°C и регулятором температуры.
2. Весы электронные.
3. Измеритель теплопроводности строительных материалов типа ИТП-МГ4 (рис. 16.1).
4. Исследуемые образцы размерами $250 \times 250 \times 20$ мм (толщина образцов 6...50 мм).



Рис. 16.1 Общий вид прибора ИТП-МГ4: 1 – электронный блок, 2 – установка

Методика испытаний

Измерение теплопроводности материалов производится с помощью измерителя теплопроводности типа ИТП-МГ4.

Принцип работы прибора основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через плоский образец определенной толщины и направленного перпендикулярно к лицевым граням образца, измерении толщины образца, плотности теплового потока и температуры противоположных лицевых граней.

Стационарная установка прибора состоит из блока управления нагревателем и холодильника, выполненных на элементах Пельтье, тепломера, платиновых датчиков температуры, устройства преобразования первичных сигналов датчиков, а также источника питания. Охлаждение элементов Пельтье осуществляется вентилятором.

Питание на электронный блок подается от установки по соединительному кабелю. В верхней части установки находится прижимной винт, снабженный отсчетным устройством для измерения толщины образца и динамометрическим устройством с трещоткой для создания постоянного усилия прижатия испытуемого образца

Проведение измерений.

У испытуемых образцов грани, контактирующие с рабочими поверхностями плит прибора, должны быть плоскими и параллельными. Отклонение лицевых граней жесткого образца от параллельности не должно быть более $\pm 0,5$ мм. Толщину образцов измеряют штангенциркулем с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм в четырех углах на расстоянии (50 ± 5) мм от вершины угла и центру каждой стороны.

Следует учитывать, что при измерении теплопроводности наибольший вклад в погрешность вносят боковые потери, обусловленные неидеальной тепловой изоляции измерительной ячейки, вызванные неплоскостью рабочих поверхностей образца. Исходя из этого, для проведения измерений с наименьшей погрешностью, предъявляются жесткие требования по отклонениям граней по параллельности и плоскостности: в случае разнотолщинности и отклонений от плоскостности образцы дополнительно шлифуют.

Образцы высушивают до постоянной массы m . Образец считают высушенным до постоянной массы, если потеря его массы после очередного высушивания в течение 0,5 ч не превышает 0,1 %. По окончании сушки образец немедленно помещают в герметичный сосуд.

Затем подготавливают прибор ИТП-МГ4 к работе. Схема прибора приведена на рис. 16.2. Установить образец в установку и опустить коромысло. Зазор между плитой нагревателя и образцом должен составлять от 2 до 5 мм, при необходимости установить зазор, вращая микрометрический винт. Поднять поводок и закрыть Г-образную стенку. Опустить поводок в паз эксцентрикового замка и, повернув его по часовой стрелке, закрепить поводок.

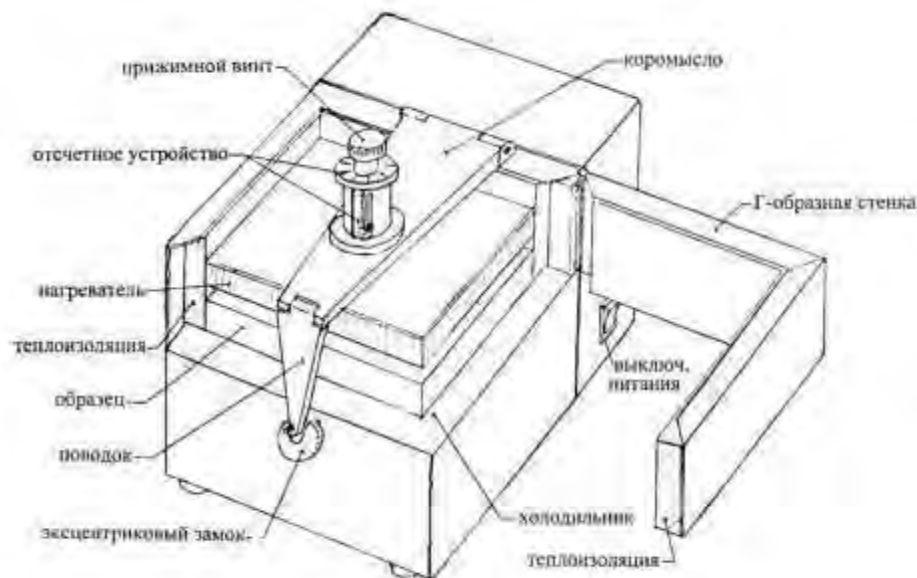


Рис. 16.2 Схема прибора ИТП-МГ4

Включите питание электронного блока. Нажатием кнопки «ВВОД» активируйте режим «Измерение». Кнопками \uparrow и \downarrow установить фактическую толщину образца, кнопкой ВВОД зафиксируйте ее значение.

Кнопками \downarrow и \uparrow установите требуемую температуру холодильника T_x , зафиксируйте выбор кнопкой «ВВОД» (см. табл. 16.3). Затем Кнопками \downarrow и \uparrow установите требуемую температуру нагревателя T_n , зафиксируйте выбор кнопкой «ВВОД».

Нажатием кнопки «ПУСК», запустите прибор в работу.

Программное устройство прибора устанавливает на поверхностях образца заданные температуры T_n и T_x , и поддерживает их с точностью $\pm 0,2$ °С до тех пор, пока тепловой поток, проходящий через измеряемый образец, не стабилизируется. Таймер в нижней строке дисплея отсчитывает время наблюдения, по истечении которого производится автоматическое вычисление значения λ запись результата в архив, о чем свидетельствует звуковой сигнал.

Таблица 16.3.

Рекомендуемые толщина образцов H и разница температур нагревателя и холодильника $\Delta T = T_H - T_X$ в зависимости от теплопроводности λ испытываемого материала

λ , Вт/м·К	Толщина образца H , мм										
	3...5	6...10	11...15	16...20	21...25	26...30	31...35	36...40	41...45	46...50	51...60
	$\Delta T = (T_H - T_X)$, К										
0,02...0,04	5...12	10...25	22...30	25...35	30...40	35...40	—	—	—	—	—
0,05...0,1	—	8...20	17...25	20...30	25...35	30...40	35...40	—	—	—	—
0,11...0,2	—	—	12...20	18...25	20...30	20...35	25...40	—	—	—	—
0,21...0,3	—	—	8...14	12...20	15...27	17...30	20...35	25...40	—	—	—
0,31...0,4	—	—	6...10	8...15	10...20	12...25	17...30	20...35	25...40	—	—
0,41...0,5	—	—	—	7...12	9...16	11...20	15...24	17...27	20...32	—	—
0,51...0,6	—	—	—	6...10	8...13	10...17	12...20	13...23	15...27	17...30	—
0,61...0,7	—	—	—	5...9	7...12	9...14	11...17	12...20	13...23	15...26	—
0,71...0,8	—	—	—	—	6...10	8...13	10...15	11...18	12...20	13...22	15...25
0,81...0,9	—	—	—	—	5...9	7...11	9...13	10...16	11...18	12...20	15...22
0,91...1,1	—	—	—	—	4...8	6...10	7...12	8...14	9...16	10...18	11...20
1,1...1,3	—	—	—	—	—	4...8	5...9	6...11	6...12	6...14	6...15
1,31...1,5	—	—	—	—	—	4...7	4...8	4...9	4...11	4...12	5...13

Результаты испытаний

Результаты измерений различных ТИМ заносят в табл. 16.4.

Таблица 16.4.

Результаты измерений ТИМ в сухом состоянии

№ п/п	Наименование материала	Масса образца m , г	Размеры образца, см	Объем образца, см ³	Средняя плотность ρ_c , г/см ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)
1.						
2.						
3.						

Заключение

Сравнить полученные результаты. Определить наиболее эффективный ТИМ.

Задание 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ТИМ исследованные в заданиях 1 и 2 следует классифицировать и охарактеризовать. Результаты заносят в табл. 16.5.

Классификация исследованных теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Классификация по				Марка по средней плотности	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Область применения
	виду сырья	структуре	форме	горючести			

16.3. Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Как влияет пористость на теплопроводность строительных материалов?
2. Как изменяется теплопроводность теплоизоляционных материалов в зависимости от их влажности?
3. По какой формуле вычисляется пористость ТИМ?
4. Как определить и вычислить влажность ТИМ? Формула для вычисления. Единица измерения.
5. По какой формуле рассчитывают пористость строительных материалов?
6. Какой принцип положен в основу определения теплопроводности прибором ИТП-МГ4?
7. Где целесообразно использовать ТИМ, и в чем их преимущества?
8. По каким показателям классифицируют ТИМ?

16.4. Литература

1. Строительные материалы: лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 632 с.
2. ГОСТ 31913. Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения.
3. ГОСТ 16381. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация. Общие технические требования.

Лабораторная работа № 17

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы

- Ознакомиться с коллекцией современных полимерных материалов, применяемых для полов, отделки стен и изготовления оконных и дверных блоков.
- Ознакомиться с приборами, оборудованием и методиками определения физико-механических свойств полимерных материалов.
- Определить основные характерные физико-механические показатели современных полимерных материалов для устройства полов, отделки стен и материалов из ПВХ профилей для изготовления оконных и дверных блоков;
- Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

17.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

- Что представляют собой полимеры?
- Какие полимеры относятся к природным и какие к синтетическим?
- Что является сырьем для получения синтетических полимеров?
- Как получают полимеры?
- Какие полимеры относятся к полимеризационным?
- Какие полимеры относятся к поликонденсационным?
- Что представляет собой пластмасса?
- Основные компоненты пластмасс и их основное назначение.
- Какие материалы на основе полимеров применяют для устройства полов?
- Какие полимерные материалы применяют для внутренней отделки стен?
- Какие полимерные материалы применяют для наружной отделки стен?
- Какие полимерные материалы применяют для изготовления оконных и дверных блоков?

17.2. Задания к лабораторной работе

- Определение массы 1 м² площади полимерных материалов для полов.
- Определение гибкости поливинилхлоридных материалов.
- Определение истираемости материалов для покрытия полов.

- о Определение деформативности при вдавливании и восстанавливаемости полимерных материалов.
- о Определение прочности при растяжении и разрыве и относительного удлинения при разрыве ПВХ (поливинилхлоридного) профиля.

Общие сведения

Полимерами называют высокомолекулярные химические соединения, состоящие в основном из одинаковых групп атомов - элементарных звеньев. В большинстве своем их получают путем синтеза из простых низкомолекулярных веществ (мономеров).

По химическому характеру реакций, лежащих в основе получения синтетических полимеров, их разделяют на *полимеризационные* и *поликонденсационные*. Полимеризацией получают такие широко- распространенные полимеры, как полиэтилен (ПЭ), поливинилхлорид (ПВХ), полиизобутилен, полистирол (ПС), полиакрилаты; а поликонденсацией – фенолформальдегидные (ФФ), эпоксидные, полиэфирные и другие полимеры.

Материалы, которые получают на основе полимеров или полимерных композитов, называют **пластмассами**. Основным компонентом пластмасс являются полимеры, от типа и качества которых зависят физические, механические и технологические свойства пластмасс. Помимо наполнителей в состав пластмасс могут входить пластификаторы, стабилизаторы, красители, газо- и пенообразователи, растворители и др.

В зависимости от содержания полимера и структуры пластмассы подразделяются на *ненаполненные* – микроскопически однородные, состоящие из полимера и специальных добавок, и *наполненные* – неоднородные, состоящие из полимера и наполнителей, распределенных в полимере и скрепленных им.

Примерами ненаполненных пластмасс являются органическое стекло (ПММА), пенопласты, полиэтиленовые и другие пленки; наполненных – пластики, линолеумы и другие изделия.

Для пластмасс характерна малая средняя плотность, низкая теплопроводность, устойчивость против коррозии, высокая прочность на растяжение и деформативность. Недостатки большинства пластмасс – это низкая теплостойкость, склонность к старению и снижению прочностных свойств под воздействием температуры, времени и различных сред.

Полимерные материалы и изделия (пластмассы) в современном строительстве находят разнообразное применение. По назначению они подразделяются на

конструкционные, отделочные, материалы для покрытия полов, теплоизоляционные, гидроизоляционные, герметизирующие, погонажные, санитарно-технические и другие изделия.

К полимерным материалам для устройства полов относятся линолеумы (без основы, одно- и двухслойный, на тканевой и теплозвукоизоляционной основе), ковровые синтетические материалы, материалы для бесшовных наливных полов, плитки для полов.

К отделочным материалам для внутренних и наружных поверхностей стен относятся погонажные поливинилхлоридные изделия, бумажно-слоистый пластик, полистирольные плитки, моющиеся обои и различные пленки.

К конструкционным полимерным материалам относятся стеклопластики, полимербетоны, профили из ПВХ для оконных и дверных блоков.

Задание 1. Определение массы 1 м² площади полимерных материалов для полов

Сущность метода заключается в определении массы 1 м² условной площади испытываемого рулонного полимерного материала при его фактической толщине. Массу 1 м² материала M в граммах вычисляют по формуле

$$M = m \cdot 100, \quad (17.1)$$

где m – масса образца, г

100 – количество образцов в 1 м²

Приборы и материалы

- Весы лабораторные с наибольшим пределом взвешивания до 500 г
- Образцы с размером сторон 100 мм полимерных материалов для полов: линолеума однослойного, линолеума многослойного, линолеума на тепло- и звукоизоляционной основе, ворсонита и др.

Методика испытаний

Определение массы 1 м² площади полимерных материалов для полов проводят на образцах квадратной формы с размерами сторон (100 ± 1) мм, которые вырезают из отобранного для испытаний материала. Образцы помещают на чашку весов и взвешивают.

Результаты испытаний

Массу 1 м² площади материала M вычисляют по формуле 17.1. Результаты испытаний записывают в табл. 17.1. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение 3-х параллельных испытаний одного вида материала для полов.

Результаты определения 1 м² площади материалов для полов

Наименование материала	Образцы	Масса образца, г	Масса 1 м ²	
			Частное	Среднее
1. Линолеум однослойный	1			
	2			
	3			
2. Линолеум многослойный	1			
	2			
	3			
3. Линолеум на теплоизоляционной основе	1			
	2			
	3			
4. Ворсонит	1			
	2			
	3			

Заключение

Сравнить между собой массу 1 м² испытанных материалов и сделать выводы.

Задание 2. Определение гибкости поливинилхлоридных материалов

Сущность метода заключается в определении появления трещин, разрывов, изломов, вмятин и др. дефектов на образце по истечении 30 с после его огибания на цилиндре.

Приборы и материалы

- 1) Металлические цилиндры диаметром 30, 60 и 100 мм и длиной 200 мм.
- 2) Образцы поливинилхлоридной плитки, погонажный профиль поливинилхлоридный мягкий и полужесткий.

Методика испытаний

Гибкость поливинилхлоридной плитки определяют на 3-х образцах-полосках шириной 50 мм. Их вырезают в продольном направлении из 3-х плиток, отобранных для испытаний. Затем каждую из вырезанных полос огибают вокруг цилиндра диаметром 100 мм. По истечении 30 с визуально проверяют наличие трещин, разрывов, изломов на поверхности полосок. При этом трещины на расстоянии не более 10 мм от кромок образцов не учитываются.

Гибкость погонажных поливинилхлоридных изделий, которые поставляют в бухтах, определяют на 3-х образцах длиной 150 мм. Образцы огибают наката-

нием вокруг цилиндра диаметром 30 мм (для мягких) и 60 мм (для жестких) погонных изделий, выдерживают 20 с и визуально осматривают образцы, накатанные на стержень. Наличие одного из дефектов (трещин, разрывов, изломов) хотя бы на одном образце, является показателем непригодности изделий для поставки в бухтах.

Результаты испытаний

Результаты выполненных испытаний полимерных материалов на гибкость записывают в табл. 17.2.

Таблица 17.2

Результаты определения гибкости поливинилхлоридных материалов

Наименование материала	Диаметр цилиндра, мм	Время испытаний, с	Результаты осмотра образцов
1. Поливинилхлоридная плитка			
2. Профиль погонный ПВХ мягкий			
3. То же полужесткий			

Заключение

Определить какие из испытанных материалов более стойкие.

Задание 3. Определение истираемости материалов для покрытия полов

Сущность метода заключается в определении величины уменьшения толщины полимерного материала при истирании в течение заданного количества циклов испытания.

Приборы и материалы

1. Машина барабанного типа
2. Шкурка шлифовальная
3. Весы лабораторные 2-го класса точности с пределом взвешивания до 200 г
4. Микрометр
5. Клей для приклеивания пластмассы к металлу
6. Кисть
7. Образцы линолеума и плиток поливинилхлоридных

Методика испытаний

Для определения истираемости из испытываемого линолеума с помощью вырубного устройства вырезают по три образца диаметром $(16 \pm 0,5)$ мм. Испытания проводят в следующей последовательности. Образцы приклеивают к держателю испытательной машины, выдерживают необходимое время для отверждения клеевого соединения и взвешивают с точностью до 0.001 г. Испытание на истираемость проводят в течение одного рабочего цикла машины (полные 2 оборота) при усилии в 10 Н. По окончании испытания держатель с образцом вынимают из патрона машины, очищают от пыли и взвешивают.

Истираемость линолеума по уменьшению толщины Δh в мкм вычисляют по формуле

$$\Delta h = \frac{m_1 - m_2}{\rho \cdot S} \cdot K \cdot 10^4 \quad (17.2)$$

где m_1 – масса образца с держателем до испытания, г;

m_2 – масса образца с держателем после испытания, г;

ρ – средняя плотность линолеума, г/см³;

S – площадь образца, см² ;

K – коэффициент, характеризующий истирающую способность шкурки, используемой при испытании (принять $K= 1,01$);

10^4 – коэффициент пересчета.

Площадь истирания S в см² равна площади образца и рассчитывается по формуле

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (17.3)$$

где D – диаметр образца, см.

Далее рассчитывают коэффициент износа линолеума Z , характеризующий его износостойкость

$$Z = \frac{\Delta h}{h} \quad (17.4)$$

где h – толщина до испытания на истираемость, мкм.

За результат испытания принимают среднее арифметическое значение трех параллельных определений.

Результаты испытаний

Исходные данные и результаты обработки выполненных испытаний по определению истираемости заносят в табл. 17.3.

Таблица 17.3

Истираемость полимерных материалов для полов

Показатели	Наименование материалов		
Масса образца, г - до испытания - после испытания			
Средняя плотность материала, г/см ³			
Площадь образца, см ²			
Толщина материала, мм			
Истираемость			
Коэффициент износа линолеума			
Требования по ГОСТ по истираемости			

Заключение

Сравнить опытные данные по истираемости с требованиями действующего ТНПА. Сделать выводы о долговечности применения материалов.

Задание 4. Определение деформативности при вдавливании и восстанавливаемости полимерных материалов

Деформативность рулонных и плиточных материалов для полов, профилей пластмассовых для оконных и дверных блоков, а также изделий погонажных профильных поливинилхлоридных характеризуется способностью к продавливанию под нагрузкой и восстановлению после снятия нагрузки.

Сущность метода заключается в определении величин абсолютных деформаций при вдавливании индентора под нагрузкой, абсолютной остаточной деформации после снятия нагрузки и восстанавливаемости деформаций.

Приборы и материалы

1. Устройство для определения деформаций с индентором
2. Секундомер
3. Образцы рулонного материала для полов, профилей пластмассовых для оконных и дверных блоков, изделий погонажных профильных поливинилхлоридных

Методика испытаний

Из профилей для оконных и дверных блоков, подлежащих испытанию, вырезают по 3 образца размером (20x20) мм и толщиной не менее 3 мм.

Из рулонных и плиточных полимерных материалов для полов вырезают квадратные образцы с размерами сторон (50±5) мм.

Подготовленный для испытания образец помещают на столик устройства для испытаний лицевой поверхностью вверх так, чтобы шарик индентора находился против центра плоскости образца. При наличии основы у материала для полов образцы испытывают вместе с ней.

Шарик индентора приводят в соприкосновение с поверхностью материала. Фиксируют отсчет по индикатору По. Затем шарик индентора передают усилие в 10 Н. По истечении 60 с фиксируют новое положение стрелки индикатора n_1 . После

этого усилие снимают, образец оставляют в течение 60 с в ненагруженном состоянии и по новому показанию индикатора определяют с той же погрешностью величину n_2 остаточной деформации.

Абсолютную деформацию h_a в мм при вдавливании вычисляют по формуле

$$h_a = (n_1 - n_0), \quad (17.5)$$

где n_0 – отсчет по индикатору до нагружения;

n_1 – отсчет по индикатору после нагружения.

Восстанавливаемость E в % определяют по формуле

$$E = \frac{n_1 - n_2}{h_a} 100, \quad (17.6)$$

где n_1 – отсчет по индикатору после нагружения;

n_2 – отсчет по индикатору после снятия усилия;

h_a – абсолютная деформация, мм

За результаты испытаний принимают среднее арифметическое значение 3 параллельных определений показателей.

Результаты испытаний

Результаты испытаний и вычислений абсолютных деформаций при вдавливании и восстанавливаемости деформаций заносят в табл. 17.4.

Таблица 17.4'

Результаты определения абсолютных и восстановленных деформаций

Показатели	Наименование материала		
Отсчет по индикатору, мм: - до приложения усилия n_0 - после приложения усилия n_1 - после снятия усилия n_2			
Абсолютная деформация при вдавливании, h_a - полученная, мм - нормируемая, мм			
Восстанавливаемость, E , % - полученная - нормируемая			

Заключение

Сравнить полученные значения абсолютной деформации при вдавливании и восстанавливаемости с требованиями нормативных документов. Сделать вывод.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ И РАЗРЫВЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОГО УДЛИНЕНИЯ ПРИ РАЗРЫВЕ ПВХ-ПРОФИЛЯ

Сущность метода определения прочности при растяжении и разрыве основана на растяжении испытываемого образца с установленной скоростью деформирования (ТНПА).

Значения прочности при растяжении σ_{pm} в МПа вычисляют по формуле

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0} \quad (17.7)$$

где F_{pm} – максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;

A_0 – начальное поперечное сечение образца, мм².

Прочность при разрыве σ_{pp} в МПа вычисляют по формуле

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp}}{A_0} \quad (17.8)$$

где F_{pp} – нагрузка, при которой образец разрушился, Н.

Относительное удлинение при разрыве ε_p вычисляют по формуле

$$\varepsilon_p = (\Delta l_p / l_0) 100 \quad (17.9)$$

где Δl_p - изменение расчетной длины образца в момент разрыва, мм

l_0 - начальная расчетная длина образца, мм

Приборы и материалы

- Машина испытательная на растяжение
- Штангенциркуль
- Линейка
- Образцы (тип 2) из ПВХ-профилей для изготовления оконных и дверных блоков

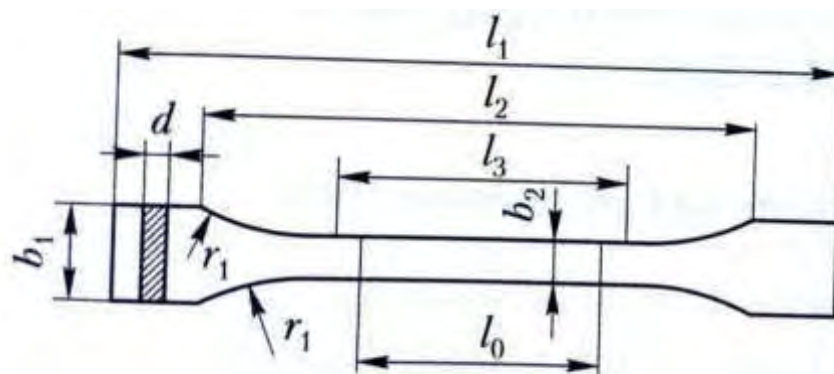


Рис. 17.1. Форма и размеры образцов из ПВХ для испытания на растяжение

Для проведения испытания готовят пять образцов, форма и размеры которых указаны на рис. 17.1 и табл. 17.5.

Размеры опытных образцов (тип 2) из ПВХ

Параметры	Размеры, мм
Общая длина, l_1 не менее	150
Расстояние между метками, определяющими положение кромок захватов на образце, l_2	15 ± 5
Длина рабочей части, l_3	$60 \pm 0,5$
Расчетная длина, l_0	$50 \pm 0,5$
Ширина головки, b_1	$20 \pm 0,5$
Ширина рабочей части, b_2	$10 \pm 0,5$
Толщина, d	$4 \pm 0,4$ (от 1 до 10)
Радиус закругления, r , не менее	60

Методика испытаний

Испытания проводят в следующей последовательности. В соответствии с рис. 15.1 и табл. 15.5 на образцы, подготовленные для испытания, наносят необходимые

метки. В трех местах (в середине и на расстоянии 5 мм от меток) измеряют ширину и толщину образцов. Из полученных значений вычисляют среднее арифметическое величины, по которым устанавливают поперечное сечение образца – A_0 . Образцы закрепляют в зажимах испытательной машины таким образом, чтобы продольно оси захватов и ось образца совпадали между собой и направлением движения подвижного захвата. Захваты равномерно затягивают. Испытания проводят при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5) \%$.

За результат испытания принимают среднее арифметическое из пяти определений, вычисленных до второй значащей цифры после запятой по формулам 17.7 – 17.9.

Результаты испытаний

Результаты выполненных испытаний по определению предела прочности при растяжении, прочности и относительного удлинения при разрыве заносят в таблицу 17.6.

Таблица 17.6

Результаты испытаний при растяжении ПВХ

Определения	Значения показателей						
	частные					среднее	
	1	2	3	4	5	опытное	требуемое
Начальное поперечное сечение образца, мм							
Усилие: - максимальное при растяжении, Н - в момент разрыва, Н							
Предел прочности: - при растяжении, МПа - при разрыве, МПа							
Относительное удлинение при разрыве							

Заключение

Сравнить полученные опытные значения с требуемыми по ТНПА. Сделать выводы о их соответствии.

17.3. Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Какими основными свойствами должны обладать полимерные материалы для полов?
2. Как определить массу 1 м² площади полимерного материала для полов?
3. Как определить гибкость полимерных материалов для полов?
4. В каких единицах измеряется истираемость полимерных материалов для полов и как ее определить?
5. Какие показатели характеризуют деформативность полимерных материалов при вдавливании?
6. Как определить величину абсолютной деформации полимерных материалов?
7. Как определить восстанавливаемость полимерных материалов?
8. Какие приборы применяют при определении деформативности полимерных материалов?
9. На каких образцах определяют прочность при растяжении и разрыве?
10. По какой формуле вычисляют прочность при растяжении?
11. По какой формуле вычисляют прочность при разрыве?
12. Как определить относительное удлинение при разрыве?
13. Какие компоненты в пластмассах влияют на величину относительного удлинения при разрыве?

17.4. Литература

1. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Ю. И. Киреева, Е. Н. Храмцова ; Министерство образования Республики Беларусь, Полоцкий государственный университет. - Новополоцк : ПГУ, 2018. - 119 с..
2. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / В. С. Руднов, Е. В. Владимирова, И. К. Доманская, Е. С. Герасимова ; под общей редакцией И. К. Доманской ; Министерство образования и науки Российской Федерации. — Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. — 203 с.

3. ГОСТ 24888-81. Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения.
4. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
5. ГОСТ 11529-2016. Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля.
6. ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Метод определения плотности (объемной массы).
7. ГОСТ 16475-81. Плитки поливинилхлоридные для полов. Технические условия.

**ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

СОДЕРЖАНИЕ

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	886
ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ	891
ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	897
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВЕСИНЫ	904
СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ	912
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ.....	918
ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ	922
ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ	928
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ	933
МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ	940
КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ	946
КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР	951
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ	958
ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА	964
ИСПЫТАНИЕ ВЯЗКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА.....	967
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ТИМ).....	971
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	976

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

**ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Определение истинной плотности (плотности вещества)

Истинная плотность – это _____

$$\rho_{и} =$$

Таблица 1- Истинная плотность (плотность вещества)

Показатели	Наименование вещества	
Масса навески порошка m , г		
Масса остатка порошка m_1 , г		
Масса порошка, высыпанного в прибор $m-m_1$, г		
Объем порошка, высыпанного в прибор, V см ³		
Истинная плотность, $\rho_{и}$ г/см ³		
Истинная плотность, $\rho_{и}$, кг/м ³		

Задание 2. Определение средней плотности (плотности материала)

Средняя плотность – это _____

$$\rho_{с} =$$

Таблица 2 – Средняя плотность (плотность материала)

Показатели	Наименование материала			
Масса сухого образца m , г				
Объем воды, вытесненной образцом неправильной формы, мл				
Геометрические размеры образца правильной формы, см				
Объем образца V_e , см ³				
Средняя плотность $\rho_{с}$, г/см ³				
Средняя плотность $\rho_{с}$, кг/м ³				

Задание 3. Определение пористости строительных материалов

Пористость – это _____

$$P =$$

Таблица 3 – Результаты определения пористости

Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Пористость P , %
	истинная ρ_n	средняя ρ_c	

Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности

Насыпная плотность – это _____

$$\rho_n =$$

Межзерновая пустотность – это _____

$$V_{пуст} =$$

Таблица 4 – Насыпная плотность кварцевого песка

Показатели	Наименование сыпучего материала			
Масса мерного сосуда m , кг				
Вместимость мерного сосуда V , м ³				
Масса сосуда с материалами m_1 , кг				
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³				
Плотность зерен ρ_z , кг/м ³				
Пустотность $V_{пуст}$, %				

Вывод: _____

Задание 5. Определение влажности

Влажность – это _____

$$W =$$

Таблица 5 – Определение влажности и насыпной плотности песка

Наименование определений	Проба 1	Проба 2	Проба 3
Масса пустого цилиндра, кг			
Масса цилиндра с песком, кг			
Объём цилиндра, м ³			
Насыпная плотность влажного песка, кг/м ³			
Масса песка до высушивания m_1 , кг			
Масса песка после высушивания m_2 , кг			
Влажность песка W , %			

Вывод: _____

Задание 6. Определение водопоглощения по массе и объему и расчет закрытой пористости

Водопоглощение по массе _____

$$B_M =$$

Водопоглощение по объему _____

$$B_V =$$

Пористость закрытая _____

$$P_{з,} =$$

Коэффициент насыщения _____

$$K_{нас} =$$

Таблица 5 – Водопоглощение и закрытая пористость

Показатели	Наименование материалов		
Масса сухого образца m_c , г			
Масса насыщенного водой образца m_n , г			
Объем образца V , см ³			
Средняя плотность материала ρ_c , г/см ³			
Водопоглощение по массе B_M , %			
Водопоглощение по объему B_V , %			
Истинная плотность материала, ρ_u г/см ³			
Пористость материала P , %			
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$			
Закрытая пористость P_z , %			

Вывод:

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какое различие между истинной, средней и насыпной плотностями?
2. Как определить истинную плотность строительного материала?
3. Почему измельчают материалы при определении истинной плотности?
4. Как определить истинную плотность вещества, если оно вступает в химическую реакцию с водой?
5. Как определить среднюю плотность строительного материала?
6. Как определить пористость материала?
7. На какие свойства и в какой степени влияет пористость?
8. Как определить насыпную плотность сыпучих материалов?
9. Как определить пустотность сыпучих материалов?
10. Как зависит насыпная плотность песка от его влажности?
11. Как определить водопоглощение материала?
12. Как рассчитать закрытую пористость материала?
13. Как рассчитать водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе?
14. Что характеризует коэффициент насыщения?
15. Как косвенно оценить морозостойкость строительных материалов?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

**ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ**

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Определение абсолютной и относительной деформации

Абсолютное удлинение после разрыва: $\alpha =$

Относительное удлинение после разрыва: $\varepsilon =$

Относительное сужение после разрыва $\psi =$

Таблица 1 – Результаты измерений арматурной стали

Показатели	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Диаметр образца начальный d_0 , мм				
Диаметр образца после испытания d_1 , мм				
Площадь поперечного сечения образца начальная A_0 , мм ²				
Площадь поперечного сечения образца после испытания A_1 , мм ²				
Расчетная длина образца начальная l_0 , мм				
Расчетная длина образца конечная l_1 , мм				
Абсолютное удлинение после разрыва α , мм				
Относительное удлинение после разрыва ε , %				
Относительное сужение после разрыва ψ , %				

Задание 2. Определение твердости металлов по методу Бринелля

Твердость - _____

Таблица 2 – Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Показатели	Образец		
	1	2	3
Толщина образца, мм			
Диаметр шарика D (индентора), мм			
Диаметр отпечатка d , мм			
Величина усилия F , Н			
Величина усилия F , кгс			
Значение твердости HB			

Вывод: _____

Задание 3. Определение твердости горных пород

Таблица 3. Результаты испытаний на твердость

Горная порода	№ минерала, оставляющего черту на образце	№ минерала, царапающего образец	Твердость по шкале Мооса

Задание 4. Определение предела прочности при сжатии и расчет коэффициента конструктивного качества $K_{к.к.}$

Предел прочности при сжатии _____

$$R_{сж} =$$

Таблица 4 – Прочность при сжатии

Наименование материала	Разрушающая нагрузка F , Н	Площадь поперечного сечения A , мм ²	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа

Схема испытания

$$K_{к.к.} =$$

Таблица 5 – Коэффициент конструктивного качества

Наименование материала	$R_{сж}$, кгс/см ²	ρ_0 , кг/см ³	$K_{к.к.}$

Задание 5. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при изгибе _____

$$R_{изг} =$$

Таблица 5 – Прочность при изгибе

Наименование материала	Размеры образца, мм			Расстояние между опорами l , мм	Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности, $R_{изг}$, МПа
	Длина a	Ширина b	Высота h			

Схема испытания**Задание 6.** Определение ударной прочности (сопротивления удару)

Ударная прочность _____

$$R_{уд} =$$

Таблица 7 – Ударная прочность

Наименований материала	Размеры образца, см		Объем образца, V см ³	Номер удара, разрушившего образец n	Ударная прочность, $R_{уд}$ Дж/см ³
	Диаметр d	Высота h			

Задание 7. Определение истираемости

Истираемость _____

$$I =$$

Таблица 8 – Результаты испытаний на истираемость

Определения	Наименование материала		
Масса образца до испытания, m , г			
Масса образца после испытания m_1 , г			
Площадь истирания A , см ²			
Истираемость I , г/см ²			

Выводы по работе: _____

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Как вы понимаете свойства материалов: деформативность, упругость, пластичность, прочность?
2. Приведите примеры упругих и пластичных строительных материалов
3. Что такое твердость?
4. Как определяют твердость металлов?
5. Как определяют твердость по шкале Мооса?
6. Что такое прочность материала, и чем она характеризуется?
7. Приведите формулы определения прочности строительных материалов.
8. На каких образцах и как определить предел прочности при сжатии, при растяжении, при изгибе?
9. Что характеризует коэффициент конструктивного качества? Приведите примеры материалов с высоким коэффициентом конструктивного качества.
10. На каких образцах и как определить ударную прочность?
11. Как определить истираемость материалов?
12. Для каких материалов определяют истираемость?

Плотность и прочность некоторых строительных материалов

№ п/п	Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Предел прочности	
		средняя, ρ_0	истинная, ρ_u	при сжатии $R_{сж}$, МПа	при изгибе $R_{изг}$, МПа
	Бетон цементный тяжелый	2400	2600	10...100	5510
	Бетон цементный легкий	800...1800	2600	8...80	-
	Бетон ячеистый	500	2580	0,35...12,5	-
	Пенополистирол	10...20	1050	-	-
	Гипс и гипсовые изделия	700...1300	2700	2...25	1,2...8
	Граниты	2500...2900	2700...3000	120...300	
	Древесина (сосна)	400...500	1530	50	85
	Древесноволокнистая плита (ДВП)	200	1500	-	-
	Известняки тяжелые	1600...2100	2600	20...50	
	Известняки-ракушечники	1100...1600	2700	15...30	
	Кирпич керамический полнотелый	1600...1900	2600...2840	7,5...30	1,0...4,5
	Кирпич керамический сверхэффективный пористо-пустотелый	900...1200	2600...2840	7,5...30	0,6...3,0
	Кирпич силикатный	1800...2000	2600...2750	7,5 ...30	1,0 ... 4,5
	Стекло оконное листовое	2550	2550	-	-
	Пеностекло (ячеистое стекло)	150...300	2550	-	-
	Полимерный материал – стеклопластик	2000	2000	-	-
	Песок кварцевый $\rho_{нас}=1500...1700$	2500...2600	2500...2600	-	-
	Цемент $\rho_{нас}=1100...1200$	3000...3100	3000...3100	30...60	4,5...6,5
	Сталь	7850	7850	$R_{раст} \approx 400...750$ МПа	
	Алюминий	2600	2600	$R_{раст} \approx 90...120$ МПа	

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Ознакомиться с классификацией горных пород по их происхождению.

Привести примеры каждой группы классификации (из коллекции в лаборатории).

I. Изверженные породы –

1) массивные:

а) глубинные:

б) излившиеся:

2) обломочные:

а) рыхлые:

б) цементированные:

II. Осадочные породы –

1) химические осадки:

2) механического :

3) органогенные образования:

III. Метаморфические породы –

Задание 2. Ознакомьтесь с основными породообразующими минералами

С помощью учебника и коллекций ознакомьтесь с основными породообразующими минералами и заполните таблицу .

Наименование минералов	Средняя плотность, кг/м ³	Химический состав	Цвет	Твердость по шкале Мооса	В какой горной породе преобладает

Задание 3. Определение средней плотности горных пород

Средняя плотность - _____

$\rho_0 =$

Наименование породы	Масса образца <i>m</i> , г	Объем образца <i>V</i> , см ³	Средняя плотность	
			ρ_0 , г/см ³	ρ_0 , кг/м ³
Известняк–ракушечник				
Вулканический туф				

Вывод: _____

Задание 4. Определение истинной плотности и пористости горных пород

Истинная плотность - _____

$\rho_{и} =$

$V_{пор} =$

Горная порода	Масса навески порошка, г			Объем вытесненной жидкости V , см ³	Истинная плотность $\rho_{и}$, г/см ³	Средняя плотность ρ_0 , г/см ³	Пористость $V_{пор}$, %
	начальная m	оставшегося m_1	$m - m_1$				
Известняк-ракушечник	—	—	—	—			
Вулканический туф	—	—	—	—			

Вывод: _____

Задание 5. Определение твердости

Твердость – это _____

Горная порода	№ минерала, оставляющего черту на горной породе	№ минерала, царапающего горную породу	Твердость по шкале Мооса

Вывод: _____

Задание 6. Определение истираемости горных пород

Истираемость – это _____

$I =$

Горная порода	Масса образца, г		Размеры образцов, см	Площадь истирания S , см ²	Истираемость I , г/см ²
	до испытания m	после испытания m_1			

Вывод: _____

Задание 7. Декоративно-отделочные свойства горных пород

Пользуясь учебником и коллекцией ознакомьтесь с горными породами. Заполнить их характеристики.

Горная порода	Цвет	Структура	Фактура	Текстура
Мрамор				
Гранит				
Известняк				
Известняк–ракушечник				

ЦВЕТА:

– *ахроматические*

– *хроматические*

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1. *Одноцветные:*

2. *Многоцветные:*

СТРУКТУРА – это _____

Виды структур: _____

ФАКТУРА – _____

Ударные фактуры: _____

Абразивные фактуры: _____

ТЕКСТУРА – это _____

Виды текстур: _____

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Основные породообразующие минералы магматических горных пород.
2. Основные породообразующие минералы осадочных горных пород.
3. Основные минералы, образующие метаморфические горные породы.
4. Как определить среднюю и истинную плотность горной породы?
5. Как вычислить пористость горной породы?
6. Какие горные породы определяют, используя раствор соляной кислоты HCl ?
7. Что такое твердость и как она определяется для горных пород?
8. Что такое истираемость и как она определяется?
9. От чего зависит истираемость горной породы.
10. Каким образом определяется ударная прочность каменных материалов?
11. Какие различают декоративно-отделочные свойства природных каменных материалов?
12. Как определить блеск лицевой поверхности природных каменных материалов?
13. Что такое фактура, и какие различают фактуры?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДРЕВЕСИНЫ**

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Результаты определения влажности древесины

Влажность - _____

$$W =$$

Определения	Образец		
	1	2	3
Масса образца до сушки m_1 , г			
Масса образца после сушки m_2 , г			
Масса испарившейся воды ($m_1 - m_2$), г			
Влажность древесины W , % (метод сушки)			
Влажность древесины W , % (экспресс метод)			

Задание 2. Результаты определения усушки древесины

Усушка это _____

Относительная усушка рассчитывается по формуле: $\beta =$

Рис. деревянный брусок (с размерами и направлением волокон).

Измерения	№ образца	Размеры, мм		Линейная усушка	
		до сушки L_{max} при влажности $W =$ _____ %	после сушки L_{min}	абсолютная $L_{max} - L_{min}$, мм	относительная β , %
Размер образца (вдоль волокон) L_a , мм	1				
	2				
	3				
	среднее	--	--		
Ширина (в радиальном направ- лении) L_r , мм	1				
	2				
	3				
	среднее	--	--		
Толщина (в тангентальном направлении) L_t , мм	1				
	2				
	3				
	среднее	--	--		

Вывод: _____

Задание 3. Результаты определения плотности и пористости древесины

Средняя плотность – _____

Пористость – _____

$\rho_w =$

$\rho_{12} =$

$\Pi =$

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Влажность образца, W , %			
Масса образца m_w при влажности W , г			
Размеры образца, при влажности W , %: длина l_w , см ширина b_w , см толщина a_w , см			
Объем образца V_w при влажности $W = \text{_____} \%$, см^3			
Плотность древесины при влажности $W = \text{_____} \%$, ρ_w г/см ³			
То же ρ_w , кг/м ³			
Коэффициент пересчета K_{12}^w на влажность $W_{cm} = 12\%$			
Плотность древесины при $W_{cm} = 12\%$, ρ_{12} , кг/м ³			
Среднее арифметическое значение ρ_{12} , кг/м ³			
Плотность сухой древесины, ρ_0 , кг/м ³ $\rho_0 = \rho_{12}/1,12$			
Пористость древесины при $W_{cm} = 12\%$, Π %			

Вывод: _____

Задание 4. Определение прочности древесины при сжатии вдоль волокон и расчет ККК

Порода _____

$R_{сжW} =$

$R_{сж12} =$

$K_{к.к.} =$

Определения	Номер образца	
	1	2
Размеры поперечного сечения, мм $a \times b$		
Площадь поперечного сечения S , мм ²		
Масса образца m_w , г		
Объем образца V_w , см ³		
Плотность древесины ρ_{0w} , г/см ³		
Максимальное усилие F_{max} , Н		
Предел прочности $R_{сжW}$ при влажности W , МПа		
Влажность в момент испытания W , %.		
Предел прочности при $W_{ст} = 12$ %, $R_{сж12}$, МПа		
Среднее арифметическое значение $R_{сж12}$, МПа		
Коэффициент конструктивного качества $K_{к.к.}$		

Вывод: _____

Задание 5. Результаты определения прочности древесины при статическом изгибе

Схема нагружения образца:

$R_{изгW} =$

$R_{изг12} =$

Определения	Результаты
Ширина образца в радиальном направлении b , мм	
Высота образца в тангентальном направлении h , мм	
Расстояние между центрами опор l , мм	
Разрушающее усилие F_{max} , Н	
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа	
Влажность образца в момент испытания W , %	
Предел прочности при изгибе при $W_{см}=12\%$, $R_{изг 12}$, МПа	

Вывод: _____

Задание 6. Результаты определения прочности древесины при скалывании

Схема образца:

$R_{ск}^W =$

$R_{ск 12} =$

Определения	Результаты
Плоскость скалывания _____	
Ширина образца b , мм	
Длина скалывания l , мм	
Площадь скалывания S , мм ²	
Максимальное усилие F_{max} , Н	
Предел прочности при скалывании $R_{ск}^W$, МПа	
Влажность в момент испытания W , %	
Предел прочности при $W_{см}=12\%$ $R_{ск 12}$, МПа	

Вывод: _____

Задание 7. Результаты определения содержания поздней древесины в годичном слое

Поздняя древесина - _____

Схема образца:

$m =$

$R_{сж} =$

Определения	Порода _____	Результаты
Общая длина отрезка l по радиальному направлению, мм		
Суммарная ширина частей поздней древесины $\sum a_i$, мм		
Содержание поздней древесины m , %		
Ориентировочное значение $R_{сж}$, МПа		

Вывод: _____

Задание 8. Изучение микроструктуры древесины

Схема микроструктуры древесины:

Вывод: _____

Задание 9. Определение качества пиломатериалов по наличию пороков

В результате осмотра образцов обнаружены: _____

Задание 10. Физико-технические показатели древесины

Определения	Полученные результаты
1. Влажность W , %	
2. Линейная относительная усушка β , % <ul style="list-style-type: none">• вдоль волокон• в радиальном направлении• в тангентальном направлении	
3. Плотность при влажности 12 % ρ_{12} , кг/м ³	
4. Пористость Π , %	
5. Предел прочности $W_{см}=12\%$, МПа при сжатии вдоль волокон $R_{сж12}$	
при статическом изгибе $R_{изг 12}$	
при скалывании вдоль волокон $R_{ск 12}$	
6. Содержание поздней древесины , m %	

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Чем объясняется высокое значение коэффициента конструктивного качества древесины?
2. Какие экспериментальные данные необходимы для расчета коэффициента конструктивного качества?
3. С какой целью определяется коэффициент конструктивного качества?
4. Перечислите положительные и отрицательные свойства древесины.
5. К какому виду строительных материалов относится древесина?
6. По каким направлениям разрезов ствола дерева изучается микроструктура древесины?
7. Как определить среднюю плотность древесины?
8. В каком направлении древесина характеризуется наибольшей прочностью при сжатии и растяжении?
9. При каком направлении действия разрушающего усилия древесина лучше работает на изгиб?
10. Как анизотропность древесины влияет на ее свойства?
11. Как определить влажность древесины?
12. Что такое гигроскопическая и капиллярная влажность древесины?
13. Назовите величину стандартной влажности древесины?
14. В каких пределах изменяется линейная усушка в радиальном и тангентальном направлениях?
15. В каком из направлений наблюдается наибольшая усушка древесины при уменьшении влажности и наибольшее разбухание при увеличении влажности?
16. В каком из направлений наблюдается наименьшая усушка древесины при уменьшении влажности и наименьшее разбухание при увеличении влажности?
17. В каком направлении ствола вытянуты клетки древесины?
18. В каком направлении наименьшая теплопроводность древесины?
19. Какая часть древесины годичного слоя плотнее: внутренняя (ближе к оси ствола) или наружная?
20. Какое значение имеет содержание поздней древесины? Что такое поздняя древесина?
21. Чем определяется сорт пиломатериалов?
22. Назовите виды пороков древесины.
23. Для чего предназначены антисептики?
24. Для чего предназначены антипирены?
25. При каком испытании на прочность, выполненном в ходе данной лабораторной работы, древесина показала наименьшее сопротивление?
26. Как влияет влажность древесины на ее прочность, теплопроводность и электропроводность?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ
(керамический и силикатный кирпич)

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Оценка качества стеновых материалов по показателям внешнего вида и по отклонениям от геометрических размеров

Показатели внешнего вида	Кирпич керамический		
	Требования СТБ 1160	Результаты осмотра образцов	
		Одинарный полнотелый	Утолщенный пустотелый
Номинальные размеры: длина, мм 250 ширина, мм 120 толщина, мм 65 (88)	±5 ±4 ±3		
Отклонение от перпендикулярности граней, мм по ложку и плашку по тычку	— —		
Отбитости углов и ребер глубиной более ___ мм и дли- ной от ___ мм до ___ мм – допускается, шт.			
Трещины протяженностью до ___ мм по плашку полно- телого кирпича и пустотелых изделий: на ложковых гранях, шт. на тычковых гранях, шт.	— —		
Показатели внешнего вида	Кирпич силикатный		
	Требования ГОСТ 379	Результаты осмотра образцов	
		Одинарный полнотелый	Утолщенный пустотелый
Номинальные размеры: длина, мм 250 ширина, мм 120 высота, мм 65 (88)	±2 ±2 ±2		
Отклонения по параллельности опорных граней, мм	±2		
Отбитости и притупленности углов глубиной от ___ мм до ___ мм, (более 15 мм – не допускается), шт.	—		
Отбитости и притупленности ребер глубиной от ___ мм до ___ мм, (более 10 мм – не допускается), шт.	—		
Шероховатости или срыв граней глубиной не более, мм			
Трещины протяженностью до 40 мм			

Кирпич керамический _____
(соответствие стандарту, причины не соответствия)

Кирпич силикатный _____,
(соответствие стандарту, причины не соответствия)

Задание 2. Определение средней плотности кирпича

Определения (показатели)	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича m_c , г						
Объем кирпича V_e , см ³						
Средняя плотность сухого кирпича ρ_c , г/см ³						
Средняя плотность сухого кирпича ρ_c , кг/м ³						
Среднее значение ρ_c , кг/м ³						

Вывод: _____

Задание 3. Определение плотности вещества (истинной плотности) кирпича и пористости кирпича

Определения	Кирпич керамический		Кирпич силикатный	
	1	2	1	2
Исходная навеска сухого порошка m , г				
Масса остатка от навески m_1 , г				
Израсходовано порошка $(m - m_1)$, г				
Объем жидкости, вытесненной порошком V , см ³				
Истинная плотность вещества кирпича ρ_u , г/см ³				
То же, кг/м ³				
Среднее арифметическое значение истинной плотности ρ_u , кг/м ³				
Средняя плотность кирпича ρ_c , (из задания 2), кг/м ³				
Пористость кирпича Π , %				

Задание 4. Определение водопоглощения и прогноз морозостойкости кирпича

Определения (показатели)	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича m_c , г						
Масса кирпича, насыщенного водой m_n , г						
Водопоглощение по массе B_M , %						
Среднее значение B_M , %						
Объем кирпича V (из задания 2), см ³						
Водопоглощение по объему B_V , %						
Среднее значение B_V , %						
Требования стандартов к водопоглощению по массе B_M						
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$						
Прогноз морозостойкости кирпича						

Вывод: Если $K_{нас}$ _____, то _____

Задание 5. Расчет толщины стены в зависимости от вида кирпича

$$\delta =$$

Вид кирпича	Средняя плотность сухого кирпича ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность кладки λ , Вт/(м·°К)	Требуемая толщина стен (в м) для обеспечения термического сопротивления $3,2$ (м ² К)/Вт	Толщина стен с учетом кратности размерам кирпича	
				в кирпичах	в метрах
Керамический полнотелый		0,52			
Силикатный полнотелый		0,70			
Эффективный керамический		0,46			

Вывод: _____

Задание 6. Определение прочности при изгибе и сжатии керамического кирпича

Определения	Значения для образцов				
	1	2	3	4	5
Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$, МПа					
Среднее значение для 5 образцов $R_{сж}$, МПа					
Наименьшее из 5 значений $R_{сж}$ изделий, МПа					
Марка кирпича по пределу прочности при сжатии					

По пределу прочности при сжатии кирпич соответствует марке _____

Результаты определения предела прочности при изгибе

Определения	Значения для образцов				
	1	2	3	4	5
Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$, МПа					
Среднее значение для 5 образцов, $R_{изг}$, МПа					
Наименьшее из 5 значений, $R_{изг}$, МПа					
Марка кирпича по пределу прочности при изгибе					

По пределу прочности при изгибе кирпич соответствует марке _____

ВЫВОД: Марка кирпича по прочности _____

Задание 7. Определение коэффициент размягчения силикатного кирпича

Определения	Значения
Площадь поперечного сечения образцов A , мм ²	
Разрушающее усилие при сжатии F , Н	
Предел прочности при сжатии насыщенных водой образцов $R_{нас\ сж}$, МПа	
Предел прочности при сжатии сухих образцов $R_{сух\ сж}$, МПа	
Коэффициент размягчения $K_{разм}$	

Прогноз водостойкости кирпича: _____

Условное обозначение кирпичей:

Кирпич керамический одинарный лицевой полнотелый, марка по прочности 200, марка по морозостойкости 50: _____

Кирпич керамический утолщенный рядовой пустотелый, марка по прочности 150, марка по морозостойкости 25: _____

Кирпич силикатный одинарный рядовой полнотелый, марка по прочности 250, марка по морозостойкости 35: _____

Кирпич силикатный утолщенный рядовой пустотелый, марка по прочности 175, марка по морозостойкости 15: _____

Укажите размеры (в мм), значения прочности (в МПа) и морозостойкости (в циклах) кирпичей:

Кирпич КОЛ 250/35 СТБ 1160 _____

Кирпич СПУР 150/25 СТБ 1228 _____

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Из какого сырья получают керамические изделия?
2. В чем состоит разница между пластическим и полусухим способом изготовления кирпича? Как влияет способ формования на качество кирпича?
3. Почему не делают керамический кирпич размерами, например, 1х0,5х0,3м? Какие возникают при этом трудности?
4. Какое сырье требуется для производства силикатного кирпича?
5. В чем различие терминов “кирпич керамический” и “камень керамический”?
6. У какого кирпича более жесткие допуски по размерам: у силикатного или керамического? Почему?
7. Что происходит при автоклавной обработке силикатного кирпича? Физический смысл и химическая реакция.
8. Почему допускаемые стандартами отклонения от номинальных размеров для силикатного кирпича меньше, чем для керамического?
9. Чем отличается эффективный кирпич от обыкновенного?
10. Как зависит теплопроводность кирпича от его плотности, пористости? Показать на примерах.
11. Как зависит толщина наружных стен от теплопроводности материала?
12. По каким показателям определяется марка кирпича по прочности?
13. Как испытывают силикатный кирпич для определения его марки по прочности?
14. Почему силикатный кирпич не применяют для кладки стен подземной части зданий или для кладки печей?
15. Где не рекомендуют применять силикатный кирпич?
16. Какой кирпич дешевле – керамический или силикатный? Почему?
17. Как определить пористость кирпича?
18. На какие свойства кирпича влияет пористость?
19. Как оценить теплопроводность материала, и от чего она зависит?
20. Почему недопустимо испытывать керамический кирпич на сжатие без специальной обработки образца?
21. Какие технические показатели характеризуют качество стенового материала?
22. Что значит выражение – марка кирпича 75, 100, 300?
23. Как практически определить предел прочности при сжатии? Привести формулу.
24. Как практически определить предел прочности при изгибе? Привести формулу.
25. В чем преимущество применения пустотелого кирпича по сравнению с полнотелым?
26. Водопоглощение по объему – смысл и определение. Почему в ГОСТ к стеновым материалам предъявляют требования по водопоглощению?
27. Как определить водопоглощение кирпича по массе? Методика определения, формулы.
28. Как определить водопоглощение кирпича по объему? Изложить методику, формулы.
29. Что такое коэффициент насыщения $K_{нас}$; какое свойство кирпича он характеризует? Привести формулу для расчета $K_{нас}$.
30. На какие свойства кирпича влияет величина средней плотности?
31. По каким критериям судят о результатах испытаний на морозостойкость?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Задание 1. Определение механических свойств арматурной стали

Физический предел текучести вычисляют по формуле: $\sigma_T =$

Временное сопротивление разрыву (предел прочности) вычисляют по формуле: $\sigma_B =$

Относительное удлинение после разрыва вычисляют по формуле: $\varepsilon =$

Относительное сужение после разрыва арматурной стали вычисляют по формуле: $\psi =$

Таблица 1 – Результаты измерений и механические характеристики арматурной стали

Показатели, обозначения и единицы измерения	Образцы			Среднее
	1	2	3	
1. Диаметр образца до испытания d_0 , мм после испытания на разрыв d_k , мм				
2. Площадь поперечного сечения образца начальная S_0 , мм после испытания на разрыв S_k , мм				
3. Расчетная длина образца начальная l_0 , мм конечная l_k , мм				
4. Усилие на образец соответствующее пределу текучести F_T , Н максимальное F_{max} , Н				
5. Предел текучести σ_T , МПа				
6. Временное сопротивление σ_B , МПа				
7. Относительное удлинение после разрыва ε , %				
8. Относительное сужение после разрыва ψ_r , %				

Вывод _____

Задание 2. Определение твердости металлов

Твердость – _____

Для определения твердости используются стандартные методы:

Сущность метода Бринелля:

Таблица 2 – Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Наименование материала	Толщина образца, мм	Диаметр, мм		Величина усилия F , Н(кгс)	Значение твердости <i>HB</i>
		шарика D (индентора)	отпечатка d		
Сталь					
Сталь					
Сталь					
Сталь					

Вывод _____

Задание 3. Проведение технологических испытаний арматурной стали

Таблица 3 – Схема испытаний арматурной стали на изгиб

Наименование испытаний	Схема испытаний	Характер поверхности образца после испытаний
1. Испытание до заданного угла $\alpha = 90^\circ$		
2. Испытание до параллельности сторон		
3. Испытание до соприкосновения сторон		

Вывод _____

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. По каким признакам разделяют арматуру для железобетонных конструкций?
2. Какие характеристики определяют при испытании арматурной стали?
3. Что понимают под пределом текучести и временным сопротивлением стали?
4. Как определить предел текучести и временное сопротивление арматурной стали?
5. Как влияет пластическая деформация арматурной стали на ее предел текучести?
6. Какие существуют методы определения твердости металлов?
7. В чем сущность метода определения твердости по Бринеллю?
8. С какой целью проводят технологические испытания арматурной стали?
9. В чем сущность испытания арматурной стали на изгиб?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы: _____

Задание 1. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста

Прибор _____

Гипсовое тесто – _____

Нормальная густота – это _____

Водопотребность $X=$

№ опыта	Масса гипсового вяжущего (ГВ), г	Масса воды, В, г	Время приготовления теста, с		Диаметр расплыва, Ø, мм
			перемешивание	заполнение цилиндра и выдержка	
	300		30	15	180 ± 5
1	300		30	15	
2	300		30	15	
3	300		30	15	

Стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста соответствует водопотребности $X=$ _____ %.

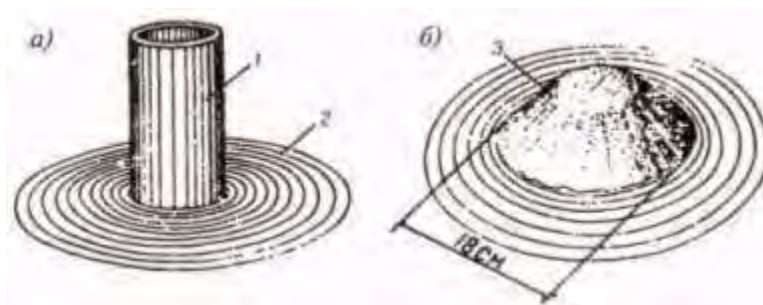


Рис. 1 _____

Задание 2. Определение тонкости помола гипсового вяжущего

Определения	Ед. измерения	Результаты испытаний		
		частные		среднее
		1	2	
Масса пробы сухого гипсового вяжущего	г			
	%			
Прошло через сито с ячейками 0,2 мм	г			
	%			
Масса остатка на сите с ячейками 0,2 мм	г			
	%			

По остатку на контрольном сите гипсовое вяжущее _____ **помола**, индекс степени помола _____ в соответствии действующего (ТНПА) _____

Задание 3. Определение конца текучести и сроков схватывания гипсового вяжущего

Прибор _____ Диаметр иглы _____ мм Масса стержня _____ г

Масса гипсового вяжущего $G =$ _____ г Количество воды $B =$ _____ г $X =$ _____

Погружение иглы через _____ с Показание прибора в начале опыта _____ мм

Время начала контакта гипсового вяжущего с водой τ_0 _____ ч _____ мин

Время, когда отверстие в тесте перестало заплывать τ_1 _____ ч _____ мин

Время, когда игла первый раз не дошла до поверхности пластинки, τ_2 _____ ч _____ мин

Время, когда игла погрузилась в гипсовое тесто на глубину не более 1 мм, τ_3 _____ ч _____ мин

Конец текучести: $\tau_1 - \tau_0 =$ _____ мин

Начало схватывания: $\tau_2 - \tau_0 =$ _____ мин Конец схватывания: $\tau_3 - \tau_0 =$ _____ мин

По срокам схватывания гипсовое вяжущее удовлетворяет требованиям (ТНПА) _____

и относится к виду _____, индекс сроков твердения – _____

Задание 4. Определение марки гипсового вяжущего по прочности

Изготовление образцов-балочек из гипсового теста стандартной консистенции

Определения	Показатели (численные значения)
Навеска вяжущего, г	
Количество воды, мл ($X =$ _____ %)	
Способ перемешивания	
Время перемешивания	
Метод изготовления	
Размеры образцов, мм	
Срок и условия хранения	

Определение предела прочности на растяжение при изгибе

Результаты испытаний	Ед. изм.	№ образца (балочки из гипсового камня)		
		1	2	3
Предел прочности на растяжение при изгибе	кгс/см ²			
	МПа			
Среднее значение	МПа			

Согласно (ТНПА) _____ по $R_{изг} =$ _____ МПа соответствует требованиям к марке Г- _____

Определение предела прочности при сжатии

Показатели	№ образца (половинки балочек из гипсового камня)					
	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2
Разрушающее усилие F , Н						
Рабочая площадь пластины A , мм ²						
Предел прочности при сжатии $R_{смс}$, МПа						
Среднее значение $R_{смс}$, МПа (из 4-х без наибольшего и наименьшего результатов)						

Согласно (ТНПА) _____ по $R_{смс} =$ _____ МПа соответствует требованиям к марке Г- _____

По совокупности прочностных свойств гипсовое вяжущее марки Г- _____.

Задание 5. Определение водостойкости гипсового камня

$K_{разм} =$

Определение предела прочности на растяжение при изгибе

№ образца	Предел прочности на растяжение при изгибе образцов, МПа		Коэффициент размягчения, $K_{разм}$.
	Сухих	водонасыщенных	
1			
2			
3			
Среднее			

Определение предела прочности при сжатии

№ образца	Предел прочности на сжатие образцов, МПа		Коэффициент размягчения, $K_{разм.}$
	сухих	водонасыщенных	
1			
2			
3			
Среднее			

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По совокупности требований(ТНПА) _____ испытанное гипсовое вяжущее относится к _____
 Гипсовое вяжущее может быть использовано для _____

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Сырьевые материалы для производства гипсовых вяжущих и как их получают.
2. Физико-химическая сущность процессов, протекающих при твердении гипсового вяжущего.
3. Как изготавливают высокопрочный гипс?
4. Области применения гипсовых вяжущих.
5. Какие показатели качества гипсовых вяжущих регламентируются стандартом?
6. Что такое стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста, для чего она определяется и как?
7. На каких образцах и в каком возрасте определяется марка по прочности гипсовых вяжущих?
8. Привести классификацию гипсовых вяжущих по срокам схватывания (твердения).
9. Как определить тонкость помола ГВ? Почему она является важной характеристикой гипсового вяжущего?
10. Какие приборы используют для определения сроков схватывания и нормальной густоты гипсового теста.
11. Почему для получения гипсового теста необходимо воды больше, чем требуется для гидратации гипса?
12. От чего зависит нормальная густота гипсового теста?
13. Почему при определении нормальной густоты гипсового теста регламентируют сроки перемешивания?
14. Как определить сроки схватывания гипсового теста стандартной консистенции?
15. Почему сроки схватывания ГВ определяют на тесте нормальной густоты? Как изменятся результаты испытаний, если уменьшить или увеличить содержание воды в тесте?
16. Почему сроки схватывания являются важными характеристиками гипсового вяжущего?
17. Как можно ускорить или замедлить схватывание гипсового теста? Когда это необходимо?
18. Как влияет количество воды в гипсовом тесте на сроки схватывания и прочность гипсового камня?

19. Через какое время после затворения гипса испытывают гипсовые образцы на прочность?
20. Поясните выражение: гипсовое вяжущее Г-7 III Б. Определите область его применения.
21. Что необходимо знать для определения марки гипса?
22. Как влияет влажность гипсовых изделий на их прочность?
23. Какое влияние на свойства гипсового камня оказывает волокнистый наполнитель?
24. Условия хранения и транспортирования гипсовых вяжущих.
25. Как изменится прочность гипсовых образцов, если проводить испытания через 2 ч, 24 ч, 7 сут., 1 мес.?

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГВ
в зависимости от его марки, вида и группы (определены ТНПА)

Области применения ГВ	Рекомендуемые марки, виды и группы
1. Изготовление гипсовых строительных изделий всех видов	Г-2...Г-7 <i>всех</i> сроков твердения и степени помола
2. Изготовление тонкостенных строительных изделий и декоративных деталей	Г-2...Г-7 быстрого (А) и нормального (Б) твердения, тонкого (III) и среднего (II) помола
3. Производство штукатурных работ, заделка швов и специальные цели	Г-2...Г-25 нормального (Б) и медленного (В) твердения, среднего (II) и тонкого(III) помола
4. Изготовление форм и моделей в фарфорофаянсовой, керамической, машиностроительной и других отраслях промышленности, а также в медицине	Г-5...Г-25 нормального (Б) срока твердения, тонкого помола (III)

На основе ГВ изготавливают:

- I.пазогребневые гипсовые плиты;
- II.декоративные гипсовые плиты для подвесных потолков;
- III.декоративные гипсовые плиты для внутренних поверхностей стен (ГКЛ и ГВЛ).

ГВ используют:

- ▶ для устройства теплозвукоизоляционных слоев и саморазравнивающихся (самонивелирующихся) стяжек полов;
- ▶ для производства штукатурных работ растворами из сухих гипсовых смесей;
- ▶ для устройства оснований автодорог из полуводного гипса или фосфогипса (отхода производства ортофосфорной кислоты и сложных концентрированных удобрений), двойного суперфосфата, аммофоса.

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы: _____

Задание 1. Определение суммарного содержания активных оксидов Ca и Mg в кальциевой извести (активности извести)

Метод _____

Описание эксперимента: _____

$A =$

ВЫВОД: по действующему (ТНПА) _____ кальциевая воздушная известь по содержанию активных (CaO+MgO) относится к _____ сорту;

Обозначение извести по СТБ ЕН 459.1 _____

Задание 2. Определение содержания непогасившихся зерен в извести

Непогасившиеся зерна - это: _____

$HЗ =$

Содержание непогасившиеся зерен в извести

Показатели	Значения
Масса известкового теста, г	
Содержание воды в известковом тесте, % (г)	% (г)
Содержание извести в известковом тесте m , г	
Масса остатка после промывания и сушки m_1 , г	
Содержание непогасившихся зерен $HЗ$, %	

ВЫВОД: по (ТНПА) _____ кальциевая воздушная известь по содержанию непогасившихся зерен относится к _____ сорту.

Задание 3. Определение плотности известкового теста

Плотность известкового теста

Показатели	Значения
Вместимость сосуда, м ³	
Масса сосуда, кг	
Масса сосуда с известковым тестом, кг	
Масса известкового теста, кг	
Плотность известкового теста, кг/м ³	

Задание 4. Определение содержания воды в известковом тесте

Продукт реакции гашения (гидратации) водной извести, протекающей по реакции: _____

W =

Содержание воды в известковом тесте

Показатели	Значения
Масса известкового теста, г	
Масса высушенного материала, г	
Содержание воды в известковом тесте, %	

Задание 5. Определение температуры и времени гашения строительной негашеной извести

Реакция гашения извести: _____

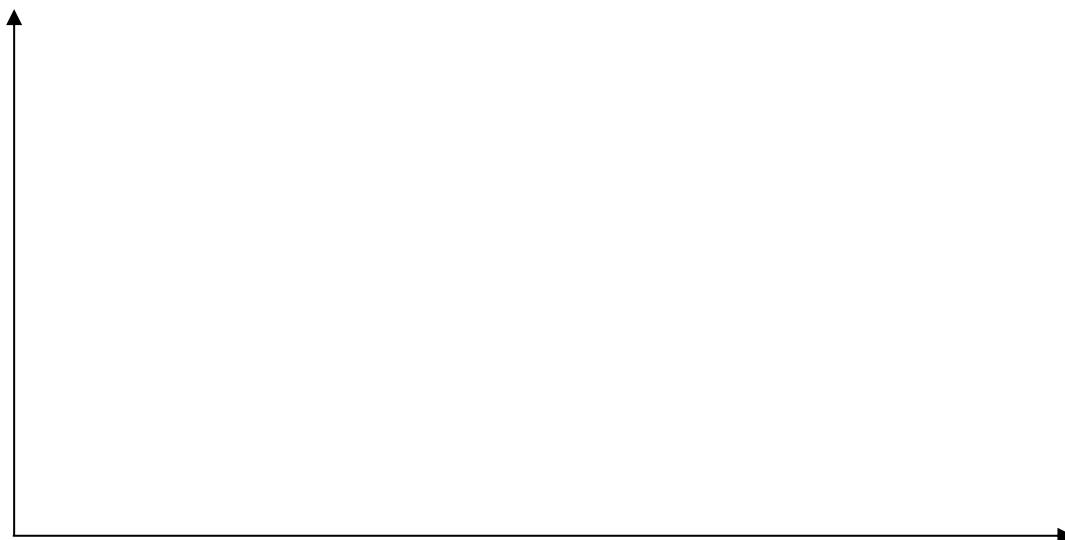
По времени гашения строительную негашеную известь подразделяют на:

- 1) _____
- 2) _____
- 3) _____

Температура и время гашения строительной негашеной извести

Количество воды, мл	Температура T_u , °C через интервалы времени, t_u мин																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	26	
20																	
25																	
30																	

График (ось абсцисс – время, ось ординат – температура). По максимуму устанавливают скорость гашения извести.



Максимальная температура _____ °С, время гашения извести _____, По времени гашения известь _____

Заключение о качестве извести по всем проведенным испытаниям (указать сорт и вид извести; области ее применения в соответствии с действующими (ТНПА):

ИЗВЕСТЬ СТРОИТЕЛЬНАЯ ВОЗДУШНАЯ КАЛЬЦИЕВАЯ НЕГАШЕНАЯ

Основные достоинства строительной негашеной извести: чистая (без добавок); не комкуется; качественные показатели сохраняются в течение 30 дней.

Область применения строительной воздушной кальциевой негашеной извести: производство ячеистого бетона; силикатного кирпича; штукатурных и кладочных растворов.

ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ ГИДРАТНАЯ ПОРОШКООБРАЗНАЯ БЕЗ ДОБАВОК (гашеная известь)

Основные достоинства извести воздушной гидратной: чистая (без примесей); не гигроскопична; не комкуется; не изменяет своего объема; качественные показатели сохраняются 6 месяцев.

Область применения в строительстве: производство сухих строительных смесей – штукатурных, клеевых, самонивелирующихся полов, кладочных составов, шпатлёвок, пенобетонов.

Применение всех видов извести в других отраслях

<p><i>Сельское хозяйство:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • улучшение качества почв; • производство бордосской жидкости; • бактерицидное средство 	<p><i>Химическая промышленность</i> для получения:</p> <ul style="list-style-type: none"> • гипохлорита кальция; • фторида кальция; • гидроокиси лития 	<p><i>Охрана окружающей среды:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • очистка дымовых газов от оксида серы; • нейтрализации сточных вод; • регулирование параметров воды
---	---	---

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какие вещества называются воздушными вяжущими?
2. Что называется известью воздушной строительной?
3. Какое минеральное сырье используется для производства извести?
4. Что происходит при обжиге известняка?
5. Технология получения воздушной извести.
6. Реакция гашения извести, какими эффектами она сопровождается?
7. Способы гашения строительной воздушной извести.
8. Что такое время гашения извести?
9. Почему скорость гашения извести определяют в колбе термоса?
10. Как подразделяется известь по времени гашения?
11. Какие показатели характеризуют сорт извести?
12. Каковы строительно-технологические качества извести строительной воздушной?
13. Как определяется содержание активных ($CaO + MgO$) в кальциевой извести?
14. Что такое активность извести?
15. Как определяется содержание непогасившихся зерен в известковом тесте?
16. Влияют ли недожженные зерна на качество изделий на основе извести?
17. Как влияют пережженные зерна извести на качество изделий на основе извести?
18. Какие процессы происходят при твердении извести на воздухе?
19. Как влияет наличие пережога в извести на свойства строительного раствора?
20. Какие процессы происходят при твердении известково-песчаных изделий в автоклаве?
21. Реакция взаимодействия воздушной извести с аморфным кремнеземом.
22. Как определить содержание воды в известковом тесте?
23. Как определить плотность известкового теста?
24. Перечислите основные области применения строительной воздушной гидратной извести в строительстве.
25. Перечислите основные области применения воздушной негашеной извести в производстве строительных материалов.

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

По лабораторной работе на тему:

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы: _____

Задание 1. Определение нормальной густоты цементного теста (по действующему ТНПА _____)

Цементное тесто – _____

Нормальная густота цементного теста – _____

Определяется на приборе _____ по погружению _____

Таблица 1 – Результаты определения нормальной густоты цементного теста

Определяемые характеристики	Номер опыта		
	1	2	3
Масса цемента <i>Ц</i> , г			
Масса воды <i>В</i> , г			
Показания прибора, (пестик не доходит до пластинки), мм			
Нормальная густота цементного теста $НГ=(В/Ц) \times 100, \%$	$НГ=$		

По действующему ТНПА (ГОСТ 310.3) : «нормальной густотой цементного теста считают

Схема прибора Вика

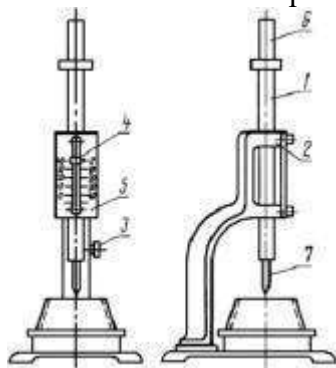


Схема испытания

- 1 – _____
- 2 – _____
- 3 – _____
- 4 – _____
- 5 – _____
- 6 – _____
- 7 – _____

Задание 2. **Определение сроков схватывания цементного теста (по ТНПА _____)**

Схватывание цемента – _____

Начало схватывания _____

Конец схватывания _____

Таблица 2 – Определение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты

Определяемые характеристики	Время с момента затворения цемента водой	
	Час	Мин
Затворение цемента водой		
Начало схватывания		
Конец схватывания		
Соответствие требованиям действующего (ТНПА).....		

По **СТБ ЕН 197-1** начальное время схватывания не менее 45...75 мин, в зависимости от класса прочности.

Оно определяется в соответствии с **СТБ ЕН 196-3**

на приборе _____ по погружению _____ каждые _____ мин.

Таблица 3 – Определение сроков схватывания цементного теста при введении ускорителя твердения $CaCl_2$

Показатели	Значения	
Добавка $CaCl_2$ к массе цемента Ц , %		
Количество воды, соответствующее НГ , мл		
Показания прибора Вика (пестик не дошел до пластинки), мм		
Действие добавки $CaCl_2$		
Определяемые сроки схватывания цементного теста	Время с момента затворения цемента водой	
	Час	Мин
Затворение цемента раствором $CaCl_2$		
Начало схватывания		
Конец схватывания		

Вывод: _____

Задание 3. Определение равномерности изменения объема

Равномерность изменения объема цемента – _____

Причины неравномерности изменения объема: _____

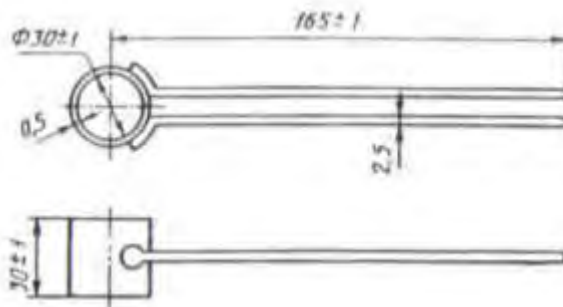
Чем опасно: _____

Определение равномерности изменения объема цемента по (ТНПА)

Дать характеристику внешнему виду лепешек:



Определение равномерности изменения объема по (ТНПА) _____ (используя кольцо Ле-Шателье).



Цементным тестом нормальной густоты заполняют кольцо, выдерживают в климатической камере в течение 1 суток, а затем подвергают кипячению в течение 3 часов. Равномерность изменения объема определяется по изменению расстояния между концами игл с точностью 0,5 мм.

Если расширение не превысило 5 мм, цемент соответствует требованиям равномерности изменения объема.

Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности цемента

Насыпная плотность это _____

Насыпная плотность цемента зависит от _____

Знание насыпной плотности необходимо для _____

$\rho_{н.}$

$V_{нуст.}$

Таблица 5 – определение насыпной плотности цемента и межзерновой пустотности

Определяемые показатели	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии
Вместимость сосуда v , м ³		
Масса сосуда m_1 , кг		
Масса сосуда с цементом m_2 , кг		
Насыпная плотность цемента $\rho_{нас}$, кг/м ³		
Плотность зерен цемента $\rho_{ист}$, кг/м ³		
Межзерновая пустотность $v_{пуст}$, %		

Задание 5. Определение марки (активности) цемента (по ТНПА _____)

Активность цемента – _____

Класс прочности цемента – _____

Стандартная прочность _____

Марка портландцемента (по ранее действующему ГОСТ) – _____

Балки размером _____ мм, изготовлены из _____ и испытаны в возрасте _____ сут. _____

(укажите условия твердения)

Таблица 6 – Результаты определения консистенции цементного раствора

Показатели	1	2	3
Масса цемента Ц, г			
Масса стандартного песка П, г			
Объем воды В, мл			
В/Ц			
Распływ конуса, мм (на встряхивающем столике)			

Таблица 7 – Определение класса прочности цемента

Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при сжатии, МПа			
№ ба- лочка	<i>R_{изг}</i> , МПа	№ об- разца	<i>A</i> , мм ²	<i>F</i> , Н	<i>R_{сж}</i> , МПа
1		1а			
		1б			
2		2а			
		2б			
3		3а			
		3б			
Среднее значение		Среднее значение			

Испытанный цемент соответствует марке _____ (по _____)

Испытанный цемент соответствует классу _____ (по _____)

Таблица 6 – Требования к механическим и физическим свойствам (ТНПА _____)

Класс, подкласс проч- ности цемента	Прочность на сжатие, МПа, в возрасте				Начало схватыва- ния, мин, не ранее	Равномерность изменения объ- ёма (расшире- ние), мм, не бо- лее
	2 сут, не менее	7 сут, не менее	28 сут			
			не менее	не более		
32,5М	–	12	32,5	52,5	75	10
32,5Н	–	16				
32,5Б	10	–				
42,5М	–	16	42,5	62,5	60	
42,5Н	10	–				
42,5Б	20	–				
52,5М	10	–	52,5		45	
52,5Н	20					
52,5Б	30	–				

Вопросы к защите лабораторной работы

1. Как определить насыпную плотность портландцемента?
2. От чего зависит насыпная плотность портландцемента?
3. Какие периоды твердения портландцемента характеризуют время начала и конца схватывания?
4. Что называется концом и началом схватывания цементного теста?
5. Какие требования предъявляет СТБ ЕН на портландцемент по срокам схватывания?
6. Каков ход работы при определении сроков схватывания?
7. Какова роль добавки CaCl_2 ?
8. Что называется «нормальной густотой» цементного теста?
9. С какой целью определяют «нормальную густоту» цементного теста?
10. Как определить «нормальную густоту» цементного теста? На каком приборе и в каких единицах определяют «нормальную густоту» цементного теста?
11. Как определяется равномерность изменения объема цемента по ГОСТ 310.3 и СТБ ЕН 196-3?
12. При каких условиях цемент не может считаться выдержавшим испытание на равномерность изменения объема цемента?
13. Каковы причины неравномерного изменения объема цемента?
14. Как определяют марку и класс цемента?
15. Какой режим твердения используют при определении класса (марки) цемента?
16. Что такое цементный раствор?
17. Какие требования предъявляются к стандартному песку?
18. Как изготавливают контрольные образцы-балочки (призмы)?
19. Какие основные правила хранения образцов до испытания на прочность?
20. Что такое класс, марка и активность портландцемента?
21. Как вы понимаете выражение – марка портландцемента ПЦ 400 Д5, ПЦ 500 Д 0?
22. Как вы понимаете выражение – класс портландцемента ЦЕМ I 42,5?
23. От чего зависит класс (марка) цемента?
24. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета класса (марки) цемента?
25. Почему для твердения гидравлических вяжущих необходима высокая влажность?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы: _____

Задание 1. Определение содержания в песке пылевидных и глинистых частиц

Метод _____ по ГОСТ _____

Масса навески сухого песка до отмучивания $m =$ _____ г

Время выдерживания песка до отмучивания _____

Масса высушенной навески песка после отмучивания, $m_1 =$ _____ г

Содержание пылевидных и глинистых частиц: $m - m_1 =$ _____ г

$P_{отм} =$

Допустимое содержание пылевидных и глинистых частиц в песке _____ %
для _____ класса.

Заключение: _____
(пригоден для бетона; подлежит промывке)

Задание 2. Определение наличия в песке органических примесей

Органические примеси: _____

Метод _____ по ГОСТ _____

Уровень песка в стеклянном цилиндре _____ мл

Уровень 3% раствора $NaOH$ _____ мл

Состав эталонного раствора: _____

Рисунок испытания

Заключение

Результаты сравнения через 24 часа окраски жидкости над пробой с окраской (цветом) эталона _____

Вывод (о пригодности песка для бетона) _____

Задание 3. Определение влажности песка

Влажность песка по массе определяют по формуле: $W =$
Масса навески песка в состоянии естественной влажности $m =$ _____ г

Масса навески песка после высушивания $m_1 =$ _____ г

Влажность песка $W =$ _____ % по массе

Вы-

вод: _____

Задание 4. Определение зернового состава песка

ЧАСТНЫЙ ОСТАТОК на каждом сите (a_i):

$a_i =$

ПОЛНЫЙ ОСТАТОК на каждом сите (A_i)

$A_i =$

Модуль крупности M_k :

$M_k =$

В зависимости от зернового состава пески подразделяют на группы:

Таблица 1 – Группы песка по зерновому составу

Группа песка	Модуль крупности, M_k	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе
Повышенной крупности	Св. 3,0 до 3,5	Св. 65 до 75
Крупный	"- 2,5 до 3,0	"- 45 до 65
Средний	"- 2,0 до 2,5	"- 30 до 45
Мелкий	"- 1,5 до 2,0	"- 10 до 30
Очень мелкий	"- 1,0 до 1,5	До 10
Тонкий	"- 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	до 0,7	"-

Таблица 2 – Требования к зерновому составу песка для бетона

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки A_i на контрольных ситах, % по массе
2,5	0-20
1,25	5-45
0,63	20-70
0,315	35-90
0,16	90-100
Проход через сито 0,16 мм	0-10

Результаты испытаний

Масса пробы песка _____.

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен крупнее 10 мм $m_{10} =$ _____, $a_{10} =$ _____

. Допускается по ГОСТ _____ $a_{10} =$ _____ % для песка _____ класса.

Содержание в песке зерен гравия с размером зерен от 5 до 10 мм: $m_5 =$ _____, $a_5 =$ _____.

Допускается по ГОСТ _____ $a_5 =$ _____ % для песка _____ класса.

Вывод о соответствии испытанного песка требованиям стандарта, ограничивающим содержание в песке зерен гравия _____

Масса навески для определения зернового состава песка _____

Таблица 3 – Зерновой состав песка

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки на ситах		Полные остатки на ситах A_i , %	Требования ТНПА по полным остаткам A_i , %
	m_i , г	a_i , %		
2,5				
1,25				
0,63				
0,315				
0,16				
Меньше 0,16			100	
Сумма	1000	100		

График просеивания песка строится по данным таблиц 2 и 3.

Результаты просеивания песка в графическом виде:



Заключение

1. Модуль крупности песка $M_K =$ _____
2. Песок принадлежит к группе по крупности _____
3. Зерновой состав песка _____ требованиям ТНПА _____.
(соответствует или не соответствует)
4. Песок _____ для получения бетонов.
(пригоден или непригоден)

Задание 5. Определение насыпной плотности песка в стандартном неуплотненном состоянии

Таблица 4 – Насыпная плотность кварцевого песка

Определение	Песок сухой		Песок влажный $W = \underline{\hspace{1cm}}\%$ (из задания 3)	
	1	2	1	2
Вместимость мерного сосуда V , м ³				
Масса сосуда m , кг				
Масса сосуда с песком m_1 , кг				
Масса песка $m_1 - m$, кг				
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³				
Среднее арифметическое значение ρ_n .				

Заключение: _____

Задание 6. Определение истинной плотности (плотности зерен) песка и расчет межзерновой пустотности

Масса навески сухого песка $m = \underline{\hspace{2cm}}$ г

Масса остатка песка $m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ г

Израсходовано песка $m - m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ г

Объем воды, вытесненной песком $V = \underline{\hspace{2cm}}$ см³

Истинная плотность (плотность зерен) песка $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ г/см³, $\rho = \underline{\hspace{2cm}}$ кг/м³

Межзерновая пустотность песка $V_{пуст} =$

Общее заключение о качестве песка: _____

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Что такое частные и полные остатки на ситах?
2. Какие остатки (частные или полные) нормируются стандартами?
3. Как рассчитывают модуль крупности песка?
4. Насыпная плотность какого песка больше: удовлетворяющего требованиям стандарта по зерновому составу или не удовлетворяющего? Почему?
5. Насыпная плотность какого песка больше: сухого или влажного? Почему?
6. Какие виды вредных примесей определяют в песке?
7. Почему вредно содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
8. Как определяется содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
9. Почему вредно чрезмерное наличие в песке органических примесей и как оно оценивается?
10. В какой цвет окрашивается водный раствор едкого натра при взаимодействии с песком? Как зависит окраска раствора от содержания в песке органических примесей?
11. На чем основан метод определения органических примесей в песке?
12. Как рассчитать пустотность песка и какое она имеет значение?
13. Какой минерал преобладает в песке? Каковы его основные свойства?
14. Каковы форма зерен песка и характер поверхности? Какое это имеет значение при использовании песка в бетоне?
15. Как определить истинную плотность (плотность зерен) песка?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы: _____

Задание 1. Определение насыпной плотности крупных заполнителей

Таблица 1 – Насыпная плотность

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Фракция, мм				
Вместимость мерного цилиндра V , л				
Масса мерного цилиндра m , кг				
Масса мерного цилиндра с заполнителем m_1 , кг				
Насыпная плотность заполнителя ρ_n , кг/м ³				
Марка по насыпной плотности (для пористых заполнителей)	–	–		

Вывод: _____

Задание 2. Определение плотности зерен заполнителей

Плотность зерен ρ_z заполнителя в г/см³:

$\rho_z =$

Таблица 2 – Средняя плотность (плотность зерен)

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Масса пробы сухого заполнителя m , г				
То же насыщенного водой m_1 , г				
Результат гидростатического взвешивания m_2 , г				
Суммарный объем зерен пробы заполнителя $(m_1 - m_2) / \rho_v$, см ³				
Средняя плотность (плотность зерен) заполнителя, ρ_z г/см ³				
Средняя плотность (плотность зерен) заполнителя, ρ_z , кг/м ³				

Вывод: _____

Задание 3. Определение структурных характеристик заполнителей

Пустотность заполнителя $V_{пуст} =$

Пористость зерен $\Pi_3 =$

Водопоглощение по массе $B_M =$

Водопоглощение по объему $B_V =$

Коэффициент насыщения пор водой $K_H =$

Таблица 3 – Структурные характеристики крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³				
Средняя плотность (плотность зерен) ρ_z , кг/м ³				
Пустотность $V_{пуст}$, %				
Масса пробы заполнителя в сухом состоянии m , г				
То же в водонасыщенном состоянии m_1 , г				
Водопоглощение по массе B_M , %				
Водопоглощение по объему B_V , %				
Плотность вещества ρ_u , кг/м ³				
Пористость зерен Π_3 , %				
Коэффициент насыщения K_H				

Вывод: _____

Задание 4. Определение дробимости природного гравия и гранитного щебня

Дробимость (показатель дробимости) в процентах вычисляют по формуле:

$$D_p =$$

Таблица 4 – Результаты испытаний на дробимость крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный
Фракция, мм		
Размер отверстий контрольного сита, мм		
Усилие на плунжер, кН		
Масса пробы, m г		
Масса остатка на контрольном сите m_1 , г		
Масса отсеянных зерен $m - m_1$, г		
Показатель дробимости, D_p %		
Марка заполнителя		
Соответствующая марке прочность при сжатии заполнителей из горных пород, МПа		

Вывод: _____

Задание 5. Определение прочности пористых заполнителей

Предел прочности при сдавливании в цилиндре, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{сд} = \frac{F}{S},$$

F – усилие при погружении пуансона до верхней риски, Н; S – площадь поперечного сечения цилиндра 17700 мм² (0,0177 м²).

Ориентировочная расчетная оценка прочности $R_{расч}$ пористых заполнителей по результатам стандартных испытаний в цилиндре:

$$R_{расч} \approx K \times R_{сд},$$

K – коэффициент пропорциональности ($K=4,5$ для керамзитового гравия и $K=30$ для аглопоритового щебня).

Предварительная ориентировочная оценка прочности керамических пористых заполнителей по эмпирической зависимости прочности $R_{предв}$ от плотности зерен ρ_z :

$$R_{предв} = 15 \rho_z^2,$$

Таблица 5 – Прочность пористых заполнителей

Определения	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Усилие при сдавливании заполнителя на 1/5 объема F , Н		
Площадь поперечного сечения цилиндра S , мм ²	17700	17700
Предел прочности при сдавливании в цилиндре $R_{сд}$, МПа		
Ориентировочная расчетная оценка прочности $R_{расч}$, МПа		
Марка по насыпной плотности (из задания 1)		
Требования стандартов по прочности		
Марка по прочности заполнителя: исходя из результатов испытания на сдавливание в цилиндре		
Марка по прочности		
Предварительная ориентировочная прочность $R_{предв}$		

Вывод: _____

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Чем ограничивается верхний предел крупности заполнителей?
2. Как влияет расход крупного заполнителя на расход цемента в бетоне, на величину усадки?
3. Как влияет расход крупного пористого заполнителя на плотность и теплопроводность легкого бетона?
4. Что выражает обозначение марки гравия из горных пород?
5. Что выражает обозначение марки щебня из плотных горных пород?
6. Что выражает обозначение марки пористых заполнителей?
7. Как определяется объем пробы заполнителя для вычисления средней плотности зерен?
8. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета его пустотности?
9. От чего зависит пустотность данной фракции крупного заполнителя?
10. Какие характеристики крупного заполнителя надо знать для расчета величины пористости его зерен?
11. Что показывает коэффициент насыщения?
12. Как по стандарту оценивается прочность плотных заполнителей для тяжелого бетона?
13. Как определяется дробимость крупного заполнителя?
14. Как по стандарту определяется прочность пористых заполнителей для легкого бетона?
15. Какой из испытанных заполнителей – гравий или щебень из горных пород предпочтителен для получения тяжелого бетона с прочностью при сжатии 10 МПа? Почему?
16. Какой из испытанных пористых заполнителей – керамзитовый гравий или аглопоритовый щебень предпочтителен для получения теплоизоляционного легкого бетона? Почему?
17. По каким показателям оценивают качество крупного заполнителя для бетонов?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

КЛАДОЧНЫЙ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы

Строительный раствор _____

Растворная строительная смесь готовая к применению (РСГП) _____

Растворная строительная смесь сухая (РСС) – _____

Растворная строительная смесь предварительного изготовления (РСПИ) – _____

Строительные растворы разделяют:

По применяемым вяжущим: _____

По средней плотности: _____

По назначению: _____

Задание 1. Определение состава и приготовление растворной смеси

Определить состав кладочного цементно-известкового раствора марки _____
для _____ кладки в _____

(наземной, подземной)

(летних, зимних)

условиях в здании из _____

(кирпича, камней, бута)

с относительной влажностью воздуха помещений _____ %.

(50-60%, 90-95%)

Требуемая прочность раствора $R_p =$ _____ МПа

Требуемая подвижность растворной смеси _____ см.

Исходные данные

Цемент Марка цемента _____

Активность цемента $R_{ц} =$ _____ МПа,

Насыпная плотность цемента, $\rho_{ц} =$ _____ кг/м³.

Тесто известковое Плотность известкового теста $\rho_{ит} =$ _____ кг/м³

(неорганический пластификатор)

Песок кварцевый Предельная крупность песка $D_{max} =$ _____ мм.

Насыпная плотность песка $\rho_{п} =$ _____ кг/м³.

Влажность песка $W =$ _____ %

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА РАСТВОРНОЙ СМЕСИ.

Расход цемента и неорганического пластификатора определяются из расчета на 1 м³ песка.

1) Расход ПЕСКА принимается равным $V_n = 1 \text{ м}^3$ или $\Pi =$ _____ кг.

2) Определение расхода **ЦЕМЕНТА** на 1 м³ песка

$$Ц = \frac{830 \times R_p}{K_{II} \times R_{II}} + 45$$

где: $Ц$ – расход цемента на 1 м³ песка естественной влажности в рыхлой засыпке, кг;

R_p – требуемая прочность (марка) раствора, МПа; R_{II} – активность (марка) цемента, МПа;

K_{II} – коэффициент, учитывающий качество песка: $K_{II}=1$ – для крупного песка ($M_k > 2,5$), $K_{II}=0,8$ – для песка средней крупности ($M_k = 2,0 \dots 2,5$) и $K_{II}=0,6 \dots 0,7$ для мелкого песка ($M_k < 2$).

$Ц =$

Расход цемента по объему (в м³ на 1 м³ песка): $V_{II} = Ц / \rho_{II}$

$V_{II} =$

3) Определение расхода **ИЗВЕСТКОВОГО ТЕСТА**. Расход неорганического пластификатора (известкового теста) $V_{ИТ}$ (в м³ на 1 м³ песка) вычисляют по формуле:

$$V_{ИТ} = 0,17 \times \left(\frac{2Ц}{1000} \right)$$

или по массе $ИТ$ (в кг на 1 м³ песка):

$$ИТ = V_{ИТ} \times \rho_{ИТ}$$

$V_{ИТ} =$

$ИТ =$

4) Расход **ВОДЫ** для получения раствора заданной подвижности зависит от состава раствора, вида вяжущего и заполнителя и устанавливается в опытных замесах. Первоначальный расход воды на 1 м³ песка вычисляют приближено по формуле:

$$В = 0,5 \times (Ц + ИТ)$$

$В =$

Состав раствора в частях характеризуют отношением:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{ИТ}{Ц} : \frac{\Pi}{Ц} \quad \text{или} \quad \frac{V_{II}}{V_{II}} : \frac{V_{ИТ}}{V_{II}} : \frac{V_{\Pi}}{V_{II}}$$

Предварительный состав раствора

по массе: _____

по объему: _____

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОПЫТНОГО ЗАМЕСА И УТОЧНЕНИЕ СОСТАВА РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Для приготовления опытного замеса необходимо определить расход песка, цемента и известкового теста на замес объемом 3 л.

Расход песка в граммах на опытный замес в кг составит:

$$P_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг}$$

Расход цемента на замес:

$$Ц_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг}$$

Расход известкового теста на замес:

$$ИТ_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кг}$$

Расход воды затворения

$$B_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л}$$

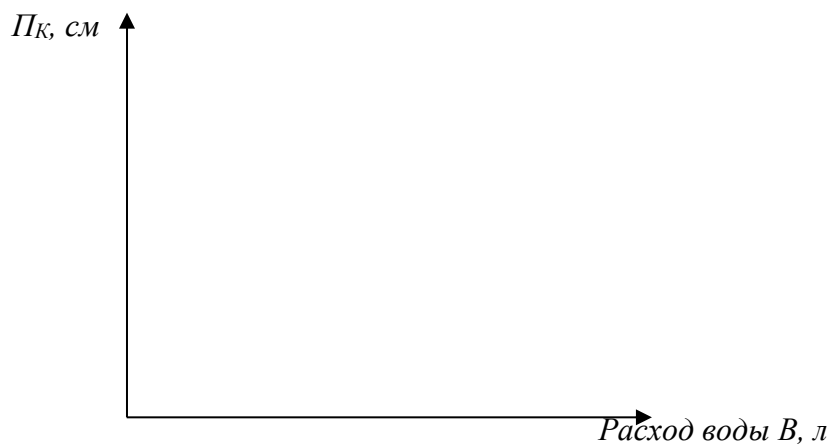
Расход воды для первого опытного замеса принимают равным $0,9 \cdot B_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ л}$. Окончательный расход воды устанавливается опытным путем при достижении заданной подвижности.

Задание 2. Определение подвижности растворной смеси (по ГОСТ 5802)

Таблица 1 – Подвижности растворной смеси

№ опыта	Расход материалов на замес, кг					Подвижность растворной смеси, см
	Цемент, Ц _з	Известковое тесто, ИТ _з	Песок, P _з	Вода, B _з	Добавка воды, B _д	

Зависимость подвижности растворной смеси от добавки воды представить графически и сделать выводы.



Задание 3. Определение средней плотности растворной смеси

Таблица 2 – Средняя плотность растворной смеси

№ опыта	Масса пустого сосуда m_0 , кг	Масса сосуда с растворной смесью m_1 , кг	Объем сосуда V , м ³	Средняя плотность растворной смеси, ρ_0 , кг/м ³
1			0,001	
2				
Среднее				

Вывод: _____

Задание 4. Определение выхода растворной смеси в опытном замесе

Фактический выход растворной смеси при установленной дозировке материалов на 1 м³ песка

$$V_{рф} = \frac{\sum m}{\rho_0}$$

где $\sum m$ – сумма масс всех дозированных на замес материалов, кг;

$$\sum m = Ц_з + ИТ_з + П_з + В_з + В_д$$

Зная фактический объем растворной смеси, определим расход материалов на 1 м³ строительного раствора:

$$Цф = \text{_____ кг}$$

$$ИТф = \text{_____ кг}$$

$$Пф = \text{_____ кг}$$

$$Вф = \text{_____ л}$$

Таблица 3 – Результаты определения расхода материалов на опытный замес

Наименование материала	Расход материалов				
	на 1 м ³ песка		на 1 м ³ раствора	на 1 замес растворомешалки емкостью _____ л	
	кг	л	кг	кг	л
Цемент					
Известковое тесто					
Песок					
Вода					

Состав раствора в частях по массе: _____

Состав раствора в частях по объему: _____

Задание 5. Определение средней плотности и прочности строительного раствора при сжатии

Таблица 4 – Результаты определения средней плотности раствора

Показатели	№ образцов		
	1	2	3
Масса образцов m , г			
Размеры образца:			
ширина, см			
толщина, см			
высота, см			
Площадь поперечного сечения, A , см ²			
Объем образца, V , см ³			
Средняя плотность образца раствора ρ_0 , г/см ³			
Средняя плотность образца раствора ρ_0 , кг/м ³			
Средняя плотность раствора ρ_0 , кг/м ³			

Таблица 5 – Результаты определения марки раствора по прочности при сжатии

№ образца	Разрушающее усилие F , Н	Площадь сечения A , мм ²	Предел прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа
1			
2			
3			
Среднее			
Марка раствора			

Если полученная марка раствора соответствует заданной, подобранный состав растворной смеси может быть выдан к производству строительных работ. Если же она оказалась **ВЫШЕ** или **НИЖЕ** требуемой, состав подлежит корректировке и дополнительной проверке с изменением расхода цемента (соответственно *уменьшением* или *увеличением*) пропорционально необходимому изменению прочности раствора при сжатии, что и отражается в заключении к лабораторной работе.

Вывод _____

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Основные виды растворов по назначению.
2. Основные виды кладочных растворов по виду вяжущего.
3. Что такое марка раствора? Исходя из чего она назначается?
4. Поясните разницу в понятиях «раствор» и «растворная смесь».
5. Что такое подвижность растворной смеси и чем она характеризуется?
6. Каковы критерии выбора той или иной подвижности растворной смеси?
7. Какой смысл имеет понятие «расслаиваемость» растворной смеси?
8. Какой смысл имеет понятие «водоудерживающая способность» растворной смеси?
9. Какие материалы используются для приготовления кладочных растворов?
10. Какая предельная крупность песка допускается в кладочных растворах?
11. Как зависит прочность раствора от расхода цемента и его активности?
12. Что дает добавление извести в цементно-песчаный раствор?
13. Как определить фактический выход растворной смеси по объему в опытном замесе?
14. Как определить фактический расход материалов на 1 м³ раствора?
15. Каковы форма, размеры и особенности изготовления образцов из растворной смеси, предназначенной для кирпичной кладки?
16. Каковы стандартные условия хранения и испытания растворных образцов?
17. Как скорректировать состав раствора, если результаты испытаний не соответствуют заданной марке?
18. Какие минеральные пластификаторы используются в строительных растворах?
19. Как определить плотности растворной смеси и строительного раствора?
20. От чего зависит прочность строительных растворов?
21. Как определить предел прочности при осевом сжатии?
22. От чего зависит водоудерживающая способность растворной смеси?
23. В чем заключаются стандартные условия твердения образцов из растворных смесей, изготовленных на гидравлических и водоудерживающих веществах?
24. От чего зависит выбор вяжущего в строительных растворах?
25. Как определить подвижность растворной смеси? В чем отличие этого испытания от определения подвижности бетонной смеси?
26. Почему при определении прочности строительного раствора при сжатии для изготовления образцов в одних случаях используют формы без дна, а в других обычные формы?
27. Каковы сроки и режим твердения образцов из растворов на гидравлических вяжущих?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Бетон – это _____

Бетонная смесь – _____

Марка бетона по прочности на сжатие М характеризуется _____

Класс бетона по прочности на сжатие – _____

Таблица 1 – Соотношение между классами и характеристиками бетона

Класс бетона		Требуемая прочность бетона на сжатие при испытании кубов (при подборе состава) $f_{c,гр}$, МПа		
СТБ 2221	по СТБ 1544			
	обозначение	характеристики прочности бетона, МПа		
		f_{ck}	$f_{c,cub}^e$	
B10	C8/10	8	10	12,8
B12,5	C10/12,5	10	12,5	16,0
B15	C12/15	12	15	19,2
B20	C16/20	16	20	25,6
B22,5	C18/22,5	18	22,5	28,8
B25	C20/25	20	25	32,0
B27,5	C22/27,5	22	27,5	35,2
B30	C25/30	25	30	38,4
B35	C28/35	28	35	44,8
-	C30/37	30	37	47,4
B40	C32/40	32	40	51,2
B45	C35/45	35	45	57,6
B50	C40/50	40	50	64,0
B55	C45/55	45	55	70,4
B60	C50/60	50	60	76,8
-	C55/67	55	67	85,8
B75	C60/75	60	75	96,0
-	C70/85	70	85	108,8
-	C80/95	80	95	121,6
-	C90/105	90	105	134,4

Таблица 2 – Марки бетонной смеси по удобоукладываемости

Марки по жесткости		Марка по подвижности (осадке конуса)		Марки по расплыву конуса	
Марка	Жесткость (Ж), с	Марка	Осадка конуса (ОК), см	Марка	Расплыв конуса (РК), см
СЖ3	более 100	П1	1-4	РК-1	менее или равно 34
СЖ2	51-100	П2	5-9	РК-2	35-41
СЖ1	50 и менее	П3	10-15	РК-3	42-48
Ж-4	31-60	П4	16-20	РК-4	49-55
Ж-3	21-30	П5	21 и более	РК-5	56-62
Ж-2	11-20	-	-	РК-6	более 62
Ж-1	5-10	-	-	-	-

Задание 1. Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона

Состав бетона выражают расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м^3 уложенной и уплотненной бетонной смеси.

Различают лабораторный состав бетона, рассчитанный для составляющих материалов (песок, щебень (гравий)) в сухом состоянии, и производственный состав – для материалов с естественной влажностью.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ(приведены в табл. 3):

1. Требуемая ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА на осевое сжатие при испытании кубов $f_{с.р.}$ _____ МПа

2. Требуемая УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ бетонной смеси: _____

3. Характеристики ЦЕМЕНТА:

Класс (марка) _____, активность $R_{ц}$ = _____ МПа; $\rho_{н.ц.}$ = _____ кг/м³ $\rho_{ист.ц.}$ = _____ кг/м³

4. Характеристики КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ:

$\rho_{н.к.з.}$ = _____ кг/м³, $\rho_{к.з.}$ = _____ кг/м³, $V_{п.к.з.}$ = _____, $d_g = 20$ мм, $W_{к.з.}$ = _____ %.

5. Характеристики МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ:

$\rho_{н.м.з.}$ = _____ кг/м³, $\rho_{м.з.}$ = _____ кг/м³, $W_{м.з.}$ = _____ %

Исходные данные для подбора состава бетона

Таблица 3 – Исходные данные для подбора состава бетона

№ вари-анта	Класс бетона	Марка подвижности (жесткости)	Минимально допустимый расход цемента, кг/м ³	Насыпная плотность составляющих бетона, кг/м ³			Плотность зерен заполнителей, кг/м ³		Истинная плотность цемента, $\rho_{н.ц.}$ кг/м ³
				заполнители		цемент $\rho_{н.ц.}$	мелкого $\rho_{м.з.}$	крупного $\rho_{к.з.}$	
				мелкий $\rho_{н.м.з.}$	крупный $\rho_{н.к.з.}$				
1	C ¹² /15	П1	220	1520	1410	1020	2520	2450	3050
2	C ¹⁶ /20	П2	250	1540	1540	1050	2560	2600	3060
3	C ¹⁸ /22,5	П4	300	1550	1580	1100	2580	2700	3070
4	C ²⁰ /25	П3	325	1560	1400	1150	2600	2620	3080
5	C ²² /27,5	П2	250	1570	1420	1200	2620	2640	3090
6	C ²⁵ /30	Ж1	230	1580	1440	1250	2640	2660	3100
7	C ²⁸ /35	Ж2	250	1520	1410	1020	2520	2450	3060
8	C ³⁰ /37	Ж1	240	1590	1460	1300	2680	2680	3110
9	C ³² /40	Ж2	280	1600	1480	1280	2700	2700	3120
10	C ²⁵ /30	П4	300	1530	1550	1060	2540	2550	3070
11	C ²⁰ /25	П3	325	1540	1590	1100	2560	2650	3080
12	C ¹⁶ /20	П2	300	1550	1410	1140	2580	2630	3090
13	C ¹⁸ /22,5	П1	325	1560	1430	1160	2600	2650	3100
14	C ²⁰ /25	П3	300	1550	1580	1100	2580	2700	3090

Состав бетона на 1 м^3 бетонной смеси рассчитывают в следующей последовательности:

- 1) водоцементное отношение бетонной смеси В/Ц;
- 2) расход воды,
- 3) расход цемента, сравнение полученного значения с минимально допустимым;
- 4) расход крупного заполнителя,
- 5) расход мелкого заполнителя.

1. Вычисление водоцементного отношения (В/Ц):

$$В/Ц =$$

2. Определение расхода воды (по таблице) В= _____ л

3. Определение расхода цемента Ц = _____ кг

Сравнение расхода цемента Ц с минимально допустимым Ц_{мин} _____

Принято Ц = _____ кг

Расход крупного и мелкого заполнителей вычисляются, исходя из двух условий:

$$1) \frac{Ц}{\rho_{иц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} + \frac{КЗ}{\rho_{кз}} = 1 \quad 2) \frac{Ц}{\rho_{иц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{мз}} = V_{пкз} \cdot \frac{КЗ}{\rho_{кз}} \cdot K_{разд} = 1$$

$$K_{разд} =$$

4. Определение расхода крупного заполнителя

$$КЗ =$$

5. Определение расхода мелкого заполнителя

$$МЗ =$$

Определение расчетной (теоретической) средней плотности бетонной смеси

$$\rho_{б.см}^{расч} =$$

Задание 2. Изготовление пробных замесов и определение удобоукладываемости бетонной смеси

Таблица 4 – Определение удобоукладываемости бетонной смеси

Наименование составов	Расход материалов, кг				ОК, см
	Ц	МЗ	КЗ	В	
Расчетный состав на 1 м ³					
Первоначальный состав на замес (V _з =7л =0,007 м ³)					
Измененный состав (по ОК)					

Задание 3. Определение средней плотности бетонной смеси.

Таблица 5 – Средняя плотность бетонной смеси

Показатели	Формы	
	1	2
Масса формы без бетонной смеси m ₁ , г		
Масса формы с бетонной смесью m, г		
Масса бетонной смеси m-m ₁ , г		
Объем формы (вместимость) V, см ³		
Средняя плотность бетонной смеси ρ _{б.см.} , г/см ³		
Средняя плотность бетонной смеси ρ _{б.см.} , кг/м ³		

Расчет фактического расхода составляющих бетона

$C^{\phi} =$

$MЗ^{\phi} =$

$KЗ^{\phi} =$

$B^{\phi} =$

Пересчет производственного состава бетонной смеси (с учетом влажности заполнителей)

$W_{MЗ} = \text{---} \%$; $W_{KЗ} = \text{---} \%$

$C^{\text{пр}} =$

$MЗ^{\text{пр}} =$

$KЗ^{\text{пр}} =$

$B^{\text{пр}} =$

$1: \frac{MЗ^{\text{пр}}}{C^{\text{пр}}} : \frac{KЗ^{\text{пр}}}{C^{\text{пр}}}$ при $(B/C)_6 = \text{---}$ $1: : \text{---}$

Таблица 6 – Расходы материалов на 1 м³ бетона

Составы	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетона				В/Ц
	<i>Ц</i>	<i>MЗ</i>	<i>KЗ</i>	<i>B</i>	
Расчетный					
Фактический					
Производственный					

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Классификация тяжелых бетонов.
2. Перечислить компоненты, входящие в состав бетона. Какова их роль?
3. Какие условия учитываются при выборе цементов для бетонов?
4. Перечислить и охарактеризовать основные свойства бетонной смеси.
5. Как определить подвижность и жесткость бетонной смеси? В каких единицах она выражается?
6. Для каких бетонов и как определяется жесткость?
7. Какие исходные данные надо иметь, чтобы подобрать состав бетона?
8. Описать влияние различных факторов на показатели удобоукладываемости бетонных смесей.

9. Почему подвижность бетонных смесей оценивают в сантиметрах, а жесткость – в секундах?
10. Какие используют способы уплотнения бетонной смеси? Какова их сущность?
11. В чем сущность основного закона прочности бетона?
12. Как влияет на свойства бетонной смеси и бетона излишняя вода?
13. Какие технологические и другие факторы определяют прочность бетона?
14. Какие цели и задачи преследует подбор состава бетона?
15. Изложить сущность расчетно-экспериментального метода проектирования состава бетона.
16. Как определить расход цемента на 1 м^3 бетона?
17. Как рассчитать количество крупного заполнителя на 1 м^3 уплотненной бетонной смеси?
18. Как определить расход песка на 1 м^3 бетона?
19. Как рассчитать водоцементное отношение (В/Ц) для пластичной бетонной смеси?
20. Как определить ориентировочный расход воды на 1 м^3 бетонной смеси?
21. Как обозначается состав бетонной смеси?
22. Чем отличается производственный (рабочий) состав бетона от лабораторного (номинального)?
23. Какие факторы влияют на величину коэффициента раздвижки зерен при определении расхода крупного заполнителя?
24. Как определить расход материалов на один замес бетоносмесителя?
25. Что понимают под коэффициентом выхода бетона? Как он определяется?
26. Как приготавливается бетонная смесь в лабораторных условиях на металлическом поддоне (бойке)?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ
по лабораторной работе на тему:
ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Гарантированная прочность бетона (класс бетона) _____

Класс бетона по прочности на сжатие _____

Нормативное сопротивление бетона осевому сжатию _____

Марка бетона _____

Задание 1. Определение предела прочности тяжелого бетона разрушающим методом

Таблица 1 – Физико-механические характеристики испытанного бетона

Показатели	№ образцов			
	1	2	3	4
Масса образца m , г				
Средняя рабочая площадь образца A , мм ²				
Высота образца h , мм				
Объем образца V , см ³				
Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³				
Величина разрушающего усилия F , кН				
Предел прочности образца на сжатие f_c , МПа				
Средний предел прочности на осевое сжатие f_{cm} , МПа				

Среднюю прочность бетона на сжатие, полученную на альтернативных опытных образцах-кубах, приводят к прочности стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм путем умножения на масштабный коэффициент α . Для образцов с размером ребра 100 мм $\alpha = 0,95$.

По результатам испытаний бетонных образцов-кубов вычисляют коэффициент вариации (изменчивости)

$$v = \frac{S}{f_{cm}} \quad S = \frac{f_{cmax} - f_{cmin}}{d} = \frac{\omega_m}{d}$$

где: S – среднее квадратичное отклонение результатов испытаний на сжатие, f_{cmax} и f_{cmin} – соответственно максимальный и минимальный результат испытаний, МПа; ω_m – размах (варьирование) f_c ; d – коэффициент, зависящий от n – числа единичных измерений значений прочности.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d	1,13	1,69	2,06	2,33	2,35	2,70	2,85	2,97	3,08

$S =$

$v =$

Гарантированную прочность бетона находят по формуле: $f_{c.cube}^G = f_{cm} (1 - 1,64 \times v)$

$$f_{c.cube}^G =$$

По значению гарантированной $f_{c.cube}^G$, нормативной f_{ck} и полученной фактической f_{cm} прочности определяют класс бетона и его марку по прочности на сжатие. Для сравнения вычисляем также класс бетона при коэффициенте вариации $v = 0,135$ (т.е. 13,5 %), что соответствует бетону удовлетворительного качества и принято в нормативных документах при расчете конструкций из тяжелого бетона.

Заключение: _____

Контрольные вопросы для защиты выполненной лабораторной работы

1. Каковы стандартные условия твердения контрольных образцов бетона?
2. Как рассчитать предел прочности бетона, если образцы размерами 100x100x100 мм испытывали в возрасте 28 суток?
3. Как рассчитать прочность бетона в нормальном 28-суточном возрасте, если контрольные образцы – кубы с размером 150x150x150 мм испытывали в возрасте 14 суток?
4. Сопоставить понятия «класс» и «гарантированная прочность» бетона. Какова их взаимосвязь?
5. Чем отличаются понятия «марка» и «класс» бетона?
6. Почему для установления класса бетона не оперируют средним значением предела прочности при сжатии?
7. Какие факторы влияют на прочность бетона?
8. Какие неразрушающие методы контроля прочности бетона можете назвать?
9. На чем основана оценка прочности бетона неразрушающим ультразвуковым методом?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ИСПЫТАНИЕ ВЯЗКОГО НЕФТЯНОГО БИТУМА

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Цель работы _____

Задание 1. Определение вязкости (твёрдости) битума (по ТНПА) _____

Вязкость - _____

Приборы и материалы _____

Таблица 1 –Определение вязкости битума

	+25 °С
Масса стержня с иглой	
Время погружения иглы	

Таблица 2 – Результаты определения вязкости битума при температуре +25°С

Порядок измерения	Показания стрелки на лимбе (шкале) пенетromетра в градусах (0,1 мм)		Глубина проникания иглы в битум в градусах (0,1 мм)
	до погружения иглы в битум	после погружения иглы в битум	
1			
2			
3			
среднее			

Заключение: по твёрдости (глубине проникания иглы) битум _____ марки

Задание 2. Определение растяжимости битума (по ТНПА) _____

Растяжимость - _____

Приборы и материалы _____

Выдержка битума в воде, нагретой до 25 °С _____ ч
 Выдержка форм – «восьмерок» с битумом на воздухе _____ ч
 Температура воды во время опыта _____ °С
 Скорость растяжения образца _____ см/мин

Таблица 3 – Результаты определения растяжимости битума

Показатели	№ образца			Среднее арифметическое
	1	2	3	
Удлинение образца при разрыве, см				

Заключение: По растяжимости: битум _____ марки _____

Задание 3. Определение температуры размягчения битума по методу «Кольцо и шар» (по ТНПА)

Температурой размягчения битума условно считают – _____

Температурой размягчения называют _____

Приборы и материалы _____

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают по приведенной ниже форме

Аппарат «Кольцо и Шар»

Выдержка форм с битумом на воздухе _____ мин

Выдержка битума в воде температурой 5 °С _____ мин

Скорость подъема температуры _____ °С/мин

Температура размягчения, °С

образец № 1 _____ °С

образец № 2 _____ °С

среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний _____ °С

Заключение: По растяжимости: битум _____ марки _____

ВЫВОД. По совокупности требований (ТНПА) _____ испытанный битум относится к марке _____

Пригоден для _____

Таблица 4 – Технические требования к вязким нефтяным битумам

Марка битума	Глубина проникания иглы, 0,1 мм при t, °С		Растяжимость см, не менее при t °С		Температура размягчения, °С, не ниже	Температура вспышки, °С, не ниже
	25	0	25	0		
Строительные битумы						
БН - 50/50	41...60		40		50	220
БН - 70/30	21...40		3		70	230
БН - 90/10	5...20		1		90	240

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какой материал называют битумом?
2. К какой классификационной группе строительных материалов относятся битумные и дегтевые материалы?
3. Какие характеристики необходимо знать, чтобы определить марку битума?
4. Чем обусловлена вязкость битума?
5. Как определить растяжимость битума?
6. Как и на каком приборе определяется растяжимость битума?
7. Для каких материалов на основе битумов важен показатель растяжимость?
8. Как определить температуру размягчения битума?
9. Методика определения температуры размягчения битума. Когда при эксплуатации важен этот показатель?
10. Как и на каком приборе определяется вязкость (пенетрация) битума?
11. Какие марки строительных битумов вы знаете?
12. Что обозначают буквы и цифры в марке битума?
13. Какова химическая, атмосферная стойкость битума?
14. Адгезионные свойства битумов.
15. Как изменяются свойства нефтяных битумов при изменении температуры?
16. Из чего как и изготавливают рулонные кровельные материалы?
17. Какие вещества называются органическими вяжущими, и чем они отличаются от неорганических веществ?
18. Какими свойствами обладают битумы?
19. Области применения битумов разных марок.

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (ТИМ)

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

К теплоизоляционным материалам (ТИМ) относят _____

Таблица 1 – Физико-технические характеристики некоторых ТИМ

Наименование материала	Средняя плотность материала, ρ_0 , кг/м ³	Истинная плотность вещества, ρ , кг/м ³	Пористость, P , %	Теплопроводность в сухом состоянии, λ , Вт/(м·К)
Пенополиуретан	30...100	1100...1200	95...99	0,020...0,025
Пенополистирол	30...100	1060	90...99	0,025...0,037
Каменная вата	55...250	2500	90...94	0,040...0,075
Стеклянная вата	100...200	2700	90...98	0,040...0,046
Ячеистое стекло	180...350	2500	95...98	0,065...0,090
Пеностекло (газо-стекло)	300...600	2600	80...90	0,100...0,140
Пеногипс	250...400	2450	88...95	0,070...0,095
Газосиликат	250...400	2550	85...95	0,070...0,105
Пенополистиролбетон	250...350	1250	70...80	0,065...0,095
Керамзитобетон	500...600	2200	65...77	0,140...0,160
Древесина и др. ТИМ из растительных волокон	500	1540...1550 <i>целлюлоза</i>	60...70	0,150...0,290

Задание 1. Определение структурных характеристик и влажности ТИМ

Наименование ТИМ	Масса образца, m , г	Объем образца, V , см ³	Плотность, кг/м ³		Пористость P , %	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м•К)
			средняя ρ_c	истинная ρ_u		
Сухие образцы						

Наименование ТИМ	Масса образца, г		Объем образца, V , см ³	Средняя плотность влажного образца ρ_0^W , кг/м ³	Влажность W , %	Изменение коэффициента теплопроводности λ при увлажнении
	сухого $m_{сух}$	влажного $m_{вл}$				
Влажные образцы						

Задание 2. Классификация теплоизоляционных материалов

Наименование материала	Классификация по				Марка по средней плотности	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Область применения
	виду сырья	структуре	форме	горючести			
Минераловатные изделия:							
Пенопласты:							
Ячеистый бетон							
Пеностекло							
Пенополистиролбетон							
Керамзитовый гравий							
Перлитовый песок							

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Как влияет пористость на теплопроводность строительных материалов?
2. Как изменяется теплопроводность теплоизоляционных материалов в зависимости от их влажности?
3. По какой формуле вычисляется пористость ТИМ?
4. Как определить и вычислить влажность ТИМ? Формула для вычисления. Единица измерения.
5. По какой формуле рассчитывают пористость строительных материалов?
6. Где целесообразно использовать ТИМ, и в чем их преимущества?
7. По каким показателям классифицируют ТИМ?

БНТУ
Строительный факультет
Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ОТЧЕТ

по лабораторной работе на тему:

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Выполнил:

студент (ка) группы _____

Принял(а):

Минск 20__

Задание 1. Определение массы 1 м² площади материалов для полов

Наименование материала	Образцы	Масса образца, г	Размер образца, см	Масса 1 м ² , г/м ²
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			
	1			
	2			
	3			

(для исследований преподаватель дает материалы: линолеум однослойный, линолеум многослойный, воронит, ковролин и др.)

Задание 2. Определение гибкости поливинилхлоридных материалов

Наименование материала	Диаметр цилиндра, мм	Время испытаний, с	Результаты осмотра образцов на наличие трещин, разрывов, изломов
Погонажные ПВХ изделия (жесткие)			
Линолеум однослойный (полужесткий)			
Линолеум многослойный (мягкие)			

Задание 3. Истираемость полимерных материалов для полов

Истираемость это – _____

Показатели	Материал – од-нослойный линолеум	Истираемость линолеума по уменьше-нию толщины Δh в мкм вычисляются по формуле
Масса образца до испытания m_1 , г	69,82270	
Масса образца после испытания m_2 , г	69,79340	
Средняя плотность материала ρ , г/см ³	1,435	Коэффициент износа Z линолеума ха-рактеризует его износостойкость, опре-деляют по формуле:
Площадь образца S , см ²	2,91	
Толщина материала h , мм	2050	
Истираемость Δh , мкм		$Z =$
Коэффициент износа линолеума Z		
Требования ГОСТ по истираемости	≤ 120	

Задание 4. Определение абсолютной деформации и восстанавливаемости

Показатели	Наименование мате-риала	$h_a =$
	Линолеум	
Отсчет по индикатору, мм:		
• до приложения усилия p_0	0	
• после приложения усилия p_1	0,20	$E =$
• после снятия усилия p_2	0,08	
Абсолютная деформация при вдавливании - полученная, h_a , мм		
- нормируемая h_n , мм		
Восстанавливаемость полученная, E , %		
Восстанавливаемость нормируемая, %	50%	

Задание 5. Определение прочности при растяжении и разрыве и относительного удлинения при разрыве ПВХ-профиля

Определения	Значения показателей		
	опытное	требуемое	
Начальное поперечное сечение образца A_0 , мм		-	$\sigma_{pm} =$
Усилие максимальное при растяжении F_{pm} , Н	1389	-	$\sigma_{pp} =$
Усилие в момент разрыва F_{pp} , Н	1109	-	
Предел прочности при растяжении σ_{pm} , МПа		-	$\epsilon_p =$
Предел прочности при разрыве σ_{pp} , МПа		37	
Расчетная длина l_0 , мм			
Удлинение при разрыве Δl_p , мм			
Относительное удлинение при разрыве ϵ_p		100	

Схема образца с указанием размеров:

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какими основными свойствами должны обладать полимерные материалы для полов?
2. Как определить массу 1 м² площади полимерного материала для полов?
3. Как определить гибкость полимерных материалов для полов?
4. В каких единицах измеряется истираемость полимерных материалов для полов и как ее определить?
5. Какие показатели характеризуют деформативность полимерных материалов при вдавливании?
6. Как определить величину абсолютной деформации полимерных материалов?
7. Как определить восстанавливаемость полимерных материалов?
8. Какие приборы применяют при определении деформативности полимерных материалов?
9. На каких образцах определяют прочность при растяжении и разрыве?
10. По какой формуле вычисляют прочность при растяжении?
11. По какой формуле вычисляют прочность при разрыве?
12. Как определить относительное удлинение при разрыве?

Раздел 3. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ» (1 семестр)

1. Классификация строительных материалов.
2. Взаимосвязь свойств строительных материалов и их структуры.
3. Основные физические свойства строительных материалов (истинная, средняя и насыпная плотности, пористость, пустотность) – определение, формулы, единицы измерения, взаимосвязь с другими свойствами, примеры численных значений, методы определения.
4. Гидрофизические свойства (водопоглощение, влажность, $K_{нас.}$, $K_{разм.}$, гигроскопичность, морозостойкость, водопроницаемость) – определение, формулы, единицы измерения, взаимосвязь с другими свойствами, примеры численных значений, методы определения.
5. Теплофизические свойства (теплопроводность, термическое сопротивление, теплоемкость, термическая стойкость, огнестойкость, огнеупорность) – определение, формулы, единицы измерения, взаимосвязь с другими свойствами, примеры численных значений, методы определения.
6. Механические свойства (прочность, упругость, пластичность, $K_{кк}$, твердость, истираемость, хрупкость, ударная прочность) – определение, формулы, единицы измерения, взаимосвязь с другими свойствами, примеры численных значений, методы определения.
7. Химические, технологические, и эксплуатационные свойства строительных материалов. Радиационная стойкость.
8. Понятие горной породы и минерала. Генетическая классификация горных пород (условия образования, общая характеристика и примеры).
9. Изверженные горные породы (условия образования, породообразующие минералы, характеристики, применение, примеры).
10. Осадочные горные породы (условия образования, породообразующие минералы, характеристики, применение, примеры).
11. Метаморфические горные породы (условия образования, породообразующие минералы, характеристики, применение, примеры).
12. Материалы и изделия из природного камня (перечень продукции, характеристика, примеры).
13. Защита от коррозии природных каменных материалов и изделий в конструкциях и сооружениях (причины коррозии и способы защиты).
14. Положительные и отрицательные свойства древесины как строительного материала.

15. Характеристика основных пород древесины, применяемых в строительстве.
16. Микроструктура древесины.
17. Макроструктура древесины.
18. Физические свойства древесины (плотность, пористость, влажность, усушка, разбухание, коробление, теплопроводность) – определение и взаимосвязь с другими свойствами.
19. Прочность и твердость древесины.
20. Пороки древесины (сучки и трещины) – виды, определение и влияние на качество пиломатериалов.
21. Пороки формы ствола дерева (сбежистость, закомелистость, кривизна и нарост) – определение и влияние на качество пиломатериалов.
22. Пороки строения древесины (косослой, свилеватость, завиток, крень, двойная сердцевина) – определение и влияние на качество пиломатериалов.
23. Круглые лесоматериалы (перечень, основные характеристики и назначение).
24. Пиломатериалы (пластины, четвертины, брусья, бруски, доски) – определение, характеристики и применение.
25. Паркетные изделия (штучный, мозаичный, щитовой и ламинированный паркет, паркетные доски) – получение и основные характеристики.
26. Шпон и фанера (разновидности, получение, характеристики и применение).
27. ДСП, ДВП, МДФ (получение, основные характеристики и применение).
28. Арболит и фибролит (получение, основные характеристики и применение).
29. Защита древесины от разрушения.
30. Антисептики и антипирены.
31. Сырье для производства керамических изделий (разновидности и технологические характеристики).
32. Добавки в глины при производстве керамических изделий (разновидности и назначение).
33. Глазури и ангобы (разновидности и назначение).
34. Кирпич и камни керамические (сырье, способы производства, свойства и применение).
35. Марки кирпича и камней керамических и методика их определения.
36. Свойства кирпича и камней керамических (внешние показатели, плотность, водопоглощение, морозостойкость и прочность).
37. Требования к показателям внешнего вида кирпича и камней керамических.
38. Керамзит (сырье, технология получения, свойства и назначение).
39. Аглопорит (сырье, технология получения, свойства и назначение).

40. Керамические изделия (для внутренней и внешней облицовки, для покрытия пола и кровли, трубы, санитарно-технические и др. – разновидности, сырье, получение, основные характеристики и назначение).
41. Сырье для производства стекла.
42. Производство листового стекла.
43. Листовые светопрозрачные и светорассеивающие стекла (оконное, витринное, узорчатое, армированное) – получение, характеристики и назначение.
44. Закаленное и ламинированное стекло (получение, характеристики и назначение).
45. Солнцезащитное, теплопоглощающее, теплоотражающее и другие стекла (получение, характеристики и назначение).
46. Светопрозрачные изделия и конструкции (блоки, стеклопрофилит, стеклопакеты, дверные полотна и т.п.) – получение, характеристики и назначение.
47. Отделочное стекло (цветное, зеркала, смальта, витражи, коврово-мозаичная плитка и т.п.) – получение, характеристики и назначение.
48. Пеностекло – получение, характеристики и назначение.
49. Стеклокристаллические изделия - получение, характеристики и назначение .
50. Свойства и классификация металлов и сплавов.
51. Строение реальных кристаллов. Дефекты кристаллов. Полиморфизм.
52. Чугун: сырье, получение, свойства, применение.
53. Сталь: сырье, получение, свойства, применение.
54. Свойства сталей (пределы пропорциональности, упругости и текучести, временное сопротивление (предел прочности), твердость).
55. Углеродистые стали (определение и маркировка).
56. Легированные стали (определение и маркировка).
57. Строительные стали (определение и маркировка).
58. Стальная арматура для железобетона. Классы арматуры.
59. Термическая и химико-термическая обработка стали.
60. Цветные металлы и сплавы, их применение в строительстве.
61. Сортамент стального проката.
62. Виды коррозии металлов. Способы защиты.
63. Минеральные вяжущие вещества (определение и классификация).
64. Воздушные вяжущие вещества (определение, разновидности, сырье, получение).
65. Магнезиальные вяжущие вещества (сырье, получение, характеристики и назначение).

66. Жидкое (растворимое) стекло – получение, характеристики и назначение.
67. Кислотоупорный цемент (получение, характеристики и назначение).
68. Гипсовые вяжущие вещества (сырье, получение, разновидности, характеристики и назначение).
69. Основные свойства гипсовых вяжущих и методика их определения.
70. Маркировка гипсовых вяжущих.
71. Воздушная известь (сырье, получение, разновидности, характеристики и применение).
72. Гашение воздушной извести, продукты гашения (формулы, характеристики).
73. Свойства воздушной извести и методика их определения.

(2 семестр)

1. Гидравлические вяжущие вещества (определение, разновидности, сырье, получение).
2. Гидравлическая известь (сырье, получение, характеристики и назначение).
3. Портландцемент (сырье и производство).
4. Основные клинкерные минералы (образование, формулы и характеристики).
5. Основные свойства портландцемента и методика их определения.
6. Активность, классы и марки портландцемента. Методика их определения.
7. Водопотребность, сроки схватывания и равномерность изменения объема портландцемента. Методика их определения.
8. Теория твердения портландцемента.
9. Твердение портландцемента во времени.
10. Коррозия цементного камня первого вида (причины и меры защиты).
11. Коррозия цементного камня второго вида (причины и меры защиты).
12. Коррозия цементного камня третьего вида (причины и меры защиты).
13. Классификация цементов.
14. Разновидности цементов (БТЦ, ОБТЦ, СБТЦ) – состав, основные характеристики и применение.
15. Пластифицированный и гидрофобный портландцементы (получение, основные характеристики и применение).
16. Активные минеральные добавки в цементы (состав и назначение).
17. Пуццолановый и шлакопортландцементы (получение, основные характеристики и применение).

18. Сульфатостойкие портландцементы (получение, основные характеристики и применение).
19. Глиноземистый, безусадочный, расширяющийся и напрягающий цементы (получение, основные характеристики и применение).
20. Белый и цветные портландцементы (получение, основные характеристики и применение).
21. Хранение и транспортирование портландцемента.
22. Бетон (определение, составляющие и их назначение).
23. Классификация бетонов (по структуре, виду вяжущего и заполнителя, условиям твердения, назначению, средней плотности, прочности, морозостойкости и т. п.).
24. Требования, предъявляемые к воде для приготовления бетона.
25. Мелкий заполнитель для бетона (определение, разновидности, свойства и методика их испытания).
26. Крупный заполнитель для бетона (определение, разновидности, свойства и методика их испытания).
27. Зерновой состав заполнителя (методика определения и требования стандарта).
28. Арматура (определение, назначение, разновидности, свойства и классы).
29. Добавки в бетоны и растворы (разновидности и механизм действия).
30. Расчет состава цементного тяжелого бетона (от выбора составляющих до их расхода на замес бетоносмесителя).
31. Приготовление бетонной смеси (дозирование и перемешивание составляющих, виды бетоносмесителей, длительность перемешивания).
32. Технологические свойства бетонной смеси и методика их определения.
33. Влияние различных видов цемента на подвижность и жесткость бетонной смеси.
34. Влияние В/Ц, содержания воды и расхода цемента на подвижность и жесткость бетонной смеси.
35. Влияние содержания растворной части, вида, крупности, формы и содержания заполнителя на подвижность и жесткость бетонной смеси.
36. Выбор требуемой удобоукладываемости бетонной смеси.
37. Свойства затвердевшего бетона (определение и методика их испытания).
38. Дайте определение маркам и классам бетонов. Что выражают собой их численные значения и как их установить?
39. Продолжительность, условия твердения бетона, уход за твердеющим бетоном.
40. Причины и последствия усадки и набухания бетона.

41. Свойства бетона – плотность, пористость, водонепроницаемость и морозостойкость – и пути их повышения.
42. Влияние В/Ц и водосодержания на прочность бетона.
43. Влияние расхода, активности и марок (классов) цемента на прочность бетона.
44. Влияние вида и прочности заполнителей на прочность бетона.
45. Разновидности бетонов (дать характеристику 3..5 видам бетонов по своему усмотрению).
46. Легкие бетоны (классификация, примеры, составы, характеристика).
47. Бетоны на пористых заполнителях (виды, их характеристики и применение).
48. Ячеистые бетоны (виды, составы, получение, характеристики и применение).
49. Крупнопористый и поризованный легкие бетоны (виды, составы, получение, характеристики и применение).
50. Высокопрочные бетоны (получение, характеристики и применение).
51. Особотяжелые бетоны (получение, характеристики и применение).
52. Мелкозернистый бетон и армоцемент (получение, характеристики и применение).
53. Гидротехнический и декоративный бетоны (получение, характеристики и применение).
54. Полимерцементные бетоны, бетонополимеры и полимербетоны (получение, характеристики и применение).
55. Фибробетон и арболит (получение, характеристики и применение).
56. Общие сведения о железобетоне (классификация, назначение и виды арматуры).
57. Предварительно напряженный железобетон (определение, цель и способы напряжения арматуры).
58. Сущность предварительного напряжения железобетонных конструкций.
59. Монолитный и сборный железобетон (отличительные особенности, преимущества, недостатки, эффективность применения).
60. Классификация строительных растворов, определение, их свойства, состав, области применения.
61. Составы (выражение составов) и свойства растворных смесей.
62. Приготовление и транспортирование растворов.
63. Свойства затвердевших строительных растворов (плотность, прочность, морозостойкость, в т. ч. и марки).
64. Кладочные, штукатурные и декоративные растворы (получение и основные характеристики).
65. Сухие строительные смеси (составы, классификация и применение).

66. Силикатные материалы и изделия (сырье, получение, разновидности, основные характеристики и применение).
67. Изделия из гипсовых вяжущих (разновидности, основные характеристики и применение).
68. Асбестоцементные изделия (сырье, назначение асбеста, разновидности, основные характеристики и применение).
69. Высокомолекулярные органические вещества (определение и классификация, в т. ч. и полимеров).
70. Битумы и дегти (определение, классификация, основные свойства, применение).
71. Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы (составы, основные характеристики и применение).
72. Сырье и способы получения полимеров.
73. Пластмассы (определение, классификация и назначение составляющих).
74. Положительные и отрицательные свойства пластмасс.
75. Полимерные материалы для покрытия полов (классификация, разновидности, основные характеристики).
76. Отделочные и конструкционно-отделочные полимерные материалы и изделия (классификация, разновидности, основные характеристики).
77. Назначение и классификация теплоизоляционных материалов.
78. Теплоизоляционные материалы и изделия (определение, основные качественные характеристики, марки, классификация).
79. Основные свойства теплоизоляционных материалов.
80. Неорганические теплоизоляционные материалы и изделия (сырье, классификация, разновидности, основные характеристики).
81. Органические теплоизоляционные материалы и изделия (сырье, классификация, разновидности, основные характеристики).
82. Акустические материалы и изделия (назначение, классификация, разновидности, основные качественные характеристики).
83. Кровельные и гидроизоляционные материалы (классификация, разновидности, основные характеристики).
84. Герметизирующие материалы (определение, разновидности и основные характеристики).
85. Клеи и мастики (определение, классификация, разновидности, в т. ч. жидкие гвозди, основные характеристики).
86. Лакокрасочные материалы (определение, назначение, классификация).
87. Технические свойства лакокрасочных материалов.
88. Грунтовки и шпатлевки (назначение и составы).

89. Составляющие лакокрасочных материалов (связующие, пигменты, наполнители, растворители, разбавители, сиккативы) – определение, основные качественные характеристики и назначение.
90. Разновидности лакокрасочных материалов (лаки, масляные, эмалевые, вододисперсионные и другие краски) – составы и основные характеристики.
91. Обозначение лакокрасочных материалов.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Список рекомендованной литературы

Основная

5. Широкий, Г. Т. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Г. Т. Широкий, М. Г. Бортницкая, А. И. Сидорова. – Минск : РИПО, 2022. – 432 с.
6. Широкий, Г. Т. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Г. Т. Широкий, М. Г. Бортницкая. – Минск : РИПО, 2020. – 433 с.
7. Широкий, Г.Т. Строительное материаловедение / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая, под общ.ред. Э.И. Батяновского.– Минск: Выш. шк., 2016. – 464 с.
8. Дворкин, Л.И. Строительное материаловедение/Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин – М.: Инженерия, 2013. – 832 с.
9. Широкий, Г.Т. Материаловедение в отделочных и реставрационно-восстановительных работах / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2010. – 351 с.
10. Киреева, Ю.И. Современные строительные материалы и изделия/ Ю.И. Киреева. – Россия: Феникс, 2010. –256с.
7. Широкий, Г.Т. Материаловедение в санитарно-технических системах / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая. – Минск: Выш. шк., 2009. – 302 с.

Дополнительная

1. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение в 2 ч. Часть 1 : учебник для вузов / И. А. Рыбьев. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 275 с.
2. Болотских, О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний цемента /О.Н. Болотских. - Харьков : ХНАГХ, 2015. - 88 с.
3. Алимов, Л.А. Строительные материалы / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – Москва: Академия, 2012. – 320 с.
4. Технология монолитного бетонирования: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Производство строительных изделий и конструкций", "Промышленное и гражданское строительство" / Э. И. Батяновский. – Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 272 с.
5. Кузменков, М.И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе. /М.И. Кузменков, Т.С. Куницкая. - Минск: БГТУ, 2003.- 218 с.
6. Юхневский, П.И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов / П.И. Юхневский. – Минск: БНТУ, 2013. – 310 с.

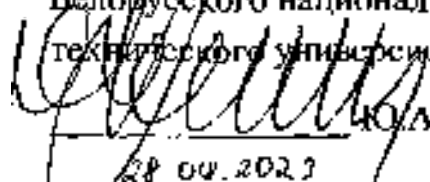
Белорусский национальный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Белорусского национального

технического университета



А.А. Николайчук

28.08.2023

Регистрационный № УД-СФ67-1 /уч.

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальности

7-07-0732-01-2023 «Строительство зданий и сооружений»

профилизация «Производство строительных изделий и конструкций»

2023 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 7-07-0732-01-2023 и учебного плана специальности «Строительство зданий и сооружений» профилизация «Производство строительных изделий и конструкций» рег. № СФ 67д-2, СФ 67з-2, утв. 31.03.2023, 03.04.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.С. Гуряненко, доцент кафедры «Строительные материалы и технология строительства» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

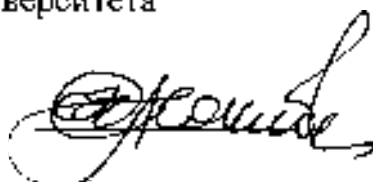
Т.М. Уласик, заведующая кафедрой «Геотехника и строительная механика» Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент;

С.Е. Кравченко, доцент кафедры «Автомобильные дороги», кандидат технических наук, декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Строительные материалы и технология строительства» Белорусского национального технического университета
(протокол № 8 от 27.04.2023 г.)

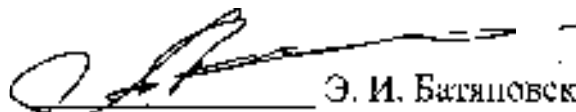
Заведующий кафедрой



С.Н. Леонович


Методической комиссией строительного факультета Белорусского национального технического университета
(протокол № 4 от 22.04.2023 г.)

Председатель методической комиссии



Э. И. Батяповский

Научной библиотекой БНТУ



Т.И. Бирюкова

Научно-методическим советом Белорусского национального технического университета (протокол № 4 секции №1 от 28.04.2023 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Строительное материаловедение» разработана для специальности 7-07-0732-01-2023 «Строительство зданий и сооружений» профилизации «Производство строительных изделий и конструкций».

Целью изучения дисциплины является получение знаний о номенклатуре, технологии, формировании структуры и свойств строительных материалов.

Основными задачами дисциплины являются:

- показать роль науки в создании эффективных конструкционных, защитных и отделочных материалов и изделий;
- выявить основные направления научно-технического прогресса в области разработки, производства и применения современных строительных материалов и изделий;
- обозначить тесную связь структуры материалов с их свойствами;
- ознакомить с экономическими методами анализа при выборе материалов для конструкций, ориентировать будущих специалистов на максимальное использование местных материально-технических и трудовых ресурсов;
- осветить тенденции развития конструкционных и специальных видов материалов (высокопрочных бетонов, теплоизоляционных, гидроизоляционных и др.);
- показать важную роль стандартизации в повышении качества материалов и изделий;
- проанализировать методы защиты строительных материалов изделий и конструкций от коррозии и методы повышения их долговечности

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении таких дисциплин как: «Физика», «Химия», «Математика» и др. Знания и умения, полученные студентами при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализаций, связанных с проектированием и расчетом зданий и сооружений, таких как: «Соппротивление материалов», «Технология строительного производства» и др.

В результате изучения учебной дисциплины «Строительное материаловедение» студент должен

знать:

- основные показатели качества строительных материалов и изделий цифровыми характеристиками и хорошо разбираться в методиках их определения;
- механизм формирования структуры и свойств материалов;
- основы технологий производства строительных материалов и изделий;
- методики определения основных физико-механических характеристик строительных материалов;

уметь:

- ориентироваться в номенклатуре строительных материалов и изделий, представленной как в Республике Беларусь, так и на мировых рынках;

- определять основные технические характеристики строительных материалов с учетом требований технических нормативных правовых актов (ТНПА) по метрологии, сертификации и стандартизации;
- обосновывать и выбирать рациональные технологические и технические решения с учетом экономических, организационных и экологических аспектов;
- прогнозировать надежность и долговечность строительных материалов в различных условиях эксплуатации;
- выбирать строительные материалы в соответствии с номенклатурой изделий и конструкций с учетом условий эксплуатации;

иметь навыки:

- навыками выполнения экспериментальных и теоретических исследований;
- методами изучения свойств строительных материалов и изделий;
- знаниями обоснования рационального выбора материалов в различных условиях эксплуатации зданий и сооружений;
- методами контроля качества строительных материалов в изделиях и конструкциях и повышения их срока эксплуатации в реальных условиях.

Освоение данной учебной дисциплины должно обеспечить формирование следующей компетенции:

- БПК-8. Применять современные методы и подходы в области строительных технологий, конструкций и материалов для решения инженерно-строительных задач.

Согласно учебным планам на изучение учебной дисциплины отведено:

- для очной (дневной) формы получения высшего образования всего 320 часов, из них аудиторных - 152 часа;
- для заочной формы получения высшего образования всего 320 часов, из них аудиторных – 40 часов.

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Очная (дневная) форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
1	3	34	34	-	экзамен, контрольная работа
1	4	50	34	-	экзамен

Таблица 2

Заочная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия, ч.	Практические занятия, ч.	Форма текущей аттестации
1	1	16	8	-	экзамен, РГР
1	2	8	8	-	экзамен

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Строение и свойства строительных материалов

Определение дисциплины «Строительное материаловедение» и ее связь с естественнонаучными и профилирующими дисциплинами учебных планов соответствующих специальностей. Основные понятия и определения продукции промышленности строительных материалов, изделий и конструкций.

Краткий исторический обзор и динамика развития производства строительных материалов в Республике Беларусь (РБ). Потребность строительной отрасли Республики Беларусь в строительных материалах и изделиях. Состояние и перспективы развития промышленности строительных материалов в Республике Беларусь и в международном сообществе. Пути интеграции Республики Беларусь в мировую строительную индустрию.

Определяющая роль строительных материалов в архитектуре зданий и сооружений, в обеспечении долговечности и надежности конструкций. Задачи повышения качества и долговечности строительных материалов и изделий.

Стандартизация и сертификация строительных материалов. Технические нормативные правовые акты, регламентирующие требования к качеству строительных материалов и изделий и их содержание.

Вопросы экологии и охраны труда в промышленности строительных материалов и изделий.

Общие сведения о работе материалов в конструкциях зданий и сооружений. Определение и классификация свойств строительных материалов и методы оценки их качественных характеристик. Основные сведения о строении материалов. Составы (химический, минеральный, фазовый) и структура материалов – однородная и неоднородная, гомогенная и гетерогенная, кристаллическая и аморфная, зернистая, конгломератная, ячеистая, волокнистая, слоистая и др. Изотропность и анизотропность строительных материалов. Взаимосвязь состава, структуры и свойств материалов.

Структурно-физические свойства – плотность (истинная, средняя, насыпная, плотность зерен заполнителя), пористость и пустотность. Связь плотности с другими свойствами. Влияние пористости, строения и размера пор на качественные характеристики строительных материалов.

Гидрофизические свойства. Водопоглощение и влажность. Коэффициент насыщения. Влияние влажности на другие характеристики материалов. Гигроскопичность и влагоотдача. Сорбция и десорбция. Понятие о равновесном состоянии сорбции и десорбции. Водостойкость и коэффициент размягчения. Влагостойкость и коэффициент влагостойкости. Воздухо-, паро- и газопроницаемость. Морозостойкость и механизм разрушения структуры пористых материалов при замораживании и оттаивании. Факторы, влияющие на морозостойкость материалов. Количественная оценка морозостойкости. Методы оценки гидрофизических свойств строительных материалов.

Теплофизические свойства. Основные понятия, термины, определения. Теплопроводность и температуропроводность. Влияние состава, структуры и параметров состояния материалов на их теплопроводность. Теплопроводность гетерогенных систем. Теплоемкость и ее практическое использование. Термическое сопротивление и термостойкость. Критерии термостойкости. Оценка термостойкости материалов. Тепловое расширение. Механизм теплового расширения твердых тел. Коэффициент термического расширения.

Огнеупорность, огнестойкость и горючесть. Классификация материалов по степени огнеупорности, огнестойкости и горючести. Температура и механизм плавления твердых тел.

Акустические свойства. Основные характеристики акустических свойств строительных материалов (звукопроводность, звукопоглощение, динамический модуль упругости и др.) и зависимость их от состава и параметров строения материалов.

Радиационная стойкость материалов и механизм воздействия на них ионизирующих излучений.

Эстетические характеристики материалов: форма, цвет, фактура, рисунок и текстура.

Деформативные и прочностные свойства материалов. Деформации (упругие и пластичные). Разрушение (хрупкое и пластичное). Хрупкость. Роль трещин при хрупком разрушении. Упругость и пластичность. Модуль упругости (модуль Юнга). Причины и механизм образования пластических деформаций. Оценка пластичности материалов. Ползучесть. Эластичность.

Прочность строительных материалов (реальная и теоретическая). Критерии оценки прочности. Пределы прочности при сжатии, растяжении и изгибе. Влияние различных факторов на показатели прочности строительных материалов. Разрушающие и неразрушающие методы оценки прочности строительных материалов.

Твердость и факторы, влияющие на твердость материала. Способы оценки твердости строительных материалов. Истираемость. Сопротивление удару и износу.

Химические свойства. Понятие о химической стойкости материалов. Процессы коррозии материалов под воздействием агрессивных сред. Виды коррозии строительных материалов. Химическая активность материалов. Факторы, влияющие на коррозионную стойкость строительных материалов. Оценка и общие принципы повышения коррозионной стойкости строительных материалов.

Технологические характеристики. Способность материалов к восприятию технологических операций (формуемости, раскалыванию, дробимости, шлифуемости, полируемости, гвоздимости и др.).

Работа материалов в изделиях и сооружениях. Долговечность и надежность.

Стандартизация материалов и методы оценки их качества.

Тема 2. Природные каменные материалы

Горные породы, как основное сырье для производства строительных материалов и изделий. Понятие о химическом и минеральном составе пород. Минерал и горная порода. Основные породообразующие минералы и их характеристики – кремнеземистые (кварц, опал), полевые шпаты, слюды, каолинит, железисто-магнезиальные, карбонаты (кальцит, магнезит, доломит), сульфаты (гипс, ангидрит) и др.

Магматические (первичные) горные породы: глубинные, излившиеся (плотные и пористые) и др. Определение, условия образования, состав, показатели качества и области применения. Осадочные (вторичные) горные породы: обломочные (рыхлые и сцементированные), хемогенные и органогенные (кремнистого и карбонатного составов). Определение, условия образования, состав, качественные характеристики и области применения. Метаморфические горные породы и условия их образования. Наиболее распространенные породы этой группы, их химический и минеральный составы, основные характеристики и области применения.

Способы добычи и обработки горных пород. Материалы и изделия из природного камня: применяемые без обработки; блоки и стеновые камни; облицовочные плиты и другие архитектурно-строительные изделия. Виды обработки природного камня и типы фактур облицовочных изделий. Каменное литье и материалы на его основе. Показатели качества изделий из горных пород и методы их оценки. Ресурсообеспечение и экология при разработке месторождений и переработке горных пород. Использование отходов камнеобработки.

Требования к природным каменным материалам при различных условиях эксплуатации. Защита природных каменных материалов в конструкциях и сооружениях.

Тема 3. Основы древесиноведения

Древесина как строительный материал, достоинства и недостатки. Состав и строение древесины, ее микро- и макроструктура. Анатомическое строение древесины. Годичные слои. Основные древесные породы, используемые в строительстве: хвойные и лиственные. Качественные показатели древесины: внешний вид, цвет, текстура, плотность, пористость, влажность (в том числе стандартная), усушка, разбухание, коробление, теплопроводность, прочность, твердость и др. Связь показателей качества древесины со структурой и влажностным состоянием. Корреляционная связь между прочностью, плотностью и содержанием поздней древесины.

Пороки древесины: сучки, трещины (метиковые, морозные, усушки), пороки формы ствола и строения, химические окраски и гнили, повреждения (грибные, поражения насекомыми, механические и др.), инородные включения, покоробленность и т.п. Дефекты древесины.

Защита древесины от разрушения (гниения, повреждения насекомыми, возгорания). Антисептики и антипирены. Пути увеличения срока службы древесины в сооружениях. Облучение древесины. Клееная и модифицированная древесина.

Тема 4. Материалы и изделия на основе древесины

Характеристика основных пород древесины, применяемых в строительстве. Иноземные, редкие и ценные породы древесины (красное, черное дерево и др.).

Материалы и изделия из древесины. Классификация. Круглые лесоматериалы: бревна строительные, пиловочные и оцилиндрованные, подтоварники и жерди. Пиломатериалы: пластины, четвертины, брусья, бруски, доски, обзол. Классификация пиломатериалов по видам распиловки (групповой и индивидуальной) и характеру обработки поверхности.

Изделия из древесины: строганные и профильные погонажные (плинтусы, галтели, карнизы, пояски, наличники, обшивки, доски и бруски для покрытия полов и др.), для паркетных полов (штучный паркет, паркетные щиты и доски, наборный мозаичный, ламинированный и художественный паркет), столярно-строительные изделия (оконные и дверные блоки, перегородки и панели и т.п.), фанера (облицованная, декоративная, бакелизированная, цветная, ребристая, гофрированная и др.). Плиты (древесностружечные, древесноволокнистые, МДФ, фибролит).

Понятие о комплексном безотходном использовании древесины. Использование древесных отходов.

Тема 5. Строительная керамика

Определение и классификация строительной керамики. Сырье для производства различных керамических изделий. Виды, состав и основные свойства глин как сырья для производства керамических изделий (пластичность, связующая способность, отношение к сушке и к действию высоких температур и др.). Добавки в глины (отошающие, порообразующие, пластифицирующие и др.).

Основы технологии керамики (подготовка сырьевой массы, формование изделий, сушка и обжиг). Способы производства керамических изделий (пластический, сухой, полусухой, шликерный). Процессы, происходящие при сушке и обжиге глин. Структура и природа свойств керамического черепка. Управление структурой и техническими характеристиками керамических изделий. Производственные дефекты (трещины, недожог, пережог, «дутик» и др.). Фарфор, полуфарфор и фаянс. Глазури и ангобы.

Классификация керамических материалов и изделий (по структуре и назначению).

Стеновые изделия. Кирпич и камни керамические (рядовые, лицевые и профильные, полнотелые и пустотелые, с вертикальным и горизонтальным

расположением пустот, одинарные, утолщенные, укрупненные и модульных размеров). Основы производства. Типы и размеры. Технические требования по внешнему виду, прочности, водопоглощению, морозостойкости, массе. Марки по прочности и морозостойкости. Методы контроля. Маркировка и правила приемки. Транспортировка и хранение.

Изделия для внешней и внутренней облицовки. Кирпич и камни керамические лицевые, профильные, фасонные, фигурные, фактурные, рельефные, торкретированные, ангобированные, глазурированные, двухслойные и др. Керамическая плитка мелко- и крупноразмерная, квадратной, прямоугольной и фасонной формы, с гладкой и рифленой поверхностью, одинарного и двойного обжига, майоликовая и фаянсовая, керамический гранит, гресс, клинкерная, гидротект, ковровая керамика и др. Архитектурные детали (терракота). Сырье, основы производства и качественные характеристики. Керамическая плитка для полов и требования европейских норм (ЕН) по устойчивости к поверхностному истиранию.

Санитарно-технические изделия и трубы. Номенклатура изделий, сырье, основы производства и основные качественные характеристики. Трубы керамические канализационные. Трубы керамические дренажные.

Изделия для перекрытий и кровли. Номенклатура изделий, сырье, основы производства и основные качественные характеристики.

Специальная керамика (кислотоупорная, огнеупорная, теплоизоляционная и др.). Клинкерный (дорожный кирпич). Сырье, основы производства и качественные характеристики.

Заполнители для легких бетонов (керамзит и аглопорит). Сырье, основы производства и качественные характеристики.

Керамические изделия европейских производителей на рынках Республики Беларусь.

Тема 6. Стекло, стеклянные и стеклокристаллические изделия

Определение и классификация. Сырьевые материалы. Химический состав и структура стекла, их влияние на свойства.

Основы производства стекла (подготовка сырья, стекловарение, формование, термическая обработка). Способы формования стеклоизделий (вытяжка, прокат, прессование, флоат-метод и др.).

Технические характеристики стекла и методы их оценки: прозрачность; цвет; коэффициенты преломления, отражения и направленного прохождения света; оптические искажения; плотность; прочность (теоретическая и фактическая); стойкость к механическим ударам; модуль упругости; хрупкость; твердость; температура размягчения; теплопроводность; температурный коэффициент линейного расширения; термическая и химическая стойкость; водостойкость; звукоизолирующая способность и др. Пороки стекла.

Классификация строительных стекол. Стекло листовое. Определение, классификация, основные параметры, размеры и соответствие требованиям стандарта. Марки. Разновидности листового стекла: оконное (полированное и

неполированное), витринное, термоупрочненное, безопасные стекла (закаленное, армированное, многослойное, ламинированное, противопожарное), светорассеивающие (матовое и узорчатое), увиолевое, солнцезащитное (теплоизоляционное, тонированное и рефлексивное), энергосберегающие (теплозащитное, селективное, низкоэмиссионное, теплопоглощающее и теплоотражающее, окрашенное в массу и с покрытиями), цветное, тонированное (с твердым и мягким покрытиями), защищающее от излучения, огнезащитное, стойкое к ударам мягкими и твердыми предметами, звукоизоляционное и др.

Светопрозрачные изделия и конструкции: стеклянные блоки, стекло профильное и стеклянные панели, стеклопакеты, дверные полотна, трубы и фасонные части к ним, кровельные волнистые листы, стеклянная черепица, стекловолокно. Получение, основные характеристики и назначение.

Стеклокристаллические материалы и изделия: авантюриновые стекла, стекломрамор, стеклокристаллит, стеклокремнезит, сигран, ситаллы и шлакоситаллы и др. Получение, основные характеристики и назначение.

Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение листового стекла и стеклянных изделий.

Тема 7. Металлические материалы и изделия

Металлы, их природа и строение. Определение и классификация. Общие сведения о чистых металлах (черных, цветных, благородных, редких) и сплавах. Атомно-кристаллическое строение металлов. Кристаллические системы и пространственные решетки. Типы и основные параметры кристаллических решеток, анизотропия свойств металлов. Аллотропические превращения в металлах. Физико-механические характеристики металлов и сплавов. Классификация металлических материалов, применяемых в строительстве. Железоуглеродистые сплавы.

Основы получения чугуна и стали. Разновидности чугуна: пердедельный, литейный, ферросплавы, белый, серый, высокопрочный, ковкий и легированный. Определение и качественные характеристики. Трубы чугунные.

Разновидности сталей: углеродистые, углеродистые конструкционные, легированные, низколегированные строительные, коррозионностойкие (нержавеющие), легированные инструментальные и др. Качественные характеристики и маркировка различных видов стали. Термическая обработка стали.

Сортамент стального проката. Листовая прокатная сталь (толстолистовая и тонколистовая горячекатаная и холоднокатаная, полоса горячекатаная, прокат повышенной прочности, листы с ромбическим и чечевичным рифлением, просечно-вытяжная и др.), профильная прокатная (угловая равнополочная и неравнополочная, швеллеры, шестигранные профили, балки двутавровые), профилированный настил, профили гнутые, гофробалка и др. Определение и технические характеристики.

Арматурная сталь: горячекатаная (стержневая), холоднотянутая (проволочная), гладкая и периодического профиля. Определение и качественные характеристики.

Цветные металлы и сплавы. Получение, основные технические характеристики и применение. Изделия из цветных металлов и сплавов.

Коррозия металлов и способы защиты.

Тема 8. Минеральные вяжущие вещества воздушного твердения

Определение, общие сведения и классификация.

Воздушные вяжущие вещества. Определение и разновидности.

Магнезиальные вяжущие. Каустический магнезит и каустический доломит. Сырье, основы производства, качественные характеристики и применение. Растворимое (жидкое) стекло и кислотоупорный цемент. Получение, основные характеристики и условия применения.

Гипсовые вяжущие. Сырье и основы производства. Разновидности гипсовых вяжущих: α -модификация, β -модификация, строительный, формовочный, высокопрочный, ангидритовый цемент, экстрих-гипс и др. Определение, качественные характеристики и методы их оценки. Маркировка и твердение гипсовых вяжущих. Области применения.

Известь воздушная строительная. Сырье, основы производства, основные качественные характеристики и методы их оценки. Процессы, происходящие при гашении и твердении извести. Разновидности воздушной извести (комовая, молотая, кипелка, негашеная, гашеная, гидратная, пушонка, известковое тесто, известковое молоко) и их основные характеристики. Области применения.

Тема 9. Минеральные вяжущие вещества гидравлического твердения

Определение, общие сведения и классификация. Определение соединений, способных к гидравлическому твердению. Гидравлические вяжущие вещества. Определение соединений, способных к гидравлическому твердению. Разновидности гидравлических вяжущих.

Гидравлическая известь и романцемент. Сырье, получение, основные характеристики, применение.

Портландцемент. Определение и классификация. Объемы производства портландцемента в нашей стране и за рубежом. Виды сырья и технологическая схема производства. Способы получения портландцементного клинкера. Физико-химические процессы, происходящие при обжиге сырьевой смеси. Химический и минералогический состав клинкера. Качественные характеристики основных клинкерных минералов. Основные показатели качества портландцемента: плотность, водопотребность (нормальная густота цементного теста), активность и прочность, тонкость помола, сроки схватывания, равномерность изменения объема при твердении и др. Методы оценки основных технических характеристик. Марки и классы портландцемента. Схватывание и твердение портландцемента. Твердение портландцемента во времени. Виды коррозии цементного камня и способы защиты от коррозии.

Тема 10. Разновидности цемента

Классификация и разновидности портландцемента. Быстротвердеющий (БТЦ), особобыстротвердеющий (ОБТЦ) и сверхбыстротвердеющий (СБТЦ) портландцементы. Механизм быстрого твердения таких цемента, качественные характеристики и применение. Цементы с активными минеральными добавками: пуццолановый, шлакопортландцемент и др. Виды и механизм действия активных минеральных добавок, качественные характеристики и области применения. Цементы с поверхностно-активными (органическими) добавками: пластифицированный, гидрофобный и др. Виды и механизм действия таких добавок, качественные характеристики и области применения. Декоративные портландцементы: белый и цветные. Особенности получения и качественные характеристики. Сульфатостойкие портландцементы. Разновидности, отличительные особенности и области применения. Глиноземистый, безусадочный, расширяющиеся и напрягающий цементы. Механизм безусадочного и расширяющегося твердения таких цемента, их качественные характеристики и области применения. Цементы для строительных растворов. Смешанные цементы как разновидности комплексных вяжущих веществ. Отличительные особенности, получение, качественные характеристики и основное назначение.

Транспортирование и хранение цемента.

Вопросы экологии при производстве цемента. Перспективы развития производства вяжущих веществ в Республике Беларусь и за рубежом.

Тема 11. Материалы для приготовления бетонов и строительных растворов

Основные понятия, термины и определения. Составляющие тяжелого бетона и их назначение.

Вода. Требования к воде как составляющей бетона. Оценка пригодности воды для промывки заполнителей, приготовления и поливки бетона.

Заполнители для бетона. Определение и классификация. Мелкий и крупный заполнители, природные, искусственные и из отходов промышленности. Основные технические характеристики заполнителей: истинная и насыпная плотность, плотность зерен, зерновой (гранулометрический) состав, пустотность, модуль крупности, форма зерен, характер поверхности, прочность и содержание вредных примесей. Методы оценки качественных показателей заполнителей.

Добавки в бетоны и растворы. Определение и общая классификация. Добавки, регулирующие свойства бетонной смеси (пластифицирующие, стабилизирующие, водоудерживающие, улучшающие перекачиваемость, регулирующие сохраняемость бетонной смеси, поризующие и др.), твердение

(ускоряющие, замедляющие и противоморозные) и свойства затвердевшего бетона (кольматирующие, воздухововлекающие, газообразующие, гидрофобизирующие, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре и др.). Основные характеристики и применение.

Арматурная сталь. Виды арматурных сталей и изделий для армирования железобетонных конструкций – горячекатаная (стержневая), холоднокатаная (проволочная), гладкая и периодического профиля. Определение и качественные характеристики. Неметаллическая арматура.

Фибра. Назначение и разновидности – металлическая, стеклянная, базальтовая, полипропиленовая и др.

Тема 12. Основы бетоноведения

Определение и общая классификация бетонов. Бетоны на основе гидравлических вяжущих веществ. Тяжелый цементный бетон. Составы бетона. Выбор составляющих бетона. Методика определения состава бетонной смеси.

Приготовление бетонной смеси. Классификация бетонных смесей по степени готовности. Подготовка составляющих бетонной смеси, дозировка, перемешивание, выбор способа приготовления. Общие понятия о бетоносмесителях периодического и непрерывного действия, гравитационных и принудительного перемешивания. Технологические свойства бетонной смеси. Удобоукладываемость (подвижность, жесткость и связность). Методы оценки свойств. Марки бетонной смеси по удобоукладываемости. Укладка бетонной смеси. Твердение бетона и уход за ним.

Качественные показатели затвердевшего бетона: прочность при сжатии и растяжении, морозостойкость, водонепроницаемость и др. Методы оценки свойств бетона. Марки и классы бетонов.

Тема 13. Разновидности бетонов и других композиционных материалов

Разновидности бетонов. Гидротехнический, высокопрочные, декоративные (цветные, рельефнодекоративные и др.), дорожный, для защиты от радиоактивного воздействия и др. Определение, получение и качественные характеристики.

Легкие бетоны. Определение и классификация. Бетоны на пористых заполнителях. Получение и качественные характеристики. Классы по прочности и марки по плотности легких бетонов. Поризованные легкие бетоны. Определение и качественные характеристики. Ячеистые бетоны. Определение и классификация. Пено- и газобетоны. Получение, основные качественные характеристики и применение.

Основные сведения о железобетоне и технологии изготовления сборных и монолитных конструкций. Железобетонные изделия и конструкции.

Определение и классификация. Составляющие железобетона (бетон и арматура) и их назначение. Предварительно напряженный железобетон. Способы предварительного напряжения арматуры. Защита арматуры в бетоне. Фиброармирование.

Другие искусственные каменные материалы на основе вяжущих веществ. Силикатные материалы и изделия. Определение и составы. Понятие о физико-химических процессах взаимодействия кремнезема с гидроксидом кальция при автоклавной и неавтоклавной обработке и о влиянии активности извести и дисперсности кремнеземистого компонента на эти процессы. Силикатные кирпич и камни, плотные и ячеистые силикатные бетоны. Сырье, основы производства, основные свойства и применение.

Изделия на основе гипсовых вяжущих: гипсокартонные листы, стеновые блоки, панели и плиты для перегородок, панели оснований пола, вентиляционные блоки, санитарно-технические кабины и другие изделия. Получение и основные качественные характеристики.

Асбестоцементные изделия. Составляющие асбестоцемента и их назначение. Разновидности асбестоцементных изделий. Получение и качественные характеристики. Заменители асбеста.

Изделия на основе магнезиальных вяжущих: магнолит, ксилолит, фибролит, стекломагнезитовый лист и др. Получение и основные качественные характеристики.

Тема 14. Строительные растворы

Строительные растворы. Определение и классификация. Растворные смеси и их качественные характеристики. Методы оценки. Затвердевшие растворы и их качественные показатели. Разновидности растворов (кладочные, монтажные, штукатурные, декоративные, акустические, жидкие обои и др.). Составы растворов и их определение.

Сухие строительные смеси. Определение, классификация, составы, получение и назначение.

Тема 15. Органические вяжущие вещества

Определение и классификация.

Битумы (природные и искусственные). Получение, основные качественные показатели, методы их оценки и классификация. Маркировка и применение.

Дегти. Получение, классификация, основные качественные характеристики и назначение.

Асфальтовые и дегтевые бетоны и растворы. Получение, составы, основные качественные характеристики и назначение.

Определение и классификация полимеров. Сырье и получение. Мономеры, олигомеры, полимеры (природные, искусственные и синтетические,

полимеризационные и поликонденсационные, термопластичные и терморезистивные), сополимеры, гомополимеры. Определение, основные качественные характеристики и назначение. Разновидности полимеров для получения строительных материалов (полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, полистирол, полиацетат, полиакрилаты, фенолоальдегидные, карбамидные, эпоксидные, полиуретановые, кремнийорганические, каучукоподобные и др.). Получение, качественные характеристики и области применения.

Минеральные и органические добавки для регулирования свойств вяжущих. Смешанные и модифицированные вяжущие. Получение, основные качественные характеристики и назначение.

Тема 16. Полимерные композиционные материалы и изделия

Определение и классификация композиционных материалов. Общие сведения о пластмассах. Определение и составы. Ненаполненные, наполненные и газонаполненные пластмассы. Составляющие пластмасс (связующие, наполнители, пластификаторы, отвердители, стабилизаторы) и их назначение. Принципы создания полимерных композиционных материалов. Основы производства, основные технические характеристики и методы их оценки.

Материалы для покрытия полов на основе полимеров: рулонные, листовые и монолитные бесшовные. Линолеумы: искусственный (напольное покрытие) и натуральный. Определение и составы. Качественные характеристики натурального линолеума. Разновидности искусственных напольных покрытий (гомогенный и гетерогенный, бытовой, полукommerческий и коммерческий). Сырье, способы производства, качественные характеристики и области применения.

Ковровые покрытия (ковролин). Определение и структура. Сырьевые материалы. Натуральные и искусственные (синтетические) волокна. Способы изготовления ковровина. Качественные характеристики и области применения.

Плиточные материалы для покрытия пола: модульные, дизайн-плитка и др. Сырье, изготовление и основные качественные характеристики.

Монолитные бесшовные полы: тонкослойные (окрасочные), наливные, (самонивелирующиеся), высоконаполненные и др. Технология и основные качественные характеристики

Отделочные и конструкционно-отделочные материалы и изделия. Определение и классификация (по форме, назначению, виду основного сырья, структуре, степени готовности, показателям внешнего вида и др.). Рулонные, листовые, плиточные и погонажные архитектурно-строительные изделия. Разновидности. Сырье, получение, основные качественные характеристики и области применения.

Конструкционные материалы. Полимербетоны, стеклопластики и т.п. Получение, качественные характеристики и назначение.

Трубы и санитарно-технические изделия. Разновидности. Сырье, качественные характеристики и области применения.

Тема 17. Теплоизоляционные материалы и изделия

Теплоизоляционные материалы и изделия. Определение и общие сведения. Теплопередача в зданиях и сооружениях – теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Структура теплоизоляционных материалов и основные принципы ее формирования. Классификация, в том числе по средней плотности и прочности, марки.

Неорганические теплоизоляционные материалы. Минеральная вата (каменная, стеклянная и шлаковата) – сырье, получение, основные качественные характеристики и применение. Преимущества и недостатки минеральной ваты, как теплоизоляционного материала. Другие виды теплоизоляционных материалов из неорганического сырья – ячеистые бетоны, пеностекло, перлит, вермикулит, керамзит. Основные качественные характеристики и области применения.

Органические теплоизоляционные материалы и изделия – сырье и классификация. Ячеистые пластмассы. Пено- и поропласты. Механизм получения пористой структуры. Разновидности: пенополистирол (экспандированный, экструдированный), полиуретановые и полиизоциануратные пенопласты, пеноизол, вспененный полиэтилен и другие – получение, основные качественные характеристики и области применения. Другие разновидности теплоизоляционных изделий из органического сырья (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, фибролит, арболит, войлочные изделия) – технические характеристики и области применения.

Общие сведения о комбинированных теплоизоляционных изделиях. Способы формирования комбинированных структур. Разновидности и качественные характеристики.

Тема 18. Акустические материалы и изделия

Акустические материалы и изделия – определение, назначение и общие сведения о звуковых волнах и шумах (воздушном, структурном, ударном). Классификация акустических материалов по назначению, внешнему виду, строению. Особенности строения акустических материалов и изделий. Звукоизоляционные материалы – требования, разновидности и применение. Физическая сущность звукоизолирующих материалов. Общие технические требования.

Звукопоглощающие материалы: особенности их структуры, разновидности, получение, качественные характеристики и области применения.

Тема 19. Гидроизоляционные и кровельные материалы и изделия

Гидроизоляционные и кровельные материалы и изделия – определение, назначение и классификация. Вязко-пластичные материалы. Общие све-

дения о мастиках, эмульсиях, пастах и праймерах. Способы получения и свойства. Классификация мастик в зависимости от назначения, состава вяжущего, способа изготовления и применения. Общие технические требования к мастикам. Разновидности, качественные характеристики и области применения.

Рулонные и пленочные материалы – определение, классификация и общие технические требования. Битумные и дегтевые рулонные материалы – качественные характеристики и области применения. Битумно-полимерные рулонные материалы. Разновидности, составы, структура, качественные характеристики и области применения. Полимерные материалы (пленки, мембраны). Классификация по составу и назначению. Разновидности, качественные характеристики и области применения.

Штучные материалы и изделия – определение и классификация. Кровельная черепица – разновидности (керамическая, цементно-песчаная, полимер-песчаная, битумная, металлическая, композитная и др.). Составы, структура, профиль, качественные характеристики и применение.

Листовые материалы и изделия. Металлические (стальные, медные, алюминиевые и др.) – фальцевая кровля, профилированные листы и кровельные панели. Качественные характеристики и применение. Материалы на основе полимеров. Разновидности, составы, структура, качественные характеристики и применение. Асбестоцементные, сланцевые, светопрозрачные и другие кровельные материалы и изделия.

Подкровельные пароизоляционные, ветроизоляционные и гидроизоляционные материалы. Определение, разновидности и качественные характеристики.

Тема 20. Герметизирующие и уплотнительные материалы

Герметизирующие материалы и изделия – определение, классификация и общие технические требования по эластичности, прочности на разрыв, адгезии, устойчивости, жизнеспособности и др.

Отверждающиеся герметики. Разновидности: силиконовые, акриловые, акрил-силиконовые, полиуретановые, полисульфидные и др. Составы, механизм отверждения, качественные характеристики и области применения.

Нетвердеющие герметики – мастичные, ленточные и профильные. Разновидности, составы, качественные характеристики и области применения.

Высыхающие герметики. Разновидности, качественные характеристики и применение.

Уплотнительные материалы – классификация и разновидности. Качественные характеристики.

Тема 21. Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы. Определение, назначение и классификация. Структура и состав лакокрасочного покрытия. Основные компоненты лакокрасочных составов и их назначение.

Пленкообразующие вещества – разновидности (органические, неорганические) и качественные характеристики. Пигменты и красители – определение, разновидности и качественные характеристики (дисперсность, укрывистость, интенсивность, маслосъемкость, токсичность). Технологические добавки – аддитивы, колоранты, тонеры, колеры, растворители, разбавители, разжижители, отвердители, пластификаторы, сиккативы, наполнители.

Механизм отверждения и качественные характеристики лакокрасочных материалов и покрытий (вязкость; степень перетира; укрывистость; жизнеспособность; время и степень отверждения; содержание нелетучих веществ; твердость и эластичность пленки; прочность пленки при изгибе, растяжении и ударе; адгезия, внешний вид, цвет, блеск, плотность, атмосферостойкость, светостойкость, проницаемость, стойкость к истиранию, безопасность и долговечность).

Материалы для подготовки поверхности к отделке: грунтовки, шпатлевки, замазки, порозаполнители. Назначение, разновидности, составы и качественные характеристики.

Материалы основного лакокрасочного слоя: лаки, эмали и краски. Определение и разновидности. Водоразбавляемые краски (клеевые, силикатные, водно-дисперсионные) – составы, качественные характеристики и области применения. Масляные, алкидные, акриловые, силиконовые, полиуретановые, эпоксидные, порошковые, фактурные и другие виды красок. Составы, основные качественные характеристики и области применения. Обозначение лакокрасочных составов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
очная (дневная) форма получения высшего образования

Номер темы	Название темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1 семестр							
1	Строение и свойства строительных материалов	6					6	
	Лабораторная работа № 1. «Основные физические свойства строительных материалов и изделий»				4		2	
	Лабораторная работа № 2. «Основные механические свойства строительных материалов и изделий»				4		2	
2	Природные каменные материалы	4					4	
	Лабораторная работа № 3. « Природные каменные материалы»				4		2	
3	Основы древесиноведения	4					4	
	Лабораторная работа № 4. «Определение физико-механических характеристик древесины»				4		2	Контрольная работа
4	Материалы и изделия на основе древесины	4					6	
5	Строительная керамика	4					4	
	Лабораторная работа № 5. «Стеновые материалы (керамический и силикатный кирпич)»				6		2	
6	Стекло, стеклянные и стеклокристаллические изделия	4					6	
7	Металлические материалы и изделия	4					4	
	Лабораторная работа № 6. «Строительные металлы»				4		2	
8	Минеральные вяжущие вещества воздушного твердения	4					2	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Лабораторная работа № 7. «Гипсовые вяжущие вещества»				4		2	
	Лабораторная работа № 8. «Известь воздушная строительная»				4		2	
	Итого за семестр	34			34		52	экзамен
	2 семестр							
9	Минеральные вяжущие вещества гидравлического твердения	8					10	
	Лабораторная работа № 9. «Портландцемент»				4		2	
10	Разновидности цементов	4					10	
11	Материалы для приготовления бетонов и строительных растворов	4					4	
	Лабораторная работа № 10. «Мелкий заполнитель для бетонов и строительных растворов»				4		2	
	Лабораторная работа № 11. «Крупный заполнитель для бетона»				4		2	
12	Основы бетоноведения	8					8	
	Лабораторная работа № 12. «Проектирование состава тяжелого бетона и определение технических свойств бетонной смеси»				4		2	
	Лабораторная работа № 13. «Испытание тяжелого бетона»				4		2	
13	Разновидности бетонов и других композиционных материалов	4					8	
14	Строительные растворы	2					6	
	Лабораторная работа № 14. «Кладочный общестроительный раствор»				4		2	
15	Органические вяжущие вещества	4					8	
	Лабораторная работа № 15. «Испытание вязкого нефтяного битума»				4		2	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	Полимерные композиционные материалы и изделия	4					6	
	Лабораторная работа № 16. «Полимерные материалы»				2		2	
17	Теплоизоляционные материалы и изделия	4					6	
	Лабораторная работа № 17. «Теплоизоляционные материалы»				4		2	
18	Акустические материалы и изделия	2					8	
19	Гидроизоляционные и кровельные материалы и изделия	2					8	
20	Герметизирующие и уплотнительные материалы	2					8	
21	Лакокрасочные материалы	2					8	
	Итого за семестр	50			34		116	экзамен
	Всего аудиторных часов		152					

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
заочная форма получения высшего образования

Номер темы	Название темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 семестр								
1	Строение и свойства строительных материалов	2					20	
	Лабораторная работа № 1. «Основные физические свойства строительных материалов и изделий»				2		2	
	Лабораторная работа № 2. «Основные механические свойства строительных материалов и изделий»				2		2	
2	Природные каменные материалы	2					16	
3	Основы древесиноведения	2					16	
4	Материалы и изделия на основе древесины						16	
5	Строительная керамика	2					18	
6	Стекло, стеклянные и стеклокристаллические изделия	2					16	
7	Металлические материалы и изделия	2					18	
8	Минеральные вяжущие вещества воздушного твердения	2					18	
9	Минеральные вяжущие вещества гидравлического твердения	2					18	РГР
	Лабораторная работа № 9. «Портландцемент»				4		2	
10	Разновидности цементов						8	
	Итого за семестр	16			8		170	экзамен

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2 семестр							
11	Материалы для приготовления бетонов и строительных растворов						10	
12	Основы бетоноведения	2					20	Контрольная работа
	Лабораторная работа № 12. «Проектирование состава тяжелого бетона и определение технических свойств бетонной смеси»				4		2	
	Лабораторная работа № 13. «Испытание тяжелого бетона»				2		2	
13	Разновидности бетонов и других композиционных материалов	2					10	
14	Строительные растворы						10	
15	Органические вяжущие вещества	2					10	
16	Полимерные композиционные материалы и изделия						10	
17	Теплоизоляционные материалы и изделия	2					10	
	Лабораторная работа № 17. «Теплоизоляционные материалы»				2		2	
18	Акустические материалы и изделия						20	
19	Гидроизоляционные и кровельные материалы и изделия						20	
20	Герметизирующие и уплотнительные материалы						12	
21	Лакокрасочные материалы						12	
	Итого за семестр	8			8		150	экзамен
	Всего аудиторных часов				36			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Список литературы

Основная литература

1. Широкий, Г. Т. Строительные материалы и изделия : учебное пособие / Г. Т. Широкий, М. Г. Бортницкая, А. И. Сидорова. – Минск : РИПО, 2022. – 432 с.
2. Широкий, Г.Т. Строительное материаловедение / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортницкая, под общ.ред. Э.И. Батяновского.– Минск: Выш. шк., 2016. – 464 с.
3. Киреева, Ю.И. Современные строительные материалы и изделия/ Ю.И. Киреева. – Россия: Феникс, 2010. –256с.
4. Строительное материаловедение: учебное пособие для строительных специальностей вузов / А.И. Домокеева, А.В. Козлов, Е.А. Лазарева, В.М. Мещеряков, В.А. Невский, А.М. Осадченко, Е.А. Шляхова, Э.Г. Питерская, А.И. Шуйский, Г.А. Ткаченко; под общ. ред. В.А. Невский. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 571 с.
5. Бортницкая, М. Г. Строительное материаловедение. Практикум: учебно-методическое пособие: в 2 ч. / М. Г. Бортницкая, Н. С. Гуриненко, Т. А. Чистова; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Строительные материалы и технология строительства». – Минск: БНТУ, 2021.

Дополнительная литература

1. Рыбьев, И. А. Строительное материаловедение в 2 ч. Часть 1 : учебник для вузов / И. А. Рыбьев. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 275 с.
2. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: [учебное пособие для строительных специальностей вузов] / Рыбьев И. А. – Изд. 2-е, испр. – Москва: Высшая школа, 2004. – 701 с.
3. Болотских, О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний цемента /О.Н. Болотских. - Харьков : ХНАГХ, 2015. - 88 с.
4. Алимов, Л.А. Строительные материалы / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – Москва: Академия, 2012. – 320 с.
5. Технология монолитного бетонирования: учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальностям "Производство строительных изделий и конструкций", "Промышленное и гражданское строительство" / Э. И. Батяновский. – Минск: Вышэйшая школа, 2021. – 272 с.
6. Кузменков, М.И. Вяжущие вещества и технология производства изделий на их основе. /М.И. Кузменков, Т.С. Куницкая. - Минск: БГТУ, 2003.- 218 с.
7. Юхневский, П.И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов / П.И. Юхневский. – Минск: БНТУ, 2013. – 310 с.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных работ по отдельным темам;
- защита выполненных на лабораторных занятиях заданий;
- защита выполненных в рамках самостоятельной работы индивидуальных заданий;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступления студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена по дисциплине.

Тематика рефератов

1. Производство современных строительных материалов в Республике Беларусь.
2. Методы оценки прочности строительных материалов с разрушением и без разрушения образцов.
3. Исследование средств защиты древесины от влияния разрушающих факторов.
4. Механизм формирования структуры стеклянных и стеклокристаллических материалов и изделий.
5. Влияние режимов термообработки гипсового камня на физико-механические характеристики гипсового вяжущего.
6. Исследование коррозии выщелачивания цементного камня
7. Влияние неметаллических включений на коррозионную стойкость стали.
8. Современные способы повышения коррозионной стойкости черных металлов.
9. Влияние вида и содержания армирующих компонентов на деформационные и прочностные характеристики бетона.
10. Исследование механизма действия пластифицирующих добавок на формирование структуры и долговечность бетона.
11. Самоуплотняющийся бетон: история, состав, свойства, преимущества и перспективы.
12. Гидротехнический бетон. Особенности эксплуатации.

13. Мировой и отечественный опыт использования сухих строительных смесей.
14. Сухие строительные смеси: история, составы, свойства, преимущества и назначение.
15. Строение и структура полимеров.
16. Сравнение физико-механических свойств материалов для производства труб.
17. Долговечность гидротехнического бетона.
18. Факторы, влияющие на водонепроницаемость бетона.
19. Современные теплоизоляционные материалы.
20. Фибробетон. Особенности и перспективы применения.

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы студентов

1. Влияние минералогического, химического составов, текстуры и структуры на свойства горных пород.
2. Приведите характеристику структурных элементов древесины, видимых невооруженным глазом и под микроскопом.
3. Проанализируйте влияние различных видов влаги в древесине на ее физико-механические свойства.
4. Охарактеризуйте породы древесины, применяемые в строительстве.
1. Перечислите разновидности кирпича и камней керамических и силикатных. Опишите их производство и приведите основные технические характеристики.
2. Приведите разновидности керамических изделий для внутренней и внешней облицовки зданий и основные технические характеристики.
3. Приведите разновидности керамических канализационных труб.
4. Приведите разновидности керамических дренажных труб.
5. Перечислите разновидности листового стекла, приведите их качественные характеристики и области применения.
6. Приведите разновидности воздушной строительной извести, качественные характеристики и области применения. Какие процессы происходят при ее гашении и твердении?
7. Как влияет содержание углерода на структуру, свойства и свариваемость сталей?
8. Приведите разновидности чугунных труб.
9. Перечислите материалы для приготовления тяжелого бетона и сделайте оценку их качества.
10. Проанализируйте влияние влажности, высоких и низких температур на процесс твердения различных видов цемента.

11. Перечислите и проанализируйте требования, предъявляемые к воде для затворения растворных и бетонных смесей.
12. Перечислите и охарактеризуйте требования, предъявляемые к мелкому и крупному заполнителю для бетона.
13. Опишите основные свойства бетонной смеси и факторы определяющие ее удобоукладываемость.
14. Приведите анализ влияния различных факторов на прочность бетона.
15. Приведите разновидности железобетонных труб.
16. Приведите и охарактеризуйте возможные способы транспортирования бетонных смесей на различные расстояния.
17. Влияние условий твердения на качество бетона.
18. Опишите причины коррозии бетона в сооружениях и приведите меры защиты.
19. Перечислите и охарактеризуйте различные виды полимерных напольных покрытий.
20. Сделайте сравнительный анализ труб из чугуна, железобетона, керамики и полимеров.
21. Проанализируйте способы образования пористой структуры теплоизоляционных материалов и изделий и приведите сравнительный анализ их качественных характеристик.
22. Какие материалы называют акустическими, и по каким признакам их классифицируют? Приведите основные виды, особенности их структуры и технические характеристики.
23. Приведите разновидности полимерных труб.
24. Какие виды связующих используют в лакокрасочных составах? Приведите их составы, качественные характеристики и применение.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных заданий (задач);
- выполнение патентно-информационного поиска;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам;
- составление тематической подборки литературных источников, интернет-источников;
- проработка тем (вопросов), вынесенных на самостоятельное изучение.