

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Строительные материалы и изделия»

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лабораторные работы (практикум)

*Рекомендовано Центром учебной книги и средств обучения Национального
института образования в качестве пособия для студентов строительных
специальностей высших учебных заведений*

М и н с к 2 0 0 3

УДК 691.

В лабораторном практикуме с элементами НИРС приведены вопросы для подготовки к выполнению и контрольные вопросы для защиты лабораторных работ, общие сведения о свойствах строительных материалов, подлежащих испытанию и исследованию; приборы, образцы и материалы; методика проведения испытаний; формы записи полученных результатов по физико-механическим и технологическим свойствам природных и искусственных каменных материалов, минеральных и органических вяжущих, теплоизоляционных полимерных материалов, а также тематика научно-исследовательских работ с использованием стандартных и современных неразрушающих методов исследований. Даны практические задачи по строительным материалам.

Составители:

Г.С.Галузо, А.Э.Змачинский, Г.Т.Широкий

Рецензенты:

кафедра «Технология бетона и строительных материалов»
Брестского государственного технического университета;
зав. кафедрой химической технологии вяжущих материалов,
д-р техн. наук, профессор М.И.Кузьменков
(Белорусский государственный технологический университет)

© Галузо Г.С., Змачинский А.Э.,
Широкий Г.Т., составление, 2003.

В в е д е н и е

Производство строительных материалов и изделий и строительство являются одними из самых материалоемких и энергопотребляющих отраслей народного хозяйства. Наряду с большой номенклатурой традиционных строительных материалов в настоящее время появились новые, современные их виды.

При контроле качества материалов при их производстве и применении важное значение имеют навыки правильного лабораторного контроля характеристик исходных материалов и конечной продукции в целом.

Лабораторные работы составлены в соответствии с учебной программой по дисциплине «Строительные материалы» для студентов строительных специальностей высших учебных заведений. Издание содержит 17 лабораторных работ, в каждой из которых – от 5 до 7 заданий; контрольные вопросы для самостоятельной подготовки и защиты выполненных лабораторных работ; перечень необходимых приборов, оборудования; описание методики выполнения работы; формы записи результатов работы и их анализ; нормативные документы и рекомендуемая литература.

В ходе выполнения лабораторных работ студенты знакомятся с методиками определения основных физико-механических и технологических свойств строительных материалов, учатся определять их важнейшие характеристики. Лабораторные работы содержат элементы исследований. Их выполнение способствует повышению познавательной активности студентов, учит анализировать полученные результаты, развивает их творческое мышление и профессиональные способности. После лабораторных работ в издании приведены примерная тематика научно-исследовательских работ и задачи практического характера для закрепления полученных в процессе выполнения лабораторных работ знаний.

Лабораторные работы подготовлены на основе методических указаний к лабораторным работам, разработанных сотрудниками кафедры «Строительные материалы» за период с 1980 по 2003-й год (доц. В.А.Богданом, В.А.Балашевичем, Г.С.Галузо, А.Э.Змачинским, Г.Т.Широким, ст. препод. Г.С.Горбацевич, В.И.Коваженковой, С.Г.Соболевской).

Авторы предлагаемого лабораторного практикума переработали и дополнили имеющиеся работы, подготовили их в едином методическом изложении с учетом современных требований.

Лабораторная работа № 1

ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами, аппаратурой, оборудованием, методикой проведения испытаний по определению физических и механических свойств.
2. Определить основные физико-механические свойства отдельных видов строительных материалов.
3. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

1.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация свойств строительных материалов.
2. Какие свойства относятся к физическим?
3. Какие свойства относятся к механическим?
4. Что такое структура материала?
5. Какие физические свойства относятся к структурным?
6. Какие физические свойства зависят от структуры материала?
7. Какие свойства материала относятся к гидрофизическим?
8. Какие свойства материала относятся к теплофизическим?

1.2. Задания к лабораторной работе

- Задание 1. Определение средней плотности (плотности материала).
- Задание 2. Определение истинной плотности (плотности вещества).
- Задание 3. Определение пористости строительных материалов.
- Задание 4. Определение насыпной плотности и пустотности.
- Задание 5. Определение водопоглощения по массе и объему и расчет закрытой пористости материала.
- Задание 6. Определение предела прочности при сжатии.
- Задание 7. Определение ударной прочности (сопротивления удару).
- Задание 8. Определение истираемости искусственных каменных материалов.

1.3. Общие сведения о свойствах строительных материалов

Строительные материалы и изделия характеризуют и оценивают по их свойствам. *Свойство* – это характеристика материала или изделия, проявляющаяся в процессе переработки, применения и эксплуатации. *Качество* строительных материалов определяют по их свойствам. Свойства материалов оценивают числовыми показателями.

Долговечность существующих и строящихся зданий и сооружений во многом определяется качеством применяемых при строительстве материалов и важнейшими их свойствами, которые обеспечивают надежность в процессе эксплуатации объекта.

Контроль качества строительных материалов проводят при их производстве, применении и в эксплуатационных условиях путем проведения испытаний по стандартным методикам, изложенным в нормативных документах (СТБ, ГОСТ, ТУ и др.). Соблюдение принятых методик испытаний строительных материалов является обязательным. Несоблюдение этих методик приводит к значительному разбросу полученных при испытании данных, неправильным выводам и предложениям по применению материалов и, как следствие, – к уменьшению долговечности зданий и сооружений, построенных из этих материалов.

Все свойства строительных материалов разделяют на две большие группы:

1) эксплуатационно-технические и технологические (функциональные);

2) архитектурно-художественные (эстетические).

Эксплуатационно-технические свойства характеризуют функциональную пригодность к применению и эксплуатации строительных материалов и изделий, а также позволяют оценивать их технологичность как при изготовлении, так и при укладке.

К этим свойствам относятся: 1) физические; 2) механические; 3) химические; 4) биологические; 5) технологические; 6) комплексные.

Физические свойства классифицируют на:

1) структурные, характеризующие структуру материала (средняя и истинная плотность, пористость, пустотность);

2) гидрофизические, характеризующие отношение материала к воде (водопоглощение, влажность, гигроскопичность, влаго- и водостойкость, морозостойкость, влагоотдача и др.);

3) теплофизические, характеризующие воздействие тепла на материал (теплопроводность, огнестойкость и др.).

Механические свойства определяют отношение материала к разрушающему и деформирующему действию внешних механических нагрузок (прочность, твердость, истираемость, упругость, пластичность, хрупкость, сопротивление удару и др.).

Химические свойства характеризуют способность материала к химическим превращениям и стойкость против химической коррозии.

Биологические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему действию растительных и живых микроорганизмов (биостойкость).

Технологические свойства характеризуют способность материала подвергаться обработке (дробимость, шлифуемость, удобоукладываемость и др.).

Комплексные свойства характеризуют способность материала долго и надежно сохранять свои качества в эксплуатационных условиях (долговечность, надежность, совместимость).

Архитектурно-художественные свойства – это форма, размеры, цвет, блеск, текстура.

В предлагаемой лабораторной работе определяются основные физико-механические свойства отдельных видов строительных материалов.

1.4. Физические свойства строительных материалов

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ (ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛА)

Средняя плотность – это масса единицы объема материала в естественном состоянии (с пустотами и порами). Она вычисляется путем деления массы образца на его объем. Среднюю плотность различных материалов сравнивают в сухом состоянии. Она изменяется в пределах от $5 \dots 10 \text{ кг/м}^3$ (для поропластов) до 7780 кг/м^3 (для стали).

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью измерения 1 и 0,01 г.
2. Линейки измерительные или штангенциркуль.
3. Образцы 4...5 видов материалов:
 - 1) полистирольного пенопласта (кубы с ребром 50 мм);
 - 2) пеностекла строительного (70x70x70 мм);
 - 3) древесины (20x20x30 мм);
 - 4) кирпича керамического;
 - 5) гранита (50x50x50 мм).

Методика испытаний

Образцы, 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 до 0,1 мм, если величина замера не превышает 100 мм, и с точностью до 1 мм, если величина замера – свыше 100 мм. По этим линейным размерам вычисляют объем в естественном состоянии.

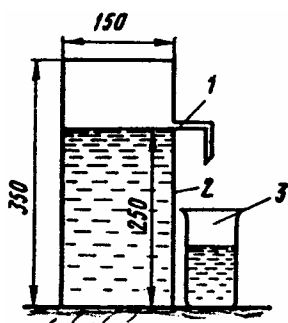


Рис. 1.1. Объеммер:
1 – трубка; 2 – цилиндр;
3 – стакан

Объем крупных образцов неправильной формы определяют по объему (массе) жидкости, вытесненной погруженным в объеммер образцом (рис. 1.1).

Рабочая жидкость (вода, бензин, керосин, спирт) не должна взаимодействовать с образцом. Следует создать такие условия, при которых жидкость вытесняется всем объемом образца и исключается возможность ее поглощения порами материала. Это обеспечивается двумя способами: поверхность покрывают слоем парафина, препятствующим проникновению жидкости внутрь образца в момент проведения испытания, либо предварительно насыщают образец жидкостью, чтобы во время опыта поглощения жидкости практически не наблюдалось.

Среднюю плотность вычисляют в кг/м³ на основании полученных данных по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V_e}, \quad (1.1)$$

где m – масса образца, кг;

V_e – объем в естественном состоянии, м³.

Результаты вычисления округляют до целого числа.

Результаты испытаний

Результаты определения заносят в табл. 1.1 по предлагаемой форме.

Т а б л и ц а 1.1

Средняя плотность строительных материалов

№ пп	Показатели	Наименование материала				
1	Масса сухого образца, кг					
2	Масса воды, вытесненной образцом неправильной формы					
3	Геометрические размеры образца правильной формы, м					
4	Объем образца, м ³					
5	Средняя плотность, кг/м ³					

Заключение

В заключении необходимо сделать анализ полученных результатов.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ (ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА)

Истинная плотность – это масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, т. е. без пор и пустот, трещин и других полостей, учитывающая только объем, занятый веществом, из которого состоит материал. Истинная плотность есть физическая

константа вещества, из которого состоит материал. Для строительных материалов она изменяется в пределах от 900 (для полимеров) до 7980 кг/м³ (для стали). Для материалов и изделий, имеющих одинаковый вещественный состав, истинная плотность одинакова (например, керамический кирпич и керамзит). В табл. 1.2 приведены численные значения истинной плотности отдельных строительных материалов.

Т а б л и ц а 1.2

Средняя и истинная плотность отдельных строительных материалов

№ пп	Наименование материала	Плотность, кг/м ³	
		средняя	истинная
1	Древесина (сосна)	400...500	1530
2	Древесноволокнистая плита	200	1500
3	Полимерный материал – стекло-пластик	2000	2000
4	Вспененный полимер – мипора	10...20	1200
5	Стекло оконное	2550	2550
6	Пеностекло	150...300	2550
7	Кирпич керамический	1600...1900	2600...2700
8	Бетон тяжелый	2400	2600
9	Бетон ячеистый	500	2580
10	Природный камень – гранит	2500...2900	2700...3000
11	Песок кварцевый	1500...1700	2500...2600

Истинную плотность определяют для того, чтобы вычислить пористость материала, зная его среднюю плотность.

Чтобы определить истинную плотность, необходимо высушить и измельчить пробу материала. Чем больше степень измерения, тем плотнее расположены частицы в объеме и тем меньше ошибка эксперимента.

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью взвешивания до 0,1 г.
2. Прибор Ле-Шателье.

3. Шкаф сушильный.
4. Стаканчик для взвешивания.
5. Эксикатор.
6. Дистиллированная вода или керосин.
7. Навески измельченных материалов (кирпича керамического и силикатного, песка кварцевого).

Методика испытаний

Подготавливают пробу измельченного материала массой 150...200 г, всыпают в бюкс для взвешивания, высушивают до постоянной массы и 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.

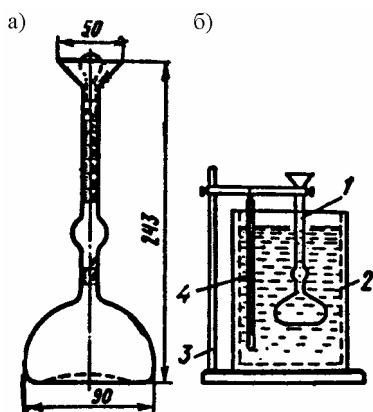


Рис. 1.2. Прибор Ле-Шателье (а) и вид прибора в рабочем состоянии (б):

- 1 – объеммер; 2 – сосуд с водой;
- 3 – штатив; 4 – термометр

Определение истинной плотности проводят в следующей последовательности. Прибор Ле-Шателье (рис. 1.2) заполняют водой до нижней отметки, при этом уровень воды определяют по нижнему мениску.

Прибор Ле-Шателье представляет собой стеклянную колбу вместимостью 120...150 см³ с узким высоким горлом и расширением в средней его части. На горле колбы ниже уширения нанесена метка, а выше – шкала с делениями ценой 0,1 см³. Объем между нижней и верхней метками

шкалы равен 20 см³. Точного заполнения можно добиться, если залить воду с небольшим избытком и затем отсосать ее фильтровальной бумагой. После заполнения свободную от жидкости часть прибора протирают тампоном из фильтровальной бумаги. Навеску порошка через воронку прибора ложечкой всыпают небольшими порциями до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до

риски с делением 20 мл или с другим делением в пределах верхней градуировочной шкалы прибора. Прибор рекомендуется слегка встряхнуть для удаления пузырьков воздуха, попавшего в жидкость вместе с порошком. Остаток порошка с бюксом взвешивают.

Истинную плотность ρ в г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho = \frac{m - m_1}{V}, \quad (1.2)$$

где m – масса высушенной навески порошка, г;

m_1 – масса остатка, г;

V – объем воды, вытесненной порошком, см³.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.3 и сравнивают полученные опытные данные со справочными, приведенными в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.3

Результаты определения истинной плотности ускоренным методом

Определения	Кирпич		Песок
	керамический	силикатный	кварцевый
Масса, г: навески порошка остатка порошка, вы- сыпанного в прибор			
Объем в см ³ порошка, высыпанного в прибор			
Истинная плотность: г/см ³ кг/м ³			

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРИСТОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методика испытаний

Под **пористостью** материала понимают степень заполнения его объема порами. Это – одна из наиболее важных характеристик материала, от которой зависят такие его эксплуатационные свойства, как теплопроводность, звукопроводность, водопоглощение, водонепроницаемость, прочность и морозостойкость.

Природные каменные материалы (гранит, габбро, диабаз, кварцит) имеют небольшую пористость. Пористость искусственных строительных материалов зависит от технологии их получения. Абсолютно плотные материалы, такие как стекло и металлы, имеют нулевую пористость, а следовательно, обладают высокой плотностью, прочностью, морозостойкостью, тепло- и звукопроводностью.

Искусственные каменные материалы (кирпич, легкие бетоны) имеют значительную пористость, и чем эта величина больше, тем лучше их теплоизоляционные свойства.

В общем виде пористость материала – это отношение объема пор в нем (V_n) к объему материала в естественном состоянии (V_e), выражаемое в %:

$$П = \frac{V_o}{V_e} \quad (1.3)$$

Объем, который занимают поры в материале, можно выразить как разность между объемом материала (V_e) и объемом вещества (V_s). Тогда пористость ($П$) выразится формулой

$$П = \frac{V_e - V_s}{V_e}. \quad (1.4)$$

Так как $V_e = \frac{m}{\rho_0}$ и $V_s = \frac{m}{\rho}$, то, подставив значения V_e и V_s в формулу (1.4), после преобразования получим расчетную формулу для определения пористости материала:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100, \% . \quad (1.5)$$

Пористость керамического и силикатного кирпича рассчитывают, используя данные задания 1 и 2, а также справочные данные, приведенные по истинной плотности гранита, древесины, ячеистого бетона и полистиролпенопласта.

Результаты испытаний

Результаты расчетов сводят в табл. 1.4.

Т а б л и ц а 1.4

Результаты вычисления пористости строительных материалов

№ пп	Наименование материала	Плотность, кг/м ³		Порис- тость, %
		средняя	истинная	
1	Кирпич керамический			
2	Кирпич силикатный			
3	Гранит			
4	Древесина (сосна)			
5	Ячеистый бетон			
6	Полистиролпенопласт			

Заключение

Сделать анализ полученных при расчетах результатов.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И ПУСТОТНОСТИ

Сыпучие материалы (щебень, гравий, песок, цемент и др.) характеризуются насыпной плотностью и пустотностью.

Насыпная плотность (ρ_n) – это масса единицы объема сыпучего материала вместе с порами и межзерновыми пустотами. Ее определяют как частное от деления массы рыхлонасыпного материала (m) на объем (V_n), занятый материалами в неуплотненном состоянии:

$$\rho_n = \frac{m}{V_n}. \quad (1.6)$$

Насыпная плотность влажного сыпучего материала будет меньше, чем сухого.

Пустотность ($V_{пуст}$) – это объем пустот и открытых пор в объеме сыпучего материала, выражаемый в процентах:

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z}\right) \cdot 100\%, \quad (1.7)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³;
 ρ_z – плотность зерен, кг/м³.

Приборы и материалы

1. Песок кварцевый.
2. Щебень гранитный, фр. 5...10 мм.
3. Весы настольные лабораторные.
4. Шкаф сушильный.
5. Цилиндры вместимостью 1 и 5 л.
6. Стандартная воронка для песка.

Методика испытаний

Насыпную плотность сыпучих материалов определяют, измеряя их объем мерными цилиндрическими сосудами вместимостью от 1 до 50 л. За объем материала принимают объем сосуда.

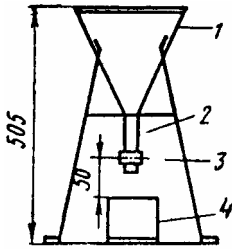


Рис. 1.3. Стандартная воронка:
 1 – корпус; 2 – трубка;
 3 – задвижка; 4 – мерный сосуд

Для мелкозернистых материалов (с размером зерен менее 5 мм) используют мерный сосуд вместимостью 1 л. Мерный цилиндр предварительно взвешивают и насыпают в него с помощью стандартной воронки (рис.1.3) кварцевый песок. Стандартная воронка представляет собой металлический усеченный конус 1, который заканчивается трубкой 2 с задвижкой 3. Под

трубкой устанавливают заранее взвешенный цилиндр 4. В воронку насыпают сухой песок, открывают задвижку, заполняют цилиндр с избытком, а затем деревянной или металлической линейкой, держа ее наклонно и прижимая к краям цилиндра, срезают излишек материала. При этом следует соблюдать условие, чтобы цилиндр был неподвижным, так как при толчках сыпучий материал может уплотниться, а следовательно, увеличится его плотность.

Крупнозернистый материал (щебень, гравий) насыпают с высоты 10 см без последующего уплотнения в предварительно взвешенный сосуд вместимостью 5 л (для фракции щебня от 5 до 10 мм) также с излишком. Образовавшийся над верхом сосуда конус снимают стальной линейкой вровень с краями сосуда движением к себе, от себя, влево и вправо.

Сосуд с песком или щебнем взвешивают с точностью до 1 г.

Насыпную плотность песка или щебня ρ_n , кг/м³, вычисляют с точностью до 10 кг/м³ по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (1.8)$$

где m – масса мерного сосуда, кг;

m_1 – масса мерного сосуда с песком (щебнем), кг;

V – вместимость мерного сосуда, м³.

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию песка (щебня).

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.5 и вычисляют пустотность испытанных материалов, используя данные табл. 1.4. Плотность зерен гранитного щебня для вычисления пустотности принимается 2530 кг/м³.

Т а б л и ц а 1.5

Наименование определений	Вид материала	
	кварцевый песок	гранитный щебень
Масса мерного сосуда, кг		
Вместимость мерного со- суда, м ³		
Масса сосуда с материала- ми, кг		
Насыпная плотность, кг/ м ³		
Пустотность, %		

Заключение

Сравнить результаты испытаний по насыпной плотности, плотности зерен материалов, пустотности и сделать вывод.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПО МАССЕ И ОБЪЕМУ И РАСЧЕТ ЗАКРЫТОЙ ПОРИСТОСТИ МАТЕРИАЛА

Строительные материалы в эксплуатационных условиях или при хранении могут поглощать влагу. При этом их свойства существенно изменяются. С увеличением количества влаги в материале например, повышается его теплопроводность, изменяется средняя плотность, прочность, водо- и морозостойкость.

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

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (1.9)$$

где m_1 – масса материала в естественно-влажностном состоянии, г;
 m_2 – масса материала, высушенного до постоянной массы, г.

Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду при непосредственном с ней соприкосновении. Водопоглощение оценивают количеством воды, поглощенной образцом из материала при выдерживании его в воде в течение заданного времени, выраженным в %. Поглощенное образцом количество воды, отнесенное к его массе в сухом состоянии, – это *водопоглощение по массе* (B_m), а отнесенное к его объему – *водопоглощение по объему* (B_v).

Водопоглощение B_m и B_v определяют в процентах по следующим формулам:

$$B_m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100; \quad (1.10)$$

$$B_v = \frac{m_1 - m_2}{V \cdot \rho} \cdot 100, \quad (1.11)$$

где m_1 – масса материала в насыщенном водой состоянии, г;

m_2 – масса сухого материала, г;

V – объем материала в сухом состоянии;

ρ – плотность воды, равная 1 г/см³.

Соотношение между водопоглощением по массе и по объему есть **средняя плотность материала в сухом состоянии**:

$$\frac{B_v}{B_m} = \frac{m_1 - m_2}{V} : \frac{m_1 - m_2}{m_2} = \frac{m_2}{V} = \rho_0. \quad (1.12)$$

Таким образом, если известны значения водопоглощения по массе и средняя плотность, можно найти численное значение в % водопоглощения по объему:

$$B_v = B_m \cdot \rho_0 / \rho_s. \quad (1.13)$$

По количеству воды, поглощенной материалом, т. е. по водопоглощению по объему, можно приблизительно установить **открытую пористость** материала. Вода при насыщенном состоянии ма-

териала заполняет его мельчайшие поры и капилляры, однако часть из них остается недоступной для нее, потому что даже в порах, заполненных водой, частично остается воздух.

Отношение величины общей пористости материала (Π) к его водопоглощению по объему (B_v) характеризует **коэффициент насыщения**

$$K_{нас} = \frac{B_v}{\Pi_{общ}}. \quad (1.14)$$

Закрытая пористость определяется как разность между общей пористостью $\Pi_{общ}$ и водопоглощением по объему:

$$\Pi_z = \Pi_{общ} - B_v. \quad (1.15)$$

Приборы и материалы

1. Весы настольные лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Сосуд для насыщения образцов водой.
4. Щетка металлическая.
5. Кирпич керамический (3 шт.).

Методика испытаний

Образцы керамических кирпичей высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105...110°C и записывают массу сухих образцов. Образцы охлаждают до комнатной температуры и 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 их вынимают из воды, обтирают влажной мягкой тканью и немедленно взвешивают каждый. При этом массу воды, вытекшей из пор образца на чашку весов, включают в массу образцов.

Результаты испытаний

Результаты определения заносят в табл. 1.6. Определяют по формулам водопоглощение по массе, зная массу сухого и насыщенного водой материала, и водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе и среднюю плотность (из табл. 1.1 задания 1). Вычисляют коэффициент насыщения пор по формуле (1.14), используя данные по пористости (табл. 1.3, задание 3).

Т а б л и ц а 1.6

Результаты определения водопоглощения

Показатели	Образцы			Среднее из трех
	1	2	3	
Масса сухого кирпича m_2 , г				
Масса насыщенного водой кирпича m_1 , г				
Водопоглощение по массе B_m , %				
Водопоглощение по объему B_v , %				
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$				
Закрытая пористость, %				

Заключение

Испытанный керамический кирпич имеет водопоглощение по массе – ... %, по объему – ... %, закрытую пористость – ... %, общую пористость – ... %.

1.5. Механические свойства строительных материалов

Способность материалов сопротивляться разрушению или деформированию под воздействием внешних сил характеризуют механические свойства, к которым относятся прочность, сопротивление удару, истираемость, твердость, упругость, пластичность и хрупкость.

Прочность – это свойство материалов сопротивляться разрушению под воздействием внутренних напряжений, возникающих от

внешних нагрузок и других факторов (температур, влажностных деформаций, перекристаллизации). При действии различных нагрузок на здания и сооружения в материалах возникают внутренние напряжения сжатия, растяжения, изгиба, среза, кручения и др. Поэтому прочность является одним из важнейших свойств большинства строительных материалов, особенно конструкционных.

Прочность строительных материалов оценивают **пределом прочности** – напряжением, соответствующим максимальной нагрузке в момент разрушения материала.

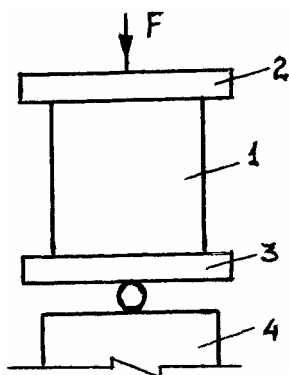


Рис. 1.4. Схема испытания на сжатие:

- 1 – образец-куб; 2 – верхняя плита пресса; 3 – нижняя шаровая плита пресса;
- 4 – поршень пресса

Предел прочности при сжатии материалов определяют путем испытания опытных образцов правильной геометрической формы (кубов, цилиндров, призм). При испытании малых кубиков получают показатель прочности, более высокий, чем при испытании больших. Это объясняется тем, что при сжатии образца возникает его поперечное расширение. Силы трения, возникающие между опорными гранями образца и плитами пресса, удерживают части образца, прилегающие к плитам, от поперечного расширения, а следовательно, и от разрушения. Экспериментально установлено, что величина коэффициента трения между опорными гранями образца и плитами пресса воз-

растает с уменьшением поперечного сечения образца и, как следствие, прочность на малых образцах выше, чем на больших.

Вычисляют предел прочности при сжатии по формуле

$$R_c = \frac{F}{A}, \text{ МПа}, \quad (1.16)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности при сжатии определяют на гидравлических прессах различных систем и мощностей. Выбор пресса зависит от раз-

меров образца и максимального разрушающего усилия, действующего на него. Одна из плит пресса должна иметь шаровую опору.

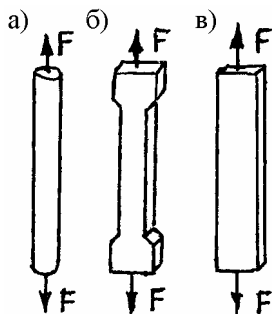


Рис. 1.5. Схема испытания на растяжение:
а – металла (арматурной стали); б – пластмассы;
в – кровельных рулонных материалов

Предел прочности при растяжении определяют для таких строительных материалов, как металлы, древесина, пластмассы, рулонные кровельные материалы. Образцы испытаний изготавливают в виде стержней, лопаток, полос. Их форму и размеры определяют по соответствующим стандартам на испытываемые материалы.

Предел прочности при растяжении в МПа вычисляют по формуле

$$R_p = \frac{F}{A_o}, \quad (1.17)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;
 A_o – первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности при растяжении вычисляют как среднее арифметическое значение испытаний трех образцов.

Предел прочности при изгибе определяют на образцах-балочках (природные и искусственные каменные материалы, древесина) или на готовых изделиях-образцах (кирпич). Нагрузка на образец передается в одной или двух точках по всей ширине образца. Одна из опор, на которую опирается образец при испытании, должна быть шарнирной (подвижной), другая – неподвижной. Схема испытаний на изгиб приведена на рис. 1.6.

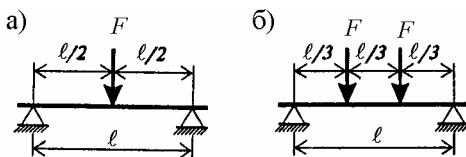


Рис. 1.6. Схема испытания на изгиб образцов-балочек:
а – при одной сосредоточенной нагрузке; б – при двух сосредоточенных нагрузках, расположенных симметрично оси балочки

Предел прочности при изгибе в МПа вычисляют по формулам:
при одном сосредоточенном усилии для образца-балочки прямоугольного сечения (рис. 1.6 а)

$$R_{и} = \frac{3F\ell}{2bh^2}; \quad (1.18)$$

при испытании образца-балочки прямоугольного сечения по схеме (б) (рис. 1.6 б)

$$R_{и} = \frac{F\ell}{bh^2}, \quad (1.19)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

ℓ – расстояние между опорами, мм;

b, h – ширина и высота поперечного сечения балочки, мм.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение испытаний трех образцов.

Задания

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ

Приборы и материалы

1. Искусственный камень – бетон.
2. Природный материал – древесина.
3. Линейка измерительная.
4. Штангенциркуль.
5. Пресс гидравлический.

Методика испытаний

Образцы-кубы из бетона с ребром 100 мм очищают мягкой щеткой или тканью, и определяют геометрические размеры поверхностей, соприкасающихся с плитами пресса. Нагрузка на образцы пе-

редается в направлении, перпендикулярном формованию при изготовлении образцов.

Образцы из древесины размерами 20x20x30 мм испытывают в направлении, параллельном волокнам древесины. Замеряют поперечные размеры образцов с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм.

Образцы устанавливают в центре нижней плиты пресса, затем подводят верхнюю плиту. Выбирают шкалу силоизмерителя пресса так, чтобы значение максимальной разрушающей нагрузки находилось в интервале (20...80) % максимально допускаемой выбранной шкалы.

Убедившись в правильности установки образца, включают насос пресса и дают на образец нагрузку. Скорость увеличения нагрузки должна быть (0,1...1) МПа в секунду. При наибольшем усилии в момент разрушения образца стрелка силоизмерителя останавливается, а затем начинает двигаться обратно. Этот момент и следует зафиксировать.

Каждый материал испытывают на трех образцах. За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех образцов.

Вычисление предела прочности при сжатии проводят по формуле (1.16).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.7.

Т а б л и ц а 1.7

Результаты испытаний на сжатие

Наименование материалов	№ образцов	Размеры поперечного сечения, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Предел прочности при сжатии, МПа	
				частн.	средн.
Бетон (искусственный камень)	1				
	2				
	3				
Древесина	1				
	2				
	3				

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ (СОПРОТИВЛЕНИЯ УДАРУ)

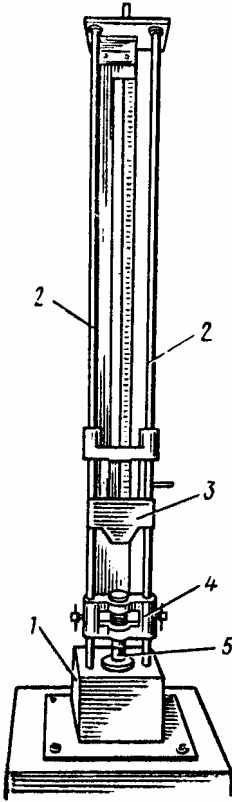


Рис. 1.7. Копер Педжа для испытания цилиндрических образцов на удар:
1 – стальная наковальня;
2 – направляющие цилиндрические штанги;
3 – стальной груз (баба);
4 – подбабок; 5 – образец

Ударная прочность определяется для материалов, которые в процессе эксплуатации в конструкциях подвергаются динамическим нагрузкам (полы промышленных зданий, дорожные покрытия). Испытания проводят на образцах-цилиндрах диаметром и высотой 20...30 мм на специальном копере Педжа (рис. 1.7).

Прибор состоит из массивной металлической опоры, переходящей вниз в наковальню. На опоре вертикально закреплены две направляющие цилиндрические штанги, по которым движется, свободно перемещаясь, стальной груз (баба) массой 2 кг. По образцу, установленному в центре наковальни, производят удар бабы через подбабок, имеющий внизу сферическую поверхность диаметром 10 мм.

Удары по образцу проводят вначале с высоты 10, затем – 20 мм и так далее через 10 мм до разрушения образца.

Ударная прочность оценивается по величине работы W (в Дж), затраченной на разрушение единицы объема (в см^3) материала. Вычисление проводят по формуле

$$R_y = \frac{W}{V} = \frac{[(1 + 2 + \dots + (n - i))]m \cdot q}{V}, \quad (1.20)$$

где m – масса стального груза, кг;

n – порядковый номер удара, разрушившего образец;

V – объем образца, см^3 ;

q – ускорение свободного падения, $q = 9,81, \text{ м/с}^2$.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое трех определений.

Приборы и материалы

1. Гипсовый камень (искусственный).
2. Образцы-цилиндры диаметром и высотой 20...30 мм.
3. Копер Педжа.
4. Штангенциркуль.

Методика испытаний

Замеряют диаметр и высоту образца-цилиндра, устанавливают его в центре наковальни, прижимают подбабком и проводят удар бабы с высоты 10 мм, затем – с высоты 20 мм и так далее, увеличивая высоту на 10 мм до тех пор, пока образец не разрушится.

Ударную прочность вычисляют по формуле (1.20).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.8.

Т а б л и ц а 1.8

Результаты испытаний на ударную прочность

Наименование материала	№ образца	Размеры образца, см		Объем образца, см^3	Номер удара, разрушившего образец	Ударная прочность, Дж/см^3	
		диаметр	высота			частн.	средн.
	1						
	2						
	3						

Заключение

Сделать анализ полученных результатов

Задание 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Истираемость – способность материала сопротивляться действию истирающих сил. Под действием этих сил происходит уменьшение материала в объеме и по массе. Материалы, подвергающиеся этому испытанию, применяют для устройства полов, лестничных ступеней, тротуаров и др. К ним относятся бетоны, природные каменные материалы, материалы на основе полимеров для полов и др.

Образцы для испытания на истираемость должны иметь правильную геометрическую форму (кубы с ребром 50...70 мм).

Приборы и материалы

1. Лабораторный круг истирания (ЛКИ).
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Образцы-кубы с ребром 70 мм.

Методика испытаний

Перед испытанием на истираемость образцы высушивают в сушильном шкафу, взвешивают, измеряют площадь поверхности образца, которая будет подвергаться испытанию.

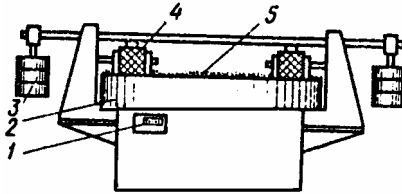


Рис. 1.8. Машина ЛКИ для определения истираемости каменных материалов:

- 1 – счетчик оборотов; 2 – диск; 3 – груз;
- 4 – образец; 5 – шлифовальный порошок

помощью специального приспособления 3 два образца 4 прижима-

Испытание на истираемость проводят на специальном оборудовании – круге истирания (рис. 1.8) в виде чугунного диска 1, вращающегося на вертикальной оси от электродвигателя 2 со скоростью 22 об/мин. Количество оборотов фиксируется имеющимся счетчиком. С

ются к поверхности круга с силой 6 Н на 1 см² площади образца. Над диском на станине укреплены два бачка 5 для автоматической подачи истирающего порошка (наждак или корунд крупностью около 0,5 мм). Расход порошка должен быть 20 г/мин.

После 500 м пути (250 оборотов), сделанного по диску, круг 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.

После 250 оборотов диска образцы снова взвешивают.

Общий путь образца при испытаниях составляет 1000 м.

Истираемость в г/см² вычисляют по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{A}, \quad (1.21)$$

где m и m_1 – масса образца соответственно до и после истирания, г;
 A – площадь истирания, см².

За окончательный результат принимают среднее арифметическое определений, полученных на двух образцах.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 1.9.

Т а б л и ц а 1.9

Результаты испытаний на истираемость

Определения	Образцы		Среднее
	1	2	
Масса образца в г до испытания после испытания			
Площадь истирания, см ²			
Истираемость, г/см ²			

Заключение

Сравнить величину истираемости испытанного материала с этим показателем для других материалов.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какое различие между истинной, средней и насыпной плотностью?
2. Как определить истинную плотность строительного материала?
3. Почему измельчают материалы при определении истинной плотности?
4. Как определить пористость материала?
5. Как определить водопоглощение материала?
6. На какие свойства и в какой степени влияет пористость?
7. Как определить насыпную плотность сыпучих материалов?
8. Как определить пустотность сыпучих материалов?
9. Как рассчитать закрытую пористость материала?
10. Что такое прочность материала и чем она характеризуется?
11. На каких образцах и как определить предел прочности при сжатии?
12. На каких образцах и как определить ударную прочность?
13. Как определить истираемость материалов?
14. Как рассчитать водопоглощение по объему, зная водопоглощение по массе?

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в К.Н., К а д д о М.Б., К у л ь к о в О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999. – С. 236.
2. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. школа, 1984. – 165 с.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 2

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы

1. Изучить коллекции природных каменных материалов и основных породообразующих минералов.
2. Ознакомиться с нормативной литературой, методами, приборами и оборудованием по определению физико-механических и декоративно-отделочных свойств горных пород. Научиться визуально распознавать породы по характерным петрографическим особенностям.

3. Определить физико-механические и декоративно-отделочные свойства горных пород.

2.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляет собой горная порода; что называют минералом?
2. По каким признакам классифицируют горные породы?
3. Привести генетическую классификацию горных пород.
4. Технологическая классификация горных пород.
5. Классификация горных пород по долговечности.
6. Основные породообразующие минералы изверженных, осадочных и метаморфических горных пород.
7. Какие строительные материалы и изделия получают из горных пород?
8. Архитектурно-строительная классификация материалов из горных пород.
9. Какие горные породы применяют для изготовления минеральных вяжущих веществ?
10. Что такое фактура, текстура и структура?

2.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Классификация нескольких видов горных пород и описание их породообразующих минералов.

Задание 2. Определение средней плотности горной породы на образцах неправильной геометрической формы.

Задание 3. Определение истинной плотности и пористости горных пород.

Задание 4. Определение предела прочности при сжатии горной породы.

Задание 5. Определение предела прочности при одноосном растяжении путем раскалывания.

Задание 6. Определение твердости горных пород по шкале Мооса.

Задание 7. Определение истираемости горных пород.

Задание 8. Изучение декоративно-отделочных (эстетических) свойств образцов из различных горных пород.

2.3. Общие сведения о природных каменных материалах

К *природным каменным материалам* относят строительные материалы, получаемые из горных пород путем механической обработки (дробления, раскалывания, распиливания, шлифования, плавления). Эти материалы практически полностью сохраняют физико-механические и технические свойства горной породы, из которой они изготовлены.

Горная порода представляет собой агрегат (механическое сочетание) минералов в земной коре, образовавшихся 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 разных 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. *Изверженные* (магматические, или 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, базальт, порфиры, трахиты, пемза, вулканические пеплы и др.

2. *Осадочные* (вторичные) – образовавшиеся на поверхности земли, на дне морей, озер и рек из продуктов разрушения ранее существовавших горных пород и остатков организмов. К ним относятся: известняки, доломиты, песчаники, травертин, ракушечник, гипсовый камень, ангидрит, пески, гравий и др.

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 наступают через 200 и более лет (крупнозернистые граниты, сиенит, габбро, лабрадорит).

3. *Относительно долговечные* – первые признаки разрушения наступают через 60 лет (белый мрамор, плотный песчаник и др.).

Природные каменные материалы также 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.

Задания

Задание 1. КЛАССИФИКАЦИЯ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ ГОРНЫХ ПОРОД И ОПИСАНИЕ ИХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Методика испытаний

Студенты осматривают коллекцию горных пород и породообразующих минералов и определяют вид горной породы. Коллекция горных пород включает 10...15 представителей каждой группы по 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 жил и прожилок. Из коллекции горных пород осматривают 5...7 видов и, пользуясь классификацией, относят их к соответствующей группе.

В табл. 2.1 приведены основные горные породы и породообразующие минералы, а также характерные отличительные показатели (цвет, истинная плотность, твердость) основных породообразующих минералов.

Отличительными показателями минералов служат их химический состав, плотность и твердость.

Т а б л и ц а 2.1

Породообразующие минералы и их отличительные показатели

№ пп	Наименование		Химический состав	Плот- ность, кг/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
	группы мине- ралов	минерал				
1	2	3	4	5	6	7
1	Кремнеземе- стые	Кварц	SiO ₂	2650	7	молочный, дымчатый

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7
		Опал	$\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$	2600	5,5	белый, желтый, серый, бурый, синий
		Халцедон	SiO_2	2550...2600	6,5	светло-серый, голубоватый
2	Полевые шпаты (алюмосиликаты)	Ортоклазы	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6 \text{SiO}_2$	2570	6...6,5	белый, кремовый, розовый
		Плагиоклазы	альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6 \text{SiO}_2$	2600	6	белый, буровато-желтый
			анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2 \text{SiO}_2$	2760	6...6,5	серый, белый, желтоватый, черный
3	Слюды (алюмосиликаты)	Биотит	$\text{K} (\text{MgFe})_3 \times [\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \times [\text{OH}, \text{F}]_2$	2800...3200	2...3	темно-зеленый
		Мусковит (белая слюда)	$\text{KAl}_2 \times [\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \times [\text{OH}]_2$	2760...3100	2...3	бесцветный с желтоватым оттенком
4	Железисто-магнезиальные силикаты	Оливин	$(\text{Mg,Fe})_2 \times (\text{SiO}_4)$	3300...3400	6,5...7	оливково-зеленый, буроватый
		Пироксены (авгит)	$\text{Ca} (\text{Mg,Fe,Al}) \times [(\text{Si Al}_2) \text{O}_6]$	3300...3600	6,5	зеленый, бурый, черный
		Амфиболы (роговая обманка)	$(\text{Ca}_2 \text{Na}) \times (\text{Mg,Fe})_4 \times (\text{Al,Fe}) \times [(\text{SiAl}_4\text{O}_4)]_{12}$	3100...3500	5,5...6	черный, серо-зеленый, темно-зеленый
5	Карбонаты	Кальцит	CaCO_3	2700	3	белый, серый, желтый, голубой

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7
		Магнезит	$MgCO_3$	3000...3100	3,5...4,5	белый, серый, желтый
		Доломит	$MgCO_3 \times$ $\times CaCO_3$	2800...2900	3,5...4	белый, серый, желтый
6	Сульфаты	Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2300	2	серый, черный, красно- ва- тый
		Ангидрит	$CaSO_4$	2800...3000	3...3,5	белый, сероватый, голубой, красно- ва- тый
7	Глинистые	Каолинит	$Al_4(OH)_2 \times$ $\times [Si_4O_{10}]$	2600	2,5	белый, сероватый, желтова- тый

Результаты испытаний

Результаты выполнения задания 1 заносят в табл. 2.2, 2.3.

Т а б л и ц а 2.2

Классификация горных пород

№ пп	Наименование породы	Классификация		
		генетическая	технологическая	по долговечности
1	Гранит			
2	Диорит			
3	Лабрадорит			
4	Известняк			
5	Доломит			
6	Кварц			
7	Мрамор			
8	др.			

На лабораторных занятиях студенты изучают следующие минералы:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1) кварц; | 7) пироксены; |
| 2) опал; | 8) кальцит; |
| 3) биотит; | 9) магнезит; |
| 4) мусковит; | 10) доломит; |
| 5) ортоклаз; | 11) гипс; |
| 6) каолинит; | 12) ангидрит. |

Студенты осматривают минералы, а затем заносят их характеристику в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2.3

Характеристика минералов, образующих горные породы

№ пп	Наименование минералов	Плотность, кг/м ³	Химический состав	Цвет	Твердость по шкале Мооса	В какой горной породе преобладает
1	Кварц					
2	Опал					
3	др.					

Заключение

В заключении следует сделать анализ полученных результатов.

2.4. Физические свойства природных каменных материалов

Задания

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, метаморфические – более 2900 кг/м³.

Приборы и материалы

1. Технические весы.
2. Гидростатические весы.
3. Объемомер.
4. Образцы горных пород неправильной формы (куски) – по три каждой породы (изверженной, осадочной, метаморфической).

Методика испытаний

Образцы горной породы высушивают до постоянной массы, взвешивают 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 взвешивают.

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, стакан с водой взвешивают и определяют массу вытесненной воды.

Плотность породы вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m}{V_1 - V_n}, \quad (2.1)$$

где m – масса сухого образца, г;

V_1 – объем образца с парафином, см^3 , численно равный массе воды, г, вытесненной образцом;

V_n – объем парафина, см^3 , затраченного на покрытие образца, который определяют по формуле

$$V_n = \frac{m_1 - m}{\rho_n}, \quad (2.2)$$

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 объеммера или гидростатических весов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 2.4.

Т а б л и ц а 2.4

Средняя плотность горных пород

Наименование породы	Масса образца, г		Объем, см ³			Средняя плотность породы, кг/м ³
	сухого	покрытого парафином	образца с парафином	парафина	воды, вытесненной из объеммера	

Заключение

Сделать анализ полученных результатов.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ И ПОРИСТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Истинная плотность магматических горных пород изменяется в пределах от 2650 (гранит) до 3320 кг/м³ (габбро), осадочных – 2600 (известняк)...2800 кг/м³ (доломит), метаморфических – 2700 (гнейсы)...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. Стекланный 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 измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Порошок просеивают через сито № 02 с размером ячеек 0,2х0,2 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 стекланный 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 отвешивают 80 г порошка с точностью до 0,01 г и всыпают его через воронку в прибор до тех пор, пока уровень жидкости не поднимется до черты с делением 20 см^3 . Остаток порошка взвешивают и вычисляют массу порошка, всыпанного в объемомер.

Истинную плотность породы в г/см³ вычисляют по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (2.3)$$

где m – навеска порошка до опыта, г;

m_1 – остаток навески, г;

V – объем жидкости, вытесненной навеской порошка (равный объему порошка в объемомере).

Пористость горной породы характеризует степень заполнения ее объема порами. Вычисляется в % по формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \cdot 100, \quad (2.4)$$

где ρ_0 – средняя плотность горной породы, г/см³;

ρ – истинная плотность горной породы, г/см³.

Результаты испытаний

Результаты определения истинной плотности и пористости заноят в табл. 2.5.

Т а б л и ц а 2.5

Истинная плотность и пористость горных пород

Горная порода	Навеска порошка, г			Объем вытесненной жидкости, см ³	Истинная плотность, кг/м ³	Пористость, %
	начальная	оставшегося	израсходованного			

Заключение

Сделать анализ результатов опытов по изменению пористости в зависимости от средней плотности горных пород и их происхождения.

2.5. Механические свойства природных каменных материалов

К механическим свойствам горных пород, которые предлагается определить в этой лабораторной работе, относятся предел прочности при сжатии, предел прочности при растяжении, ударная прочность, твердость и истираемость.

Задания

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: 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 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 нагрузку на образец со скоростью ее нарастания 0,5...1 МПа в секунду. В момент наибольшей разрушающей нагрузки стрелка силоизмерителя остановится и начнет двигаться обратно.

Предел прочности при сжатии в МПа вычисляют по формуле

$$R = \frac{F}{A}, \quad (2.5)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Результаты испытаний

Результаты выполненных испытаний по определению предела прочности при сжатии горных пород занести в табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2.6

Предел прочности при сжатии горных пород

Наименование породы	Размеры, мм	Площадь образца, мм ²	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, 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. 2.1 а) или между стальными клиньями (образец-куб, рис. 2.1 б). Геометрические оси образца и лезвия клиньев должны находиться в одной плоскости. Отклонение от плоскости допускается не более 0,5 мм.

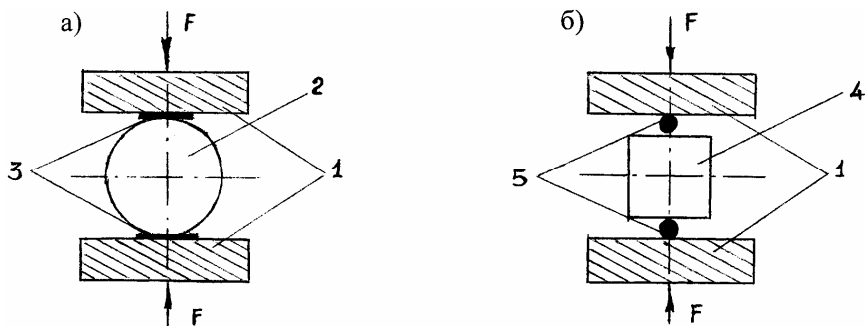


Рис. 2.1. Схема испытания образцов горной породы на растяжение путем раскалывания образцов-цилиндров (а) и образцов-кубов (б):
1 – плиты гидравлического пресса; 2 – образец-цилиндр; 3 – прокладка из фанеры;
4 – образец-куб; 5 – сферическая поверхность диаметром 20 мм

Образец нагружают, равномерно увеличивая нагрузку на 1...3 МПа и доводят до разрушения. Фиксируют величину разрушающего усилия F .

Предел прочности при одноосном растяжении R_{pp} в МПа для каждого образца вычисляют по формуле

$$R_{pp} = K \frac{2F}{\Pi A}, \quad (2.6)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

K – коэффициент, $K = 0,64$ при передаче нагрузки через плиты, $K = 1,0$ при передаче нагрузки через клинья.

Результаты испытаний

Результаты определения предела прочности при растяжении горных пород заносят в табл. 2.7 и сравнивают предел прочности при растяжении горной породы с ее пределом прочности при сжатии.

Т а б л и ц а 2.7

Предел прочности при растяжении горных пород

Горная порода	Размеры образцов, мм			Площадь разрыва образца, мм	Предел прочности при растяжении, МПа	Отношение $\frac{R_{pp}}{R_{сж}}$, %
	цилиндров		кубов			
	диаметр	высота	ребра			

Заключение

Предел прочности при растяжении составляет ... % от предела прочности при сжатии 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 (распиливании, шлифовании, полировании и т. п.). Твердость в значительной степени зависит от структуры и свойств породообразующих минералов.

Твердость природных каменных материалов определяют по шкале твердости Мооса. Она включает 10 минералов, первый и последний из которых 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. 2.8) определяют условную твердость горных пород. Более точные показатели этой характеристики получают с помощью прибора ПМТ-3 (прибора для определения твердости). Принцип его действия основан на вдавливании в образец алмазной пирамиды.

Т а б л и ц а 2.8

Шкала твердости материалов

Показатель твердости по шкале Мооса	Наименование материала	Твердость по ПМТ-3, МПа	Характерные признаки твердости
1	2	3	4
1	Гальк, мел	24	Грифель карандаша оставляет черту
2	Гипс, каменная соль	360	Ноготь человека оставляет черту
3	Кальцит, ангидрит	1090	Стальной нож, медно-латунная монета оставляет черту
4	Флюорит (плавиковый шпат)	1890	Никелевая монета оставляет черту
5	Апатит	5360	Оконное стекло оставляет черту
6	Ортоклаз (полевой шпат)	7950	Оконное стекло слегка царапает
7	Кварц	11200	Напильник, стальная игла оставляет черту

1	2	3	4
8	Топаз	14270	Обыкновенный стеклорез оставляет черту
9	Корунд	20600	Алмазный стеклорез оставляет черту
10	Алмаз	106000	—

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, каждым минералом шкалы Мооса, проводят черту. Показателем твердости считают число, среднее между двумя номерами минералов, из которых один оставляет, а другой не оставляет царапины на образце горной породы. Например, если горная порода чертится кварцем (соответствует показателю твердости 7), а сама чертит ортоклаз (номер 6), то твердость изучаемой породы будет 6,5.

Более точное определение твердости горных пород производится прибором ПМТ-3 путем вдавливания в образец алмазной пирамиды.

Результаты испытаний

Результаты испытания на твердость горных пород заносят в табл. 2.9.

Результаты испытаний на твердость

Горная порода	№ минерала, царапающего горную породу	Твердость	
		по шкале Мооса	по прибору ПМТ-3, МПа
Кварцит			
Гранит			
Диорит			
Лабрадорит			
Мрамор			

Заключение

Проанализировать результаты испытаний минералов 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 1 см² площади истирания. Истираемость имеет большое значение для каменных материалов, которые применяют для устройства полов в общественных и промышленных сооружениях, 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, затем с помощью специального приспособления прижимают к поверхности круга с силой 6 Н на 1 см² площади образца. В бачки засыпают истирающий порошок, который подается автоматически при вращении круга. Включают круг вращения.

После 250 оборотов, что соответствует 500 м пути, проделанного образцами по диску, круг автоматически выключается. Образцы вынимают из обоймы, очищают от пыли, взвешивают, затем опять вставляют в захваты, и продолжают испытание. После 250 оборотов образцы 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 образцом в граммах за 1000 м пути. Показатель истирания определяется в г/см³ по формуле

$$R_{\text{ист}} = \frac{m - m_1}{S}, \quad (2.7)$$

где m – масса образца до истирания, г;

m_1 – то же после истирания, г;

S – 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. 2.10.

Результаты испытаний на истираемость горных пород

Горная порода	Масса образца, г		Размеры образцов, см	Площадь истирания, см ²	Истираемость, г/см ²
	до испытания	после испытания			
Гранит					
Кварцит					
Мрамор					

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 позволяют рационально выбрать область его применения в архитектурно-строительной практике.

1. Цвет и блеск природных каменных материалов.

Под *цветом* материала понимают определенное зрительное ощущение, которое 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 различно окрашенных породобразующих 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 идеально гладких зеркальных поверхностей. Шероховатые и матовые поверхности рассеивают отраженный световой поток диффузно, т. е. равномерно во все стороны.

При оценке природных каменных материалов следует также учитывать их блеск. Различают *тусклый, жирный, перламутровый* и *яркий* блеск. Некоторые минералы (лабрадор) обладают ирризацией (отблеском в изломе).

2. 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.*

3. 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.

1. Ударные фактуры:

1) *фактура скалы (скальная)*, получаемая сколом камня (высота рельефа – 5...15 мм);

2) *рифленая* – правильные непрерывные параллельные бороздки с чередованием бугров и впадин с высотой рельефа 1...3 мм;

3) *бороздчатая* – равномерно шероховатая поверхность с прерывистыми бороздками и высотой рельефа 0,5...2 мм;

4) *точечная* – равномерно шероховатая поверхность с точечными углублениями и высотой рельефа 0,5...2 мм.

2. Абразивные фактуры:

1) *пиленая* – бороздки с высотой рельефа до 2 мм;

2) *шлифованная* – легкая равномерная шероховатость, вид матовый, высота рельефа – до 0,5 мм;

3) *лощенная* – гладкая, бархатисто-матовая с выявленным рисунком камня;

4) *зеркальная* – полированная, гладкая, дающая четкое отражение;

5) *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:

1) *слоистую*;

2) *сланцевую*;

3) *пористую*;

4) *массивную*.

Массивную текстуру имеют преимущественно изверженные горные породы.

Приборы и материалы:

1. Блескомер фотоэлектрический.
2. Образцы-плитки из горных пород (кварцит, гранит, мрамор, известняк плотный, лабрадорит).

Методика испытаний

Изучение декоративных свойств природных каменных материалов проводят на образцах-плитках размерами 100x100x30 мм, линейные поверхности которых имеют абразивную или ударную фактуру.

Оценку степени декоративности проводят по цвету, фактуре, текстуре, структуре и блеску.

Блеск определяется с помощью фотоэлектрического блескомера ФБ-2 по доле отраженного от поверхности образца света. 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 испытаний

Результаты оценки декоративно-отделочных свойств природных каменных материалов заносят в табл. 2.11.

Т а б л и ц а 2.11

Декоративно-отделочные свойства горных пород

Вид породы и месторождение	Цвет	Структура	Фактура	Текстура	Показатель блеска
Мрамор					
Гранит					
Лабрадорит					
Кварцит					

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Основные породообразующие минералы изверженных 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. По какой формуле вычисляется предел прочности при осевом растяжении при испытании путем раскалывания?
8. Что такое твердость и как она определяется для горных пород?
9. Что такое истираемость и как она определяется?
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; какие различают фактуры?

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. школа, 1984. – 165 с.
2. Г о р ч а к о в Г.И., Б а ж е н о в Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986. – 687 с.
3. П о п о в Л.Н., К а д д о М.Б., К у л ь к о в О.В. Оценка качества строительных материалов (физико-механические испытания строительных материалов). – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999. – 240 с.
4. П о п о в Л.Н. Общая технология строительных материалов. – М.: Высш. школа, 1989. – 352 с.
5. Д о м о к е е в А.Г. Строительные материалы. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1989. – 494 с.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 3

ДРЕВЕСИНА

Цель работы

1. Изучить коллекции основных пород древесины.
2. Ознакомиться с действующей нормативной документацией, традиционными стандартными методами лабораторных исследований свойств древесины.
3. Приобрести навыки работы с приборами и оборудованием по определению физико-механических и декоративно-отделочных свойств древесных пород.

3.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. К какому виду строительных материалов относится древесина?

2. Какое влияние оказывает макроструктура древесины на ее свойства?
3. Как Вы понимаете выражение: древесина – материал анизотропный?
4. Какое влияние оказывает влажность древесины на ее свойства?
5. Причины коробления изделий из древесины.
6. Причины загнивания изделий из древесины.
7. С какой целью при оценке свойств древесины введен показатель стандартной влажности?
8. От чего зависит средняя плотность древесины?
9. Какие изделия и конструкции получают из древесины, где их применяют в строительстве?
10. По какой схеме испытывают древесину на изгиб?

3.2. Задания к лабораторной работе

- Задание 1. Определение влажности древесины.
- Задание 2. Определение линейной усушки.
- Задание 3. Определение плотности (средней плотности) и пористости древесины.
- Задание 4. Определение предела прочности при сжатии вдоль волокон.
- Задание 5. Определение предела прочности при статическом изгибе.
- Задание 6. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон.
- Задание 7. Определение содержания поздней древесины в годовичном слое и приближенная оценка ее прочности неразрушающим методом.
- Задание 8. Изучение микроструктуры древесины.
- Задание 9. Определение качества пиломатериалов по наличию пороков.
- Задание 10. Защита древесины от гниения и возгорания.

3.3. Общие сведения о древесных материалах

Древесина представляет собой природный органический материал волокнистого строения. Как строительный материал она обладает замечательными свойствами:

- 1) сравнительно большой прочностью при небольшой средней плотности, т. е. высоким коэффициентом конструктивного качества ($K_{\text{кк}}$);
- 2) упругостью;
- 3) малым значением теплопроводности;
- 4) малой объемной теплоемкостью;
- 5) простотой (легкостью) обработки;
- 6) хорошими акустическими свойствами;
- 7) гигиеничностью;
- 8) 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;
- 5) отделку для 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**, вследствие которой при колебаниях влажности окружающей среды древесина претерпевает деформации разбухания или усушки, т. е. коробления;
- 2) **неоднородность строения и свойств**, связанная с волокнистой структурой, наличием сучков, трещин, кривизны и других пороков;
- 3) **склонность к загниванию** при эксплуатации во влажных условиях;
- 4) **возгораемость** при действии огня и высокой температуре.

Поэтому при применении древесины в строительстве возникает необходимость в специальных мерах по защите древесины от вредных 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, что связано с макро– и микроструктурой древесины (это необходимо проследить при выполнении заданий данной лабораторной работы).

При известной общности древесина разных пород различается по структуре и свойствам. В строительстве используют древесину хвойных и лиственных пород.

Древесина – самовосстанавливающийся строительный материал, из которого изготавливают готовые изделия и конструкции. Отходы древесины являются сырьем для производства изделий с использованием полимерных и минеральных вяжущих.

Клееные деревянные конструкции (КДК) полной заводской готовности, обладая 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 леса. Переработка некондиционных и непригодных для КДК отходов в различные строительные материалы, изделия и конструкции (арболит, древесно-стружечные плиты, цементно-стружечные плиты 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.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Вода, содержащаяся в древесине, может находиться:

- 1) в свободном состоянии (*капиллярная*), располагаясь между волокнами, в полостях клеток и сосудах;
- 2) в физически связанном состоянии, адсорбируясь на стенках пор и капилляров (*гигроскопическая*); поглощается древесиной непосредственно из воздуха;
- 3) в химически связанном состоянии, входя в состав целлюлозы.

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. Сравнение численных

показателей всех свойств древесины проводится при стандартной влажности, равной 12 %.

1. Определение влажности древесины стандартным методом (по ГОСТ 16483.7)

Приборы и материалы

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:

1. Определяют массу образца на технических весах.
2. Определяют размеры образцов (для определения линейной усушки в заданиях 2 и 3); результаты испытаний заносят в табл. 4.2, 4.3.
3. Образцы высушивают в сушильном шкафу при температуре $103 \pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы.
4. Вычисляют влажность в процентах по формуле

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100, \quad (3.1)$$

где m_1 – масса влажного образца, г;

m_2 – масса высушенного образца, г.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 3.1.

Т а б л и ц а 3.1

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 значение влажности по результатам испытаний			

2. 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.

Приборы и материалы:

1. Электронный влагомер ЭВ–2К.
2. Образцы древесины в форме прямоугольной призмы с основанием 20x20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Методика испытаний

Измерение прибором проводится согласно инструкции по эксплуатации электронного влагомера для измерения влажности древесины ЭВ–2К.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Результаты определения влажности древесины экспресс-методом

Определения	Образцы		
	1	2	3
Влажность образца древесины по прибору, %			
Среднее арифметическое значение влажности, %			

Заключение

Проанализировать сходимость результатов, полученных по разным методикам.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ УСУШКИ

Приборы и материалы

1. Сушильный шкаф.
2. Штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм.
3. Образцы древесины размером 20x20x25 мм.
4. Бюксы с притертыми крышками.

Методика испытаний

Определение проводится по методике ГОСТ 16488.37. Оно состоит в измерении размеров образцов в состоянии:

- 1) исходной влажности;
- 2) после высушивания.

Образцы для испытаний представляют собой прямоугольные призмы с основанием приблизительно 20x20 мм и длиной (высотой) вдоль волокон (25±5) мм. До испытаний образцы длительно выдер-

живаются в эксикаторе для установления в них однородной равновесной влажности.

Исходную влажность древесины и влажность после высушивания удобно контролировать с помощью электронного влагомера или другого прибора.

Замеры образцов производятся по осям симметрии 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.

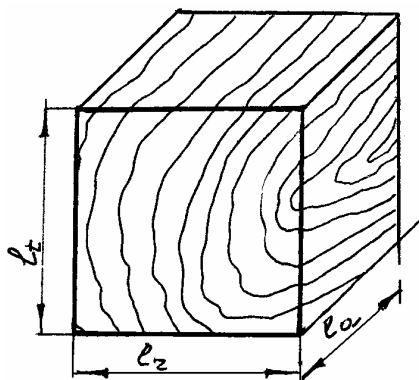


Рис. 3.1. Образец древесины с обозначением размеров в характерных направлениях

Сушка образцов производится в сушильном шкафу при температуре $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$. Образцы располагаются в бюксах* со снятыми крышками; после сушки их 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, за-

крывать бюксы необходимо, чтобы предотвратить увлажнение образцов в процессе охлаждения.

По результатам замеров определяют линейную усушку:

- 1) вдоль волокон древесины;
- 2) в радиальном направлении;
- 3) в тангентальном направлении.

* Бюкс – стаканчик для взвешивания, изготовленный из алюминия или стекла, с крышкой 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).

Абсолютная линейная усушка (в мм) определяется как разность в линейных размерах образцов до и после сушки, а относительная (в процентах) – по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_2}{l_1}, \quad (3.2)$$

где l_1 – размер образца до сушки, мм;

l_2 – то же после сушки, мм.

Результаты испытаний

Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3

Результаты определения усушки древесины

Измерения	Номер образца	Размеры, мм		Линейная усушка	
		до сушки при влажности, %	после сушки при влажности, %	абсолютная, мм	относительная, %
Длина (вдоль волокон) l_a , мм	1		среднее		
	2				
	3				
Ширина (в радиальном направлении) l_r , мм	1		среднее		
	2				
	3				
Толщина (в тангентальном направлении) l_t , мм	1		среднее		
	2				
	3				

Заключение

Сравнить величины относительных деформаций усушки древесины в разных направлениях; объяснить результаты опытов исходя из рассмотрения микроструктуры древесины (см. задание 7).

На основании полученных данных 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 (см. рис. 3.2).

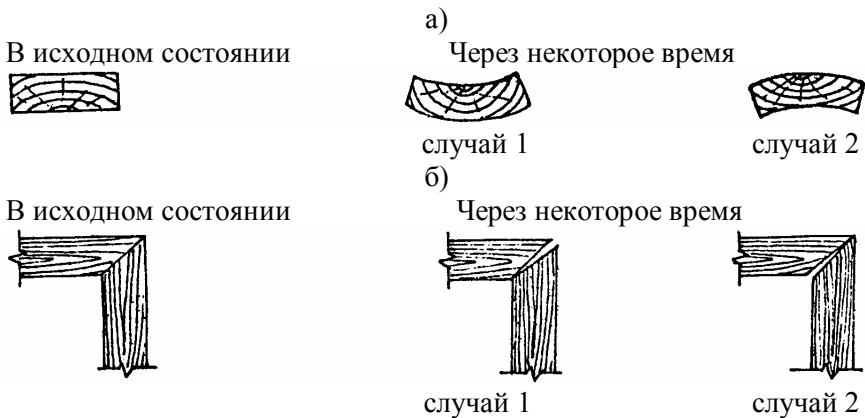


Рис. 3.2. Характерные деформации и коробление пиломатериалов

Определить, какому изменению влажности (увеличению или уменьшению) соответствуют случаи 1 и 2.

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.

Методика испытаний

Среднюю плотность древесины при данной влажности W определяют по методике, изложенной в ГОСТ 16483.1, и вычисляют по формуле

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \quad (3.3)$$

где m_w – масса образца при влажности W , кг (г);

V_w – объем образца при влажности W , м³ (см³).

Поскольку образец представляет собой прямоугольную призму, его объем вычисляют как произведение длины, ширины и толщины.

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. В соответствии с ГОСТ 16483.1 она определяется по таблице коэффициентов.

Результаты испытаний приводят к стандартной влажности 12 %, используя формулу

$$\rho_{12} = \frac{\rho_w}{K_{12}^w}, \quad (3.4)$$

где K_{12}^w – коэффициент пересчета, определяемый по табл. 3.4.

Т а б л и ц а 3.4

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
1	2	3	4	5	6
5	0,972	14	1,007	23	1,034

1	2	3	4	5	6
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		

Древесина – относительно легкий материал, что связано с его 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

$$П = (1 - \rho_0/\rho) \cdot 100, \quad (3.5)$$

где ρ_0 – условная плотность, равная отношению массы абсолютно сухой древесины к ее объему во влажном состоянии.

Величину ρ_0 можно рассчитать по формуле

$$\rho_0 = \rho_{12}/1,12, \quad (3.6)$$

где ρ – плотность древесинного вещества.

Величина ρ составляет примерно 1,55 г/см³ или 1550 кг/м³.

Результаты испытаний

Результаты измерений и расчетов записывают в табл. 3.5.

Результаты определения плотности древесины

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Влажность образца, W , %			
Масса образца m_w при влажности W , г			
Размеры образца, 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/см^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			
Условная плотность ρ_0 , кг/м^3			
Пористость древесины при $W = 12$ % Π , %			
Средняя величина Π , %			

Заключение

Сравнить среднюю плотность древесины с этим показателем для других природных и искусственных материалов.

**Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ
ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН**

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.

Методика испытаний

Определение предела прочности проводится по методике, изложенной в ГОСТ 16483.10. Образцы в форме прямоугольной призмы с основанием примерно 20x20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм подвергают сжатию на гидравлическом прессе. 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.

Образец устанавливают торцевой поверхностью в центре плиты пресса над шаровой опорой, опускают верхнюю плиту пресса до соприкосновения с образцом, затем включают привод пресса и регулируют скорость нагружения образца так, чтобы нагрузка увеличивалась равномерно. Продолжительность испытания от начала нагружения до разрушения образца должна составлять $1 \pm 0,5$ мин, т.е. оно должно происходить 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 R_W с измеренной влажностью W вычисляют в МПа по формуле

$$R_W = \frac{F_{\max}}{a \cdot b}, \quad (3.7)$$

где F_{\max} – максимальное усилие, Н;

a, b – размеры поперечного сечения образца, мм.

Предел прочности R_W пересчитывают на влажность 12 % по формуле

$$R_{12} = R_W [1 + \alpha (W - 12)],$$

где α – поправочный коэффициент, равный 0,04 на 1 % влажности;

W – влажность образца в момент испытания, %.

Вычисление производят с округлением до 0,5 МПа.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 3.6.

Т а б л и ц а 3.6

Результаты определения прочности древесины при сжатии
Порода _____

Определения	Образцы		
	1	2	3
Размеры поперечного сечения, мм: а б			
Площадь поперечного сечения, мм ² (см ²)			
Максимальное усилие P_{max} , Н (кгс)			
Предел прочности R_W при влажности 12 %, МПа			
Влажность в момент испытания, %			
Предел прочности R_{12} при влажности 12 %, МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при влажности 12 %, МПа			

Заключение

Оценить поведение образца древесины при его полном разрушении. Полученные результаты испытаний сравнить 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 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.

5. Прибор для определения влажности.

Методика испытаний

Испытания в соответствии с ГОСТ 16483.3 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. 3.3).

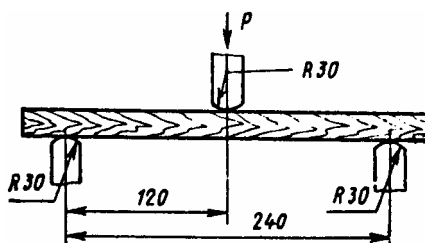


Рис. 3.3. Схема испытания древесины на изгиб

Образец устанавливают в пресс так, чтобы изгиб осуществлялся в тангентальном направлении. Испытания продолжают до разрушения образца. Предел прочности при статическом изгибе в МПа при данной влажности W вычисляют по формуле

$$R_{\text{изг}} = \frac{3 \cdot F_{\text{max}} \cdot \ell}{2b \cdot h^2} \quad (3.8)$$

где ℓ – расстояние между центрами опор, мм;

b – ширина образца, мм;

h – высота образца, мм;

F_{max} – разрушающее усилие, Н.

Предел прочности при изгибе R_w должен быть приведен к влажности 12 % аналогично заданию 4 в отношении прочности при сжатии вдоль волокон (по той же формуле).

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в табл. 3.7.

Т а б л и ц а 3.7

Результаты определения прочности при 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 R , МПа			
Влажность в момент испытания W , %			
Предел прочности при влажности 12 %, МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при изгибе, МПа			

Заключение

Сравнить полученные результаты со справочными данными учебника или справочника.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СКАЛЫВАНИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Приборы и материалы

1. Испытательная машина (например, пресс гидравлический) со шкалой усилий до 100 кН (10 т).
2. Штангенциркуль с погрешностью измерения до 0,1 мм.

3. Образцы специальной формы с площадкой скалывания по тангентальной или радиальной плоскости.

4. Приспособление к испытательной машине для закрепления образца.

5. Прибор для определения влажности.

Методика испытаний

Для проведения испытания по ГОСТ 16483.5 необходимо иметь приспособление для закрепления образца. Испытываются образцы специальной формы с площадкой скалывания по тангентальной или радиальной плоскости.

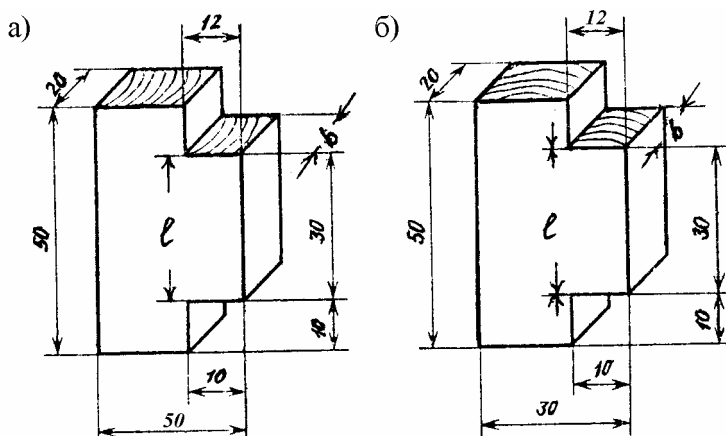


Рис. 3.4. Образцы для испытания древесины на скалывание вдоль волокон по плоскости:

а – тангентальной; б – радиальной; b – ширина образца; l – длина скалывания

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, 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.

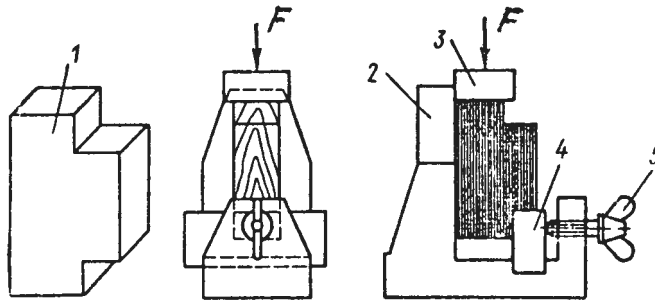


Рис. 3.5. Форма и образец для испытаний на скалывание вдоль волокон и прибор для крепления образца:

1 – образец; 2 – корпус прибора; 3 – нажимная планка; 4 – подвижная опора; 5 – установочный винт

Предел прочности древесины при скалывании вдоль волокон в МПа с влажностью в момент испытания W вычисляют по формуле

$$\tau_w = \frac{F_{\max}}{b \cdot \ell} \quad (3.9)$$

и пересчитывают на влажность 12 % по формуле

$$\tau_{12} = \tau_w [1 + \alpha(W - 12)],$$

где α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,03 для всех пород;

W – влажность образца в момент испытания, %.

Результаты испытаний

Результаты испытания заносят в табл. 3.8, 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 τ , МПа			
Влажность в момент испытания W , %			
Предел прочности при влажности 12 %, МПа			
Среднее арифметическое значение предела прочности при скалывании, 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 нагрузки. Это обстоятельство подлежит учету при расчете врубок стропил, стоек, узлов деревянных ферм и других конструкций. Один из возможных примеров приведен на рис. 3.6.

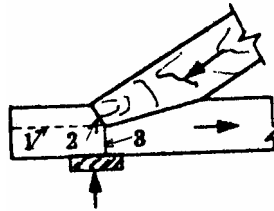


Рис. 3.6. Узел стропильной системы:

1 – площадь скалывания; 2 – площадь восприятия сжимающей нагрузки от верхнего пояса; 3 – площадь растяжения

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ В ГОДИЧНОМ СЛОЕ И ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА ЕЕ ПРОЧНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕТОДОМ

Приборы и материалы

1. Линейка измерительная с погрешностью измерения не более 0,5 мм.
2. Измеритель с погрешностью измерения до 0,1 мм.

Методика испытаний

На поперечном срезе ствола видны годовичные кольца, каждое из которых состоит:

- 1) из слоя *ранней* древесины (весна – лето), светлоокрашенной, пористой, малопрочной и недолговечной;
- 2) 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, используя ГОСТ 16483.18, следующим образом.

На гладко обработанной поверхности поперечного разреза древесины проводят линию в радиальном направлении (перпендикулярно касательным к годовичным кольцам), и на ней отмечают отрезок длиной ℓ , – например, 30 мм (но не менее 20 мм).

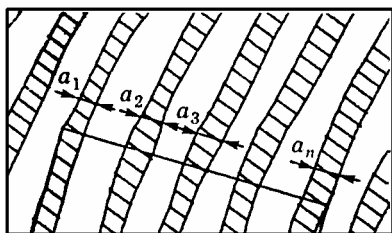


Рис. 3.7. Определение процентного содержания поздней древесины

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. 3.7).

Все полученные величины суммируют и вычисляют по формуле содержание поздней древесины m в процентах:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{\ell} \cdot 100, \quad (3.10)$$

где

$$\sum a_i = (a_1 + a_2 + a_3 \dots a_n). \quad (3.11)$$

Средняя плотность 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;
- 2) по величине средней плотности древесины при стандартной влажности.

Прочность древесины при сжатии $R_{сж}$ в МПа при стандартной влажности рассчитывают по формулам

$$R_{сж\ 12} = A \cdot m + B, \text{ МПа}; \quad (3.12)$$

$$R_{сж\ 12} = C \cdot \rho_{ср\ 12} + D, \text{ МПа}, \quad (3.13)$$

где m – содержание поздней древесины, %;

$\rho_{ср\ 12}$ – средняя плотность древесины при стандартной влажности, г/см^3 ;

A, B, C, D – эмпирические коэффициенты, принимаемые по табл. 3.9.

Т а б л и ц а 3.9

Эмпирические коэффициенты для ориентировочной оценки прочности древесины

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

$$R_{сж} = 0,6 m + 30. \quad (3.14)$$

Результаты испытаний

Результаты испытания следует записать в табл. 3.10.

Т а б л и ц а 3.10

Результаты определения содержания поздней древесины

Порода _____

Определения	Номер образца		
	1	2	3
Общая длина отрезка ℓ по радиальному направлению при поперечном разрезе, мм			
Суммарная ширина частей поздней древесины в годичных слоях Σa_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 значениях 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 объясняется различная величина линейной усушки в указанных направлениях (см. задание 2).

При рассмотрении поперечного разреза древесины следует обратить внимание на особенность строения годовичных 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 годовичного 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 «Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения» и Технические условия на пиломатериалы хвойных и лиственных пород (ГОСТ 8486, ГОСТ 2695).

Результаты испытаний

Результаты осмотра и измерения заносят в табл. 3.11.

Т а б л и ц а 3.11

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

Методика испытаний

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 20.022.2 их назначение, основные свойства и область применения.

Результаты испытаний

Результаты осмотра заносят в табл. 3.12.

Т а б л и ц а 3.12

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. Перечень составляют студенты с помощью преподавателя.

Физико-технические показатели древесины

№ пп	Определения	Полученные результаты			
		1	2	3	среднее
1	Влажность, %				
2	Линейная усушка, %: 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: при сжатии вдоль волокон при изгибе при скалывании вдоль волокон				
6	Микроструктура				
7	Содержание поздней древесины m , %				
8	Качество пиломатериалов по наличию пороков				
9	Защитные средства				

Контрольные вопросы для защиты 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. Перечислить положительные и отрицательные свойства древесины.
5. К какому виду строительных материалов относится древесина?
6. Каково макростроение древесины?

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 определить влажность древесины?
12. Что такое гигроскопическая и капиллярная влажность древесины?
13. Какова величина 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 вероятно выпучивание (коробление) доски при увеличении влажности древесины?
18. В каком направлении вероятно выпучивание (коробление) доски при уменьшении влажности древесины?
19. Нарисовать и объяснить схему коробления досок при высушении.
20. В каком направлении вытянуты клетки древесины?
21. В каком направлении наблюдается наименьшая теплопроводность древесины?
22. Какая часть древесины годичного слоя плотнее: внутренняя (ближе к оси ствола) или наружная?
23. Какое значение имеет содержание поздней древесины?
24. Чем определяется сорт пиломатериалов?
25. Для чего предназначены антисептики?
26. Для чего предназначены антипирены?

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в К.Н., К а д д о М.Б., К у л ь к о в О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999. – С. 240.
2. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. школа, 1984. – 165 с.
3. ГОСТ 16483.1. Древесина. Метод определения плотности.
4. ГОСТ 16483.5. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон.
5. ГОСТ 16483.7. Древесина. Методы определения.
6. ГОСТ 16483.10. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон.
7. ГОСТ 2140. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения.
8. ГОСТ 2695. Пиломатериалы лиственных пород. Технические условия.
9. ГОСТ 8486. Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия.
10. ГОСТ 20.022.2. Защита древесины. Классификация.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 4

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО И СИЛИКАТНОГО КИРПИЧЕЙ

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 нормативной документации (СТБ, ГОСТ).
4. Определить особенности применения различных видов кирпича с учетом их свойств.

4.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какое основное и вспомогательное сырье используют для получения керамического и силикатного кирпича?
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 материалов для наружной отделки зданий?
8. 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?

4.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Оценка качества стеновых материалов по показателям внешнего вида и предельным отклонениям от геометрических размеров.

Задание 2. Определение водопоглощения по массе при атмосферном давлении.

Задание 3. Определение средней плотности кирпича.

Задание 4. Определение плотности (истинной плотности) и пористости кирпича.

Задание 5. Оценка теплопроводности кирпича и расчет требуемой толщины стены.

Задание 6. Оценка морозостойкости кирпича.

Задание 7. Определение показателей прочности кирпича.

Задание 8. Определение коэффициента размягчения силикатного кирпича.

Задание 9. Общее заключение о качестве кирпича.

4.3. Общие сведения о керамических материалах

1. 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, прочность, теплопроводность, зависят от степени обжига и их структуры. При обжиге до температуры 950...1000 °С получают изделия с пористостью 8...38 % (стенные, кровельные, облицовочные, теплоизоляционные материалы). 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 (полнотельный) и эффективный (пустотельный);
пустотелые керамические камни.

Основное назначение кирпича – кладка стен, поэтому к нему предъявляются требования:

- 1) по прочности на изгиб;
- 2) по прочности на сжатие;
- 3) по теплопроводности;
- 4) по морозостойкости (для кладки наружных стен).

Сырьем для производства керамического кирпича служат, главным образом, глинистые породы; кроме того, могут быть использованы кремнеземистые породы (трепел, диатомит) и некоторые промышленные отходы (например, золы тепловых электростанций).

Для получения кирпича используют следующие способы:

- 1) пластического формования (методом экструзии);
- 2) полусухого прессования (способом компрессии).

По первому способу сырье раздробляют, увлажняют и перемешивают с отощителем до получения пластичной однородной массы с влажностью примерно 20...25 %. Из такой массы на шнековых

ленточных прессах формуют 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).

По второму способу кирпич прессуют под давлением до 15 МПа из порошка малой влажности (8...12 %), получаемого помолом сырья или сушкой суспензий в распылительных аппаратах, затем обжигают (сушка в данном случае необязательна).

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, коническую форму пустот.

Полусухой способ производства керамического кирпича имеет преимущества перед пластическим: требует меньших затрат теплоты на сушку изделий; позволяет использовать малопластичные глины; уменьшается потребность в производственных площадях и рабочей силе. Однако у кирпича, получаемого полусухим способом, морозостойкость ниже, чем у кирпича, полученного пластическим формованием.

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. 4.1).

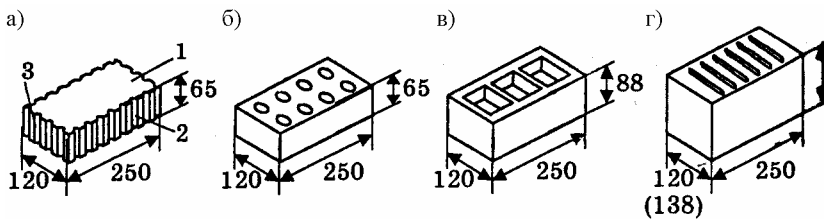


Рис. 4.1. Кирпичи обыкновенный, пустотелый и камень керамический: а – кирпич пластического формования: 1 – постель (плашок); 2 – ложок; 3 – тычок; б – кирпич полусухого прессования; одинарный (пустотелый); в – модульный (утолщенный); г – камень керамический семищелевой (с 7-ю пустотами)

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 определяется по формуле

$$K = V/1950, \quad (4.1)$$

где V – объем камня брутто, 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.

Средняя плотность керамического пустотелого кирпича заводов РБ – около 1600 кг/м³, пористо-пустотелого заводов РФ и Украины (по технологии Knauf) – 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, можно назвать *эффективным*. 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, раствора для их кладки и снизить стоимость строительства.

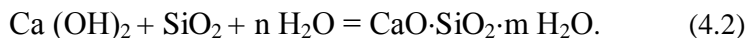
Пористый кирпич получают из пористого исходного сырья (трепела, диатомита) либо из глины с выгорающими при обжиге добавками, – например, с древесными опилками.

Пустотелый кирпич формуют со сквозными (при пластическом формовании) или несквозными (при полусухом) пустотами. Размеры пустот по теплотехническим соображениям ограничиваются.

2. Кирпич силикатный.

Силикатный кирпич отличается от керамического как по сырью и технологии производства, так и по свойствам. Сырьем служат кварцевый песок SiO₂ (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 гасится. Формование кирпича осуществляется на прессе под давле-

нием 15 МПа, после чего кирпич-сырец подвергается автоклавной обработке (температура насыщенного водяного пара 174°C, давление – 0,8...1,0 МПа), в результате которой известь и кварцевый песок вступают в химическую реакцию типа



В автоклавах реакция между известью 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 часть кварцевого песка, которая вступает в реакцию (часть кварцевого песка, которая не вступила в реакцию с известью, остается в кирпиче как заполнитель). 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 гидроксида кальция ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot m \text{H}_2\text{O}$) и гидрата оксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 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. к. 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.

Задания

Задание 1. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ВНЕШНЕГО ВИДА И ПРЕДЕЛЬНЫМ ОТКЛОНЕНИЯМ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

Приборы и материалы

1. Линейка измерительная металлическая.
2. Угольник поверочный 90°.
3. Штангенглубиномер.
4. Кирпичи керамические полнотелые и пустотелые.
5. Кирпичи силикатные утолщенные пустотелые.

Методика испытаний

Изучению и сравнению подлежат два вида кирпича: кирпич керамический полнотелый и кирпич силикатный утолщенный пустотелый. Технические требования и методы контроля керамического кирпича изложены в СТБ 1160, силикатного – в СТБ 1228.

Дефекты формы, отклонения от размеров, наличие трещин, отбитостей не только ухудшает эстетический вид изделий, но и снижает эксплуатационные свойства. Для определения размеров изделия замеры производят в 3-х местах:

- 1) длины и ширины – по ребрам и середине плашка (постели);
- 2) толщины – по середине тычка и ложка.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение параллельных определений.

Глубину отбитости и притупленности углов и ребер измеряют по перпендикуляру от вершины угла или ребра, образованного угольником, до поврежденной поверхности.

Для определения *отбитости ребер* определяют участок с глубиной отбитости не более 10 мм, а затем измеряют длину отбитости этого участка.

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 измерения *отклонения от перпендикулярности (неперпендикулярности) граней* на изделии зачищают заусеницы ребер и по-

очередно прикладывают угольник большей опорной стороной к одной ложковой грани и измеряют наибольший зазор между тычковой гранью и внутренней поверхностью меньшей стороны угольника. При этом длина большей стороны угольника должна быть не меньше длины грани, к которой он прикладывается. Затем угольник прикладывают ко второй ложковой грани и замеряют зазор на второй тычковой грани. После этого угольник большей опорной стороной прикладывают к одной плашковой грани и замеряют наибольший зазор между ложковой гранью и внутренней поверхностью меньшей стороны угольника, затем угольник прикладывают ко второй плашковой грани и замеряют зазор на ней.

За результат отклонения от перпендикулярности граней принимают значение наибольшего из измеренных зазоров с погрешностью измерения не более 1 мм, отнесенного к длине измеряемой грани:

$$П = \frac{a}{L} \cdot 100 \%, \quad (4.3)$$

где a – внутренний зазор между меньшей длиной внутренней стороны угольника и гранью, мм;

L – длина грани, к которой прикладывается большая сторона угольника.

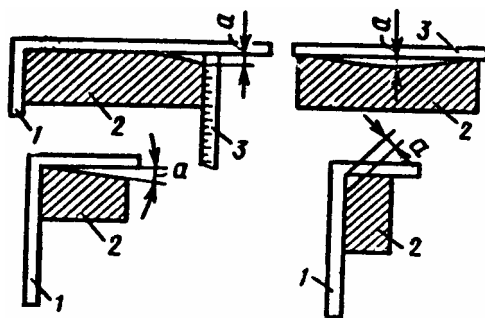


Рис. 4.2. Измерение искривлений поверхности и ребер:
1 – угольник; 2 – кирпич; 3 – металлическая линейка

Отклонения от прямолинейности ребра изделия проверяют путем приложения средней грани поверочной линейки ко всей длине ребра изделия и измерения зазора между ними.

За результат отклонения от прямолинейности ребра принимают значение наибольшего из измеренных зазоров с погрешностью измерения не более 1 мм.

Для силикатного кирпича допускаемые стандартами отклонения от номинальных размеров меньше, чем для керамического.

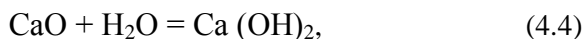
Кроме показателей внешнего вида и габаритных размеров образцы кирпича подлежат испытанию на следующие требования стандартов: для кирпича керамического – наличие недожога, пережога, «дутика»; для кирпича силикатного – включений песка, глины в изломе, непогасившихся зерен.

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 их легко по цвету при сравнении с цветом эталона – нормально обожженного кирпича из данного сырья – или по звучанию при простукиванию. Нормально обожженный кирпич должен быть по всему объему одинакового цвета, при ударе молотком он «звонит». 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, негашенная молотая известь-кипелка при увлажнении смеси должна загаситься. Если в сформованном кирпиче останется негашенная известь (вследствие недостаточного количества воды для затворения), она обычно гасится в процессе автоклавной обработки, что приводит к вздутию, образованию трещин и разрыхлению структуры.

Результаты испытаний

Результаты осмотра и измерения образцов при сопоставлении их с требованиями нормативной документации заносятся в таблицу.

Т а б л и ц а 4.1

Результаты осмотра и измерения образцов

Показатели внешнего вида	Кирпич керамический					Кирпич силикатный								
	требования СТБ 1160	результаты осмотра образцов					требования СТБ 1228	результаты осмотра образцов						
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
Номинальные размеры: длина, мм ширина, мм толщина, мм	±5						±2 ±2							
Трещины протяженностью: по плашку (постели) – до ... мм (на всю толщину) на ложковых гранях, шт. на тычковых гранях, шт.														

Кроме показателей, отраженных в таблице, кирпич подлежит изучению на соответствие следующим требованиям стандартов:

для кирпича керамического – отсутствие:

- 1) недожога;
- 2) пережога;
- 3) «дутика»;

для кирпича силикатного – отсутствие:

- 1) зерен песка, комков глины в изломе;
- 2) непогасившихся зерен.

Заключение

Результаты определения качества стеновых материалов (керамического и силикатных кирпичей) сравнить с данными нормативных документов (ГОСТ, СТБ и др.) и сделать заключение об их использовании (для наружных и внутренних стен; без штукатурки или с ней).

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПО МАССЕ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

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 водопоглощение кирпича, тем больше его 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 поглощать и удерживать воду при непосредственном с ней соприкосновении.

Различают водопоглощение по массе и объему.

Водопоглощением по массе называется количество воды, которое может поглотить данный кирпич в стандартных условиях насыщения. Она характеризуется отношением в процентах массы воды, поглощенной в установленный срок полностью погруженным в воду кирпичом при нормальном атмосферном давлении, к массе того же кирпича в сухом состоянии.

Водопоглощением по объему называется отношение массы поглощенной кирпичом воды к объему кирпича в естественном состоянии.

Для кирпича керамического полнотелого одинарного (нормального формата), согласно СТБ 1160, величина водопоглощения по массе должна быть не менее 8 %. Меньшее водопоглощение может иметь только пережженный керамический кирпич, а такой кирпич для кладки стен непригоден, так как характеризуется повышенной теплопроводностью.

Приборы и материалы

1. Сосуд с решеткой.
2. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах 100...110 °С.
3. Технические весы.
4. Ванна для воды с решеткой.
5. Кирпич керамический (3 шт.) и кирпич силикатный (3 шт.).

Методика испытаний

Водопоглощение определяют по методике ГОСТ 7025. Образцы кирпича выдерживают в воде 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

Водопоглощение (B_m) образцов по массе в % вычисляют по формуле

$$B_m = \frac{m_{нас} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100, \quad (4.5)$$

где $m_{нас}$ – масса образца материала в насыщенном водой состоянии;
 $m_{сух}$ – то же в высушенном состоянии.

Результаты определений заносят в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2

Результаты испытаний

Определения (показатели)	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича $m_{сух}$, г						
Масса кирпича, насы- щенного водой, $m_{нас}$, г						
Водопоглощение по массе B_m , %						
Среднее арифметиче- ское из 3-х частных определений, %						
Нормативный доку- мент	СТБ			СТБ		
Требования по водопо- глощению						

Заключение

Сравнивая полученные результаты по водопоглощению с нормативными требованиями, сделать вывод о возможности применения испытанных материалов в качестве стеновых.

Задание 3. 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 испытаний

Когда кирпич имеет форму прямоугольного параллелепипеда, его среднюю плотность можно определить делением массы кирпича на произведение номинальных размеров, т. е. на объем ($V_{ест}$).

Согласно ГОСТ 7025-91, объем образцов определяется по их геометрическим размерам, измеренным с погрешностью не более 1 мм. Для определения каждого линейного размера образец измеряют в трех местах – по ребрам и середине грани. За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений.

Среднюю плотность вычисляют по формуле с точностью до 10 кг/м³:

$$\rho_{0c} = \frac{m_{cyx}}{V_{ест}} \cdot 1000, \text{ кг/м}^3 \quad (4.6)$$

где m_{cyx} – масса высушенного кирпича, г;

$V_{ест}$ – объем кирпича, см³.

Среднюю плотность образца, насыщенного водой, вычисляют по формуле

$$\rho_o = \frac{m_{нас}}{V_6} \cdot 1000, \quad (4.7)$$

где m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

V_6 – масса воды, вытесненной образцом, г.

Для выполнения данной задачи можно использовать образцы, с которыми работали при выполнении задания № 2.

Объем образцов-кирпичей неправильной геометрической формы (т. е. с дефектами) определяют с помощью объемомера, который представляет собой металлический цилиндр со сливом. Объемомер наполняют водой комнатной температуры и, когда прекратится падение капель со слива, под трубку ставят предварительно взвешенный сосуд. Затем образец-кирпич, насыщенный водой, осторожно погружают в сосуд; при этом вода, вытесненная образцом, будет стекать по сливу в сосуд. После прекращения падения капель сосуд вновь взвешивают и определяют массу воды (m_v). Масса вытесненной воды в граммах соответствует объему образца в см^3 .

За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений.

Результаты испытаний

Результаты определений заносят в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

Результаты испытаний

Определения	Кирпич керамический			Кирпич силикатный		
	1	2	3	1	2	3
Масса высушенного кирпича $m_{\text{сух}}$, г						
Объем образца (кирпича) V , см^3						
Средняя плотность сухого кирпича ρ_0 , $\text{г}/\text{см}^3$						
То же, $\text{кг}/\text{см}^3$						
Среднее арифметическое результа- тов определения ρ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$						

Заключение

Сравнить полученные величины средней плотности между собой и сделать прогноз по прочности и теплопроводности для каждого вида кирпича.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ (ИСТИННОЙ ПЛОТНОСТИ) 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 его объему 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 лабораторной работы студентам предоставляются готовые порошки, приготовленные из керамического и силикатного кирпича.

Ускоренное определение плотности вещества ρ производится в приборе Ле-Шателье. Его сущность состоит в вытеснении порошком заданного объема жидкости (например, бензина), причем фиксируют массу израсходованного порошка и делят ее на объем вытесняемой жидкости.

Зная плотность вещества ρ и среднюю плотность кирпича ρ_0 (из задания 3), рассчитывают пористость кирпича в процентах по формуле

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100. \quad (4.8)$$

Пористость – это степень заполнения порами объема материала – относительная величина, показывающая, какая часть этого объема занята внутренними порами. С величиной пористости кирпича связаны такие важнейшие свойства, как прочность, водопоглощение, водопроницаемость, теплопроводность, морозостойкость.

Пористость стеновых каменных материалов косвенно контролируется по величине водопоглощения, минимальное значение которой ограничивается соответствующими стандартами (не менее 6...8 % в зависимости от вида стенового керамического материала и его марки и 8...16 % – для силикатного кирпича).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 4.4.

Т а б л и ц а 4.4

Результаты определения истинной плотности кирпича

Определения	Кирпич керамический		Кирпич силикатный	
	1	2	1	2
Исходная навеска сухого порошка, г				
Масса остатка от навески, г				
Израсходовано порошка, г				
Объем жидкости, вытесненной порошком, см ³				
Истинная плотность вещества кирпича ρ , г/см ³				
То же, кг/м ³				
Среднее арифметическое значение истинной плотности, кг/м ³				
Средняя плотность кирпича ρ_0 (из задания 3), кг/м ³				
Пористость кирпича П, %				

Заключение

Сравнить полученные результаты; объяснить, почему они получились близкими.

Задание 5. ОЦЕНКА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КИРПИЧА И РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНЫ

Методика испытаний

Теплопроводность – один из главных показателей свойств каменных стеновых материалов. Он зависит от целого ряда факторов: общей пористости материала, 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 проф. В.П.Некрасовым:

$$\lambda = 1,163\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,163, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, \quad (4.9)$$

где d – относительная плотность, выражающая отношение плотности материала к плотности стандартного вещества ρ_0 при определенных физических условиях.

В качестве стандартного вещества удобно принять воду при температуре 4°С (точнее, при 3,98°С), имеющую при этой температуре $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$.

Однако эту зависимость между плотностью и теплопроводностью можно использовать лишь для ориентировочной оценки теплофизических свойств кирпича.

В лаборатории имеются графики зависимости расчетной теплопроводности кирпичной кладки от плотности кирпича 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 3) по графикам можно определить теплопроводность керамического и силикатного кирпича. Результаты определения полезно сопоставить с величинами его пористости (из задания 4) и объяснить.

Знание теплопроводности того или иного стенового материала позволяет правильно оценить его качество и рассчитать толщину наружного ограждения из этого материала по заданным условиям.

Требуемая толщина кирпичных стен из условия необходимой теплозащиты рассчитывается по формуле

$$\delta = R \lambda, \quad (4.10)$$

где δ – толщина стен, м;

R – требуемое термическое сопротивление стен, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ (согласно СНБ 2.04.01-97);

λ – теплопроводность кирпичной кладки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Результаты испытаний

Результаты расчета записывают в табл. 4.5.

Т а б л и ц а 4.5

Толщина стены в зависимости от вида кирпича

Вид кирпича	Средняя плотность сухого кирпича, $\text{кг}/\text{м}^3$	Теплопроводность кладки, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	Требуемая толщина стен, м, для обеспечения термического сопротивления, $2,0 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Толщина стен с учетом кратности размеров кирпича, м
Керамический полнотелый		0,7		
Силикатный полнотелый		0,96		
Эффективный керамический				

Заключение

Проанализировать данные таблицы с учетом материальных и трудовых затрат на 1 м^2 стен разной толщины; сравнить с подобны-

ми расчетами толщины стен из эффективного кирпича и других материалов.

Сделать заключение, что может дать замена обычного кирпича на эффективный (пустотелый); как сделать стену здания более легкой и тонкой.

Задание 6. ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ КИРПИЧА

Способность насыщенного водой материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения называется *морозостойкостью*. Морозостойкость материала зависит от его пористости, формы и размера пор и степени насыщения их водой.

Методика испытаний

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 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 значительно меньше пористости.

Водопоглощение по объему соответствует объему пор, заполненных водой. Степень заполнения пор водой характеризует коэффициент насыщения, равный отношению водопоглощения по объему B_v к пористости материала Π :

$$K_{нас} = \frac{B_v}{\Pi}. \quad (4.11)$$

Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$ показывает в относительных единицах объем пор, занятых водой. Значения величины пористости кирпича получают из задания 4.

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.

Результаты испытаний

Результаты расчета W_o по данным из заданий 2, 3 и $K_{нас}$ – по данным из задания 4 заносят в табл. 4.6.

Т а б л и ц а 4.6

Результаты расчета

Показатель	Вид кирпича	
	керамический	силикатный
Водопоглощение по массе B_m , %		
Средняя плотность сухого кирпича ρ_o , кг/м ³		
Водопоглощение по объему B_v , %		
Коэффициент насыщения пор $K_{нас}$		
Прогноз морозостойкости кирпича		

Заключение

Сделать вывод о морозостойкости испытанных видов кирпичей.

Задание 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ КИРПИЧА

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический.
2. Линейка измерительная металлическая.
3. Пластина 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, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент марки 400.
8. Гипсовое вяжущее марки Г-16.
9. Приспособление для испытания на изгиб.
10. 15 кирпичей.

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 или СТБ 1228 требуемое число образцов для испытаний на сжатие и на изгиб.

Испытание 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, с выровненными тем же раствором опорными гранями.

Для испытания керамического кирпича на изгиб необходимо предварительное выравнивание цементным или гипсовым раствором участков плашков (постелей) в местах опирания и приложения нагрузки.

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. 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 определяется марка стенового материала (например, силикатного кирпича).

Расчет предела прочности при изгибе производится по формуле

$$R_{изг} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F\ell}{bh^2}, \text{ МПа}, \quad (4.12)$$

где F – наибольшее усилие при испытании образца;

ℓ – расстояние между опорами, мм;

b – ширина образца, мм;

h – высота образца в середине пролета, мм.

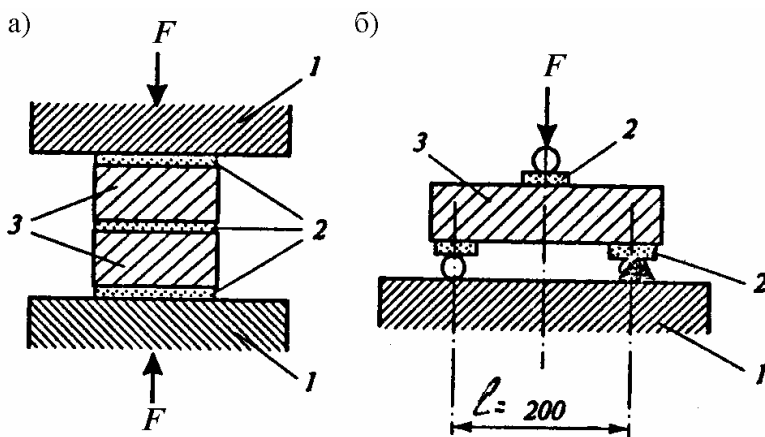


Рис. 4.3. Схема испытаний кирпича на сжатие (а) и изгиб (б) при определении его марки по прочности:

1 – плита пресса; 2 – выравнивающий материал; 3 – кирпич

Предел прочности при сжатии определяется по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \text{ МПа}, \quad (4.13)$$

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.

Наибольшее усилие определяют по показаниям силоизмерителя в момент разрушения образца. Если на прессе установлен манометр, показывающий давление в цилиндре, разрушающее усилие определяют, умножая показание манометра на площадь поршня прессы.

Результаты испытаний

Результаты определения предела прочности при изгибе силикатного кирпича заносят в табл. 4.7.

Т а б л и ц а 4.7

Результаты определений прочности при изгибе

Определения	Единицы измерения	Номер образца				
		1	2	3	4	5
Расстояние между осями опор ℓ	мм					
Ширина кирпича b	мм					
Высота образца посередине пролета (толщина) h	мм					
Разрушающее усилие при изгибе F	Н					
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$	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. 4.8.

Результаты определения предела прочности при сжатии

Определения	Единицы измерения	Номер образца				
		1	2	3	4	5
Площадь поперечного сечения образца A	мм ²					
Разрушающее усилие при сжатии F	Н					
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$	МПа					
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж\text{ ср}}$ для пяти образцов	МПа					
То же с учетом п. 3.2.1 ГОСТ 8462-85	МПа					
Наименьший предел прочности при сжатии из пяти изделий $R_{сж}$	МПа					
Марка кирпича по пределу прочности при сжатии						

Заключение

1. Определить марку силикатного кирпича. Сделать заключение.
По пределу прочности при сжатии кирпич соответствует марке _____

По пределу прочности при изгибе кирпич соответствует марке _____

Марка кирпича по прочности _____

Дополнительным заданием является определение марки керамического кирпича по готовым результатам испытаний, выдаваемым преподавателем индивидуально каждому студенту.

2. Определить марку по прочности керамического кирпича. Сделать заключение.

Для определения марки кирпича по результатам прочностных испытаний воспользоваться числовыми примерами (табл. 4.9). Та-

кой метод дает возможность сэкономить учебное время, избавив студентов от необходимости изготовления пяти образцов для испытания на сжатие и пяти образцов для испытания на изгиб.

Т а б л и ц а 4.9

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)*	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	1,1
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

*В скобках – результаты для кирпича полусухого прессования.

Результаты расчета сводятся в табл. 4.10.

Т а б л и ц а 4.10

Пределы прочности кирпича

№ вариантов задания	Предел прочности, МПа									
	при сжатии					при изгибе				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж.}$ =					Среднее значение предела прочности при изгибе $R_{изг.}$ =					
То же с учетом п. 3.2.1 ГОСТ 8462_____					То же с учетом п. 3.3.1 ГОСТ 8462					

По СТБ_____ марка кирпича керамического

Толщина кирпичей (65 или 88 мм) в числовых примерах (табл. 4.10) задается преподавателем, ведущим лабораторное занятие.

Задание 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМЯГЧЕНИЯ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА

Приборы и материалы

1. Сосуд с решеткой.
2. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры в пределах 100...110°C.
3. Пресс гидравлический.
4. Линейка измерительная металлическая.
5. Кирпичи силикатные.

Методика испытаний

Насыщают водой не менее трех 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:

$$K_{разм} = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}. \quad (4.14)$$

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. 4.11.

Результаты испытаний кирпича на водостойкость

Определения	Единицы измерения	Номер образца		
		1	2	3
Площадь поперечного сечения образцов A	мм ²			
Разрушающее усилие при сжатии F	Н			
Предел прочности при сжатии $R_{сж\ наc}$	МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж\ наc}$	МПа			
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж\ сух}$ (из задания № 7)	МПа			
Коэффициент размягчения				
Прогноз водостойкости кирпича				

Заключение

По полученному прогнозу водостойкости сделать прогноз об использовании данного кирпича в определенных частях здания.

Задание 9. 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 подвалов, печей, дымоходов, труб.

По результатам испытаний делают заключение:

Кирпич силикатный 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 СТБ 1228.

Примеры условных обозначений:

Кирпич КПО 150/15/ СТБ 1160 – кирпич керамический пустотелый одинарный марки по прочности 150, по морозостойкости F15.

Кирпич СОР 150/15 СТБ 1228 - кирпич силикатный одинарный рядовой марки по прочности 150, по морозостойкости F15.

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.

Кирпич СЛД 150/25 СТБ 1228 - кирпич силикатный лицевой декоративный марки по прочности 150, по морозостойкости F25.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Из какого сырья получают керамические изделия?
2. В чем разница между пластическим и полусухим способами изготовления кирпича? Как влияет способ формования на качество кирпича?
3. Почему не делают керамический кирпич размерами, например, 1x0,5x0,3 м? 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. Как определяется марка кирпича по прочности?
13. Как испытывают силикатный кирпич для определения марки по прочности?
14. Почему силикатный кирпич не применяют для кладки стен подземной части зданий или печей?
15. Где не рекомендуется 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; от чего она зависит?
20. Написать формулы для расчета предела прочности при сжатии $R_{сж}$ и при изгибе $R_{изг}$.
21. Почему недопустимо испытывать кирпич на сжатие без специальной обработки образца?
22. Какие показатели характеризуют качество стенового материала?
23. Что значит выражение: марка кирпича 75, 100, 300?
24. Как определить предел прочности при сжатии?
25. Как определить предел прочности при изгибе?
26. В чем преимущество применения пустотелого кирпича по сравнению с полнотелым?

27. Водопоглощение по объему; смысл и определение. Почему, согласно ГОСТ, к стеновым материалам предъявляются требования по водопоглощению?

28. Как определить водопоглощение кирпича по массе? Методика определения.

29. Как определить водопоглощение кирпича по объему? Изложить методику.

30. Что такое коэффициент насыщения $K_{\text{нас}}$; какое свойство кирпича он характеризует?

31. На какие свойства кирпича влияет величина средней плотности?

32. По каким критериям судят о результатах испытаний на морозостойкость?

Л и т е р а т у р а

1. Попов К.Н., Каддо М.П., Кульков И.В. Оценка качества строительных материалов. – М., 1999 – с. 235.

2. СТБ 1160-99. Кирпич и камни керамические. Технические условия.

3. СТБ 1228-2000. Кирпич и камни силикатные. Технические условия.

4. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.

5. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 5

ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Цель работы

1. Ознакомиться с особенностями гипсового вяжущего.
2. Закрепить теоретические представления о процессах, происходящих при получении и использовании этого вяжущего с результатами опытов.

3. Приобрести навыки работы с нормативной документацией.
4. Ознакомиться с методиками определения марки гипса и соответствия его техническим требованиям.
5. Научиться определять основные показатели качества материала и его технологические свойства.
6. Приобрести навыки научно-исследовательской работы.

5.1. 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 показателям определяют марку и вид ГВ?
13. Чем отличаются свойства гипсовых смешанных вяжущих от свойств гипсового вяжущего?
14. Применение гипсовых вяжущих в строительстве.

5.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста.

Задание 2. Определение предела прочности на растяжение при изгибе и на сжатие образцов из гипсового камня.

Задание 3. Определение конца текучести и сроков схватывания гипсового теста стандартной консистенции.

Задание 4. Определение тонкости (степени) помола гипсового вяжущего.

Задание 5 (исследовательское). Регулирование сроков схватывания гипсового теста.

Задание 6 (исследовательское). Определение водостойкости гипсового камня.

Задание 7 (исследовательское). Получение высокопрочного гипсового камня фильтрационным прессованием.

Задание 8. Исследование влияния волокнистого наполнителя на свойства гипсового камня.

5.3. Общие сведения о гипсовых вяжущих

5.3.1. Краткие сведения о процессах получения и твердения гипсовых вяжущих

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) ангидрит CaSO_4 ;

3) отходы промышленности.

На территории Республики Беларусь разрабатываемых месторождений указанной горной породы нет, и сырье приходится завозить с немалыми расходами на транспорт. В то же время остаются почти не использованными миллионы тонн фосфогипса – отходы производства фосфорной кислоты на Гомельском химическом заводе, 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 других веществ затрудняют их переработку в вяжущее. К тому же эти примеси токсичны и представляют собой серьезную угрозу окружающей среде. Тем более необходимо найти пути утилизации фосфогипсовых отходов. Этой проблемой заняты многие организации в нашей стране и за рубежом. Значи-

тельная работа по нейтрализации вредных примесей и получению высококачественного гипсового вяжущего из фосфогипса проведена на кафедре «Строительные материалы» БНТУ.

Сырье подвергают термической обработке в печах или варочных котлах при температуре 110...180°C, а затем размалывают, или наоборот, сначала размалывают, а затем в виде порошка подвергают термической обработке.

Цель термической обработки – частичная (неполная) дегидратация двухводного сульфата кальция:



Образовавшийся водяной пар отводится, а 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:

1) примеси, содержащиеся в сырье (чем их меньше, тем качество вяжущего выше);

2) негидратированный двухводный гипс (если температура термообработки была недостаточно высокой);

3) полностью гидратированный гипс – ангидрит CaSO_4 (если температура термообработки была слишком высокой).

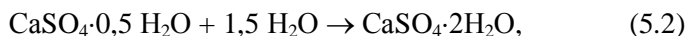
Двухводный гипс и ангидрит с водой не реагируют, вяжущими свойствами не обладают, и поэтому их присутствие в гипсовом вяжущем нежелательно.

Высокопрочный гипс – разновидность полуводного гипса.

При получении гипсового вяжущего термообработкой сырья при атмосферном давлении образующийся полугидрат сульфата кальция приобретает кристаллическую форму β -модификации. Если термообработку вести в герметически закрытых аппаратах под давлением 0,2...0,3 МПа с последующей сушкой при $t = 160...180^\circ\text{C}$, 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 частно-

сти, прочность получаемых из него изделий, резко возрастает. Прочность 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 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. 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.

По условиям твердения гипсовые вяжущие относятся к *воздушным*. 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:

- 1) водопотребность нормальной густоты;
- 2) сроки схватывания;
- 3) прочность на растяжение при изгибе и при сжатии образцов из затвердевшего гипсового теста (марка);
- 4) тонкость помола.

Кроме того, гипсовые вяжущие обладают такими характерными свойствами, как:

- 1) быстрое схватывание и твердение;
- 2) расширение при твердении с увеличением в объеме до 1 %.

Свойства гипсовых вяжущих регулируют путем введения:

- 1) химических добавок, ускоряющих или замедляющих сроки схватывания и твердения;
- 2) волокнистых минеральных и органических наполнителей и заполнителей, которые снижают ползучесть влажной гипсовой отливки, повышают предел прочности при изгибе и растяжении, уменьшают хрупкость гипсового камня и его плотность.

5.3.2. Виды и марки гипсовых вяжущих

Гипсовые вяжущие (ГВ) по ГОСТ 125-79 в зависимости от свойств разделяются на марки, группы и виды. Это деление основано на таких показателях, как сроки схватывания, тонкость помола, прочность при сжатии и изгибе.

В зависимости от *сроков схватывания* ГВ разделяют на: быстротвердеющие (А), нормальнотвердеющие (Б) и медленнотвердеющие (В) (табл. 5.1).

Т а б л и ц а 5.1

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	ненормируется

В зависимости от *пределов прочности* различают 12 марок гипсовых вяжущих, обозначаемых Г-п, где п – минимальный предел прочности при сжатии образцов в возрасте 2 ч. Например, марка вяжущего Г-5 соответствует пределу прочности при сжатии не менее 5 МПа, при изгибе - не менее 2,5 МПа, как показано в табл. 5.2.

Марки гипсовых вяжущих (по прочности)

Обозначение марки вяжущего	Предел прочности образцов в возрасте 2 ч, не менее	
	при сжатии $R_{сж}$, МПа	при изгибе $R_{изг}$, МПа
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

В зависимости от *степени помола* различают вяжущее грубого (I), среднего (II) и тонкого (III) помола (табл. 5.3).

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 определяются стандартом и указаны в табл. 5.4.

Области применения ГВ в зависимости от его марки и вида

№ пп	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 др.	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

Задания

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).

Стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста определяется по диаметру его расплыва при вытекании из полого цилиндра без дна (вискозиметра Суттарда) при его поднятии. Диаметр расплыва теста стандартной консистенции 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:

$$X\% = \frac{B}{G} \cdot 100. \quad (5.3)$$

Приборы и материалы

1. Прибор (вискозиметр Суттарда) в виде цилиндра из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью.
2. Весы по ГОСТ 19191-74 с погрешностью определения массы не более 1 г.
3. Ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1...2 мм.
4. Стекло с рядом нанесенных концентрических окружностей диаметром от 150 до 220 мм через каждые 10 мм и диаметром от 170 до 190 мм через каждые 5 мм.
5. Чашка из коррозионностойкого материала вместимостью более 500 см³.
6. Цилиндр для отмеривания воды.
7. Нож или линейка.
8. Гипсовое вяжущее.

Методика испытаний

Определение нормальной густоты гипсового вяжущего производят на приборе (вискозиметре Суттарда) из нержавеющей металла с полированной внутренней поверхностью в виде цилиндра высотой 100 мм внутренним диаметром 50 мм (рис. 5.1).

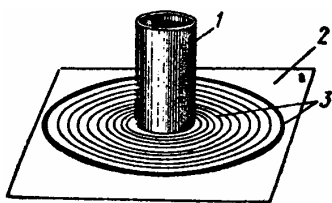


Рис. 5.1. Вискозиметр Суттарда

На стекле или специальной бумаге, находящейся под стеклом, нанесены концентрические окружности через каждый сантиметр, облегчающие замер расплыва.

Последовательность действий во время опыта:

1. Подготовить вискозиметр Суттарда. Тщательно очистить цилиндр, протереть влажной мягкой тканью его внутреннюю поверхность и стекло и разместить 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.

4. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, быстро наполнить гипсовым тестом, излишки которого срезать влажным ножом или линейкой. Через 45 с 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. Время перемешивания строго соблюдают, так как вязкость гипсового теста быстро возрастает со временем, и нарушение продолжительности перемешивания дает искаженные результаты испытания.

Гипсовое тесто растекается по поверхности стекла в виде конической лепешки, нижний диаметр которой 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 взято мало. Если диаметр лепешки – больше 18 см, – тесто слишком жидкое и содержит лишнюю воду.

Результаты испытаний

Результаты определения стандартной консистенции (нормальной густоты) гипсового теста заносят в лабораторный журнал (табл. 5.5).

Прибор _____

№ опыта	Масса гипсового вяжущего ГВ, г	Масса воды, В, г	Время приготовления теста, с		Диаметр расплыва, Д, мм
			перемешивание	заполнение цилиндра и выдержка	
1	300		30	15	
2					
3					
4					

Заключение

Сделать выводы по результатам задания 1.

На основании полученных данных стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста соответствует водопотребности X в процентах.

Эта характеристика используется при выполнении последующих заданий лабораторной работы.

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 различают марки гипсовых вяжущих.

Приборы и материалы

1. Чашка из коррозионностойкого материала вместимостью более 500 см³.

2. Ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1...2 мм.

3. Весы по ГОСТ 19191-74 с погрешностью определения массы не более 1 г.
4. Формы из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40x40x160 мм по ГОСТ 310.4-81.
5. Прибор для испытания на изгиб по ГОСТ 310.4-81.
6. Прибор для определения прочности на сжатие, состоящий из двух металлических пластин твердостью по Роквеллу HRC не менее 60.
7. Пресс для определения предела прочности образцов при сжатии с предельным усилием до 1000 Н.
8. Образцы, изготовленные из гипсового теста стандартной консистенции.
9. Мерные стеклянные цилиндры для отмеривания требуемого количества воды.
10. Гипсовое вяжущее.

Методика испытаний

Определение предела прочности при изгибе и сжатии на образцах из гипсового вяжущего производят по ГОСТ 23789-79 следующим образом:

1. Изготавливают три образца-балочки размером 40x40x160 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 смесь интенсивно перемешивают ручной мешалкой в течение 60 с до получения однородного теста, которое затем немедленно заливают в металлические формы, внутренняя поверхность которых слегка смазана минеральным маслом.

Отсеки 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 торцовую 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. Определяют прочность образцов, изготовленных из гипсового теста стандартной консистенции, через 2 ч после контакта гипсового вяжущего с водой.

Определение предела прочности на растяжение при изгибе производят испытанием трех образцов-балочек на приборе МИИ-100 или на другом испытательном приборе. Образец устанавливают на опоры прибора таким образом, чтобы грани, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении (рис. 5.2). 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.

3. Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу подвергают испытанию на сжатие. Для этого каждую половинку балочки помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой гладкой стенке образца. Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе (рис. 5.3).

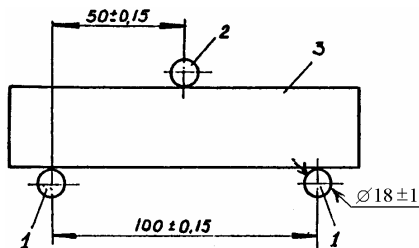


Рис. 5.2. Схема испытания балочки на изгиб:

- 1 – опоры; 2 – нагружающий валик;
3 – балочка

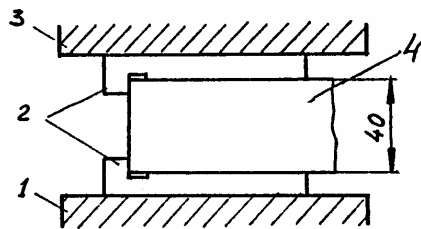


Рис. 5.3. Схема испытания балочки на сжатие:

- 1 – нижняя плита пресса; 2 – пластинки;
3 – верхняя плита пресса; 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 в МПа производят по формуле

$$R_{\text{сжс}} = \frac{F}{A}, \quad (5.4)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – рабочая площадь пластины, равная 2500 мм².

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний без наибольшего и наименьшего результатов.

Результаты испытаний

Полученные результаты заносят в протокол изготовления образцов-балочек (табл. 5.6), а результаты испытаний на изгиб и сжатие – в табл. 5.7 и 5.8.

Т а б л и ц а 5.6

Изготовление образцов-балочек из гипсового теста стандартной консистенции

Определения	Показатели
Навеска вяжущего, г	
Процент воды от массы вяжущего	
Количество воды, мл	
Способ перемешивания	
Время перемешивания	
Метод изготовления	
Размеры образцов, мм	
Сроки и условия хранения	

Т а б л и ц а 5.7

Предел прочности образцов из гипсового камня на растяжение
при изгибе

Прибор для испытания _____

Результаты испытаний	Единицы измерения	№ образца		
		1	2	3
Предел прочности на растяжение при изгибе	кгс/см ² , МПа			
Среднее арифметическое трех испытаний	МПа			

Согласно ГОСТ 125, предел прочности на растяжение при изгибе соответствует требованиям к марке Г-_____.

Т а б л и ц а 5.8

Предел прочности на сжатие

Марка и предел измерения прессы _____

Показатели	Единицы измерения	№ половинок-балочек					
		1	2	3	4	5	6
Разрушающее усилие	Н						
Рабочая площадь пластины	мм ²						
Предел прочности на сжатие	МПа						
Среднее арифметическое 4-х испытаний	МПа						

Согласно ГОСТ 125, 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 применяются 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 из коррозионностойкого материала.
4. Весы.
5. Полированная пластинка.
6. Мерный стеклянный цилиндр для отмеривания воды.
7. Гипсовое вяжущее.

Методика испытаний

Сущность метода по ГОСТ 23789-79 состоит в определении времени от начала контакта ГВ с водой до начала и конца схватывания гипсового теста.

Для определения конца текучести и сроков схватывания теста используют прибор Вика (рис. 5.4).

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.

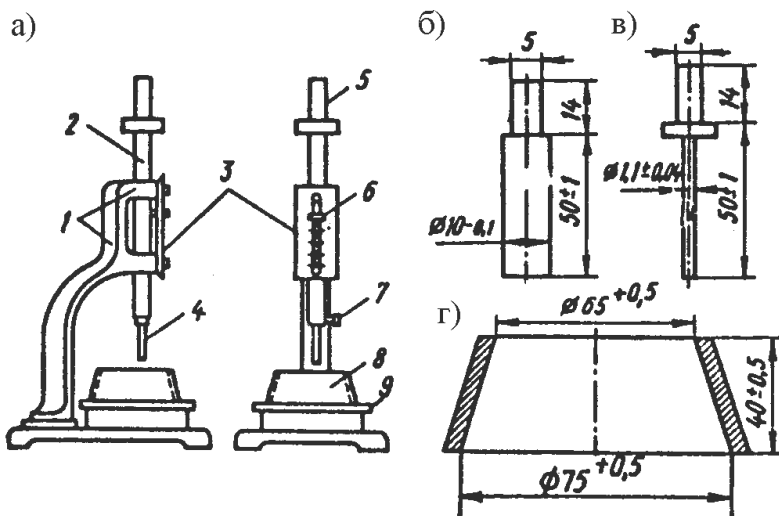


Рис. 5.4. Прибор Вика (а) и приспособления к нему (б...г):
 1 – станина; 2 – стержень; 3 – шкала; 4 – игла; 5 – пестик; 6 – указатель; 7 – винт;
 8 – кольцо; 9 – стеклянная пластина

Для определения сроков схватывания гипсового теста в чашку наливают количество воды, которое соответствует нормальной густоте для 300 г гипса, затем всыпают отвешенные 300 г гипса и фиксируют время заворачивания, равномерно перемешивая смесь в течение 30 с ручной мешалкой.

Перемешенным тестом заполняют стандартное коническое кольцо прибора высотой 40 мм, предварительно протертое, 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 прибора с иглой приводят в соприкосновение с поверхностью гипсового теста в центре кольца, закрепляют стержень стопорным устройством и опускают иглу через каждые 30 с. 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:

- 1) когда отверстие после извлечения иглы из теста перестанет заплывать;
- 2) когда свободно опущенная игла после погружения в тесто в первый раз не доходит до поверхности пластинки;
- 3) когда свободно опущенная игла погружается на глубину не более 1 мм.

Время в минутах, истекшее от момента добавления вяжущего к воде до каждого из трех состояний, называют соответственно:

- 1) концом текучести;
- 2) началом схватывания;
- 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 $G =$ _____ г
Количество воды $B =$ _____ г

$$\frac{B}{G} \cdot 100\% = \quad (5.5)$$

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 в 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

По срокам схватывания гипсовое вяжущее удовлетворяет (или не удовлетворяет) требованиям ГОСТ 125-79 и относится к виду _____, индекс сроков твердения – _____.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОНКОСТИ (СТЕПЕНИ) ПОМОЛА ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО

Приборы и материалы

1. Сушильный шкаф.
2. Весы технические по ГОСТ 19491-71 с погрешностью определения массы не более 0,05 г.
3. Сито с ячейками размером в свету 0,2 мм по ГОСТ 3584-73 с поддоном и крышкой.
4. Термометр со шкалой до 373 К (100°C).
5. Установка для механического просеивания.
6. Гипсовое вяжущее.

Методика испытаний

Сущность метода по ГОСТ 23789-79 заключается в определении массы гипсового вяжущего, оставшегося на сите с ячейками размером в свету 0,2 мм при просеивании.

Для испытания взвешивают 50 г гипсового вяжущего (с погрешностью не более 0,1 г), предварительно высушенного в сушильном шкафу в течение 1 ч при температуре $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$. Высыпают пробу на сито с размером ячеек в свету 0,2 мм, закрывают сито крышкой и производят просеивание вручную или на механической установке в течение 10...15 мин.

Просеивание считается законченным, если сквозь сито в течение 1 мин при ручном просеивании проходит не более 0,05 г гипсового вяжущего. Контрольное просеивание гипсового вяжущего следует производить на отдельный листок бумаги при снятом с сита донышке. Сито должно быть сухим и после просеивания тщательно прочищаться.

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 испытаний.

Результаты испытаний

Результаты определений и вычислений заносят в табл. 5.9.

Т а б л и ц а 5.9

Определения	Единицы 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

Вывод: по остатку на контрольном сите имеем гипсовое вяжущее _____ помола, индекс степени помола _____

Качество гипсового вяжущего оценивается по результатам предыдущих заданий лабораторной работы.

По совокупности требований ГОСТ _____ испытанное гипсовое вяжущее относится к марке _____
(марка по прочности,

индекс сроков твердения, индекс степени помола)

Может быть использовано для _____ (выбрать необходимое из табл. 5.4) внутренних штукатурных и отделочных работ, изготовления лепных украшений и искусственного мрамора, сухой штукатурки, производства гипсобетонных изделий типа гипсовых камней,

стеновых блоков, перегородок размером на комнату, сантехнических кабин.

Задание 5 (исследовательское). РЕГУЛИРОВАНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА

Определенные в ходе выполнения задания 3 сроки схватывания гипсового теста не всегда соответствуют условиям производства работ. Например, при изготовлении мелких изделий (декоративных деталей интерьера и т. п.) 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 клея, ЛСТ (лигносульфоната технического) 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.

Приборы и материалы

1. Секундомер.
2. Прибор Вика.
3. Коническое кольцо и полированная пластинка из коррозионно-стойкого материала.
4. 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 од-

ном опыте имеющаяся в лаборатории добавка вводится в количестве 2 % от массы гипсового вяжущего, в другом – 4 %. При приготовлении гипсового раствора по методике ГОСТ 23789-79 перед засыпкой гипса необходимо сначала растворить в воде добавку. В остальном методика остается неизменной.

Результаты испытаний

Результаты опытов заносятся в табл. 5.10.

Т а б л и ц а 5.10

Сравниваемые характеристики	Без добавки (из задачи № 3)	С добавкой (вид добавки)	
		%	%
Конец текучести, мин			
Начало схватывания, мин			
Конец схватывания, мин			

Заключение

По данным таблицы построить графики для выражения зависимости каждой из сравниваемых характеристик от величины добавки. Три точки на каждом графике соединить плавной кривой. По этим графикам определить дозировку добавки для получения гипсового теста с требуемыми сроками схватывания.

Задание 6 (исследовательское). ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОВОГО КАМНЯ

Требуется выяснить, как меняется прочность гипсового камня, полученного из теста нормальной густоты, при его водонасыщении. Прочность водонасыщенных образцов сравнивается с прочностью сухих.

Приборы и материалы

1. Чашка, изготовленная из коррозионностойкого материала.
2. Ручная мешалка, имеющая более трех петель из проволоки диаметром 1...2 мм.
3. Весы по ГОСТ 19191-74 с погрешностью определения массы не более 1 г.
4. Формы из коррозионностойкого материала для изготовления образцов-балочек размерами 40x40x160 мм по ГОСТ 310.4-81.
5. Прибор для испытания на изгиб по ГОСТ 310.4-81.
6. Прибор для определения прочности на сжатие, состоящий из двух металлических пластин твердостью по Роквеллу HRC не менее 60.
7. Пресс для определения предела прочности образцов при сжатии с предельным усилием до 10...20 тс.
8. Образцы, изготовленные из гипсового теста стандартной консистенции.

Методика испытаний

По методике, изложенной в задании 2, готовят еще два точно таких же замеса, из которых формируют 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

$$K_{\text{разм}} = R_{\text{нас}}/R_{\text{сух}}, \quad (5.6)$$

где $R_{\text{нас}}$ – средний предел прочности водонасыщенных образцов;
 $R_{\text{сух}}$ – то же сухих образцов.

Результаты испытаний

Результаты испытаний занести в табл. 5.11, 5.12.

Т а б л и ц а 5.11

Предел прочности на растяжение при изгибе в МПа образцов		
сухих	водонасыщенных	коэффициент размягчения $K_{разм}$
1		
2		
3		
среднее		

Т а б л и ц а 5.12

Предел прочности на сжатие в МПа образцов		
сухих	водонасыщенных	коэффициент размягчения $K_{разм}$
1		
2		
3		
среднее		

Заключение

Проанализировать результаты опытов; оценить водостойкость гипсовых материалов; объяснить наблюдаемые явления; указать пути повышения водостойкости, если по условиям эксплуатации это требуется.

Задание 7 (исследовательское). ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ГИПСОВОГО КАМНЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Приборы и материалы

1. Формы металлические специальные.
2. Пресс гидравлический ПГ-100.
3. Фильтрующий материал (сетка).
4. Гипс.

Методика испытаний

По результатам опытов (задание 1) водопотребность гипсового вяжущего для получения теста нормальной густоты оказалась равной ____ %. Между тем, для полной гидратации $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ до $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ требуется воды всего 18,6 %. Следовательно, большая часть воды затворения в гипсовом тесте окажется невостребованной 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 прессующее давление. Технологии с прессованием малооводненных жестких смесей разработаны, но при их осуществлении возникает опасность разрушения изделий через некоторое время после их формования в связи с тем, что при малом содержании воды в гипсовой смеси затруднено растворение полуводного гипса, недостаточна степень его гидратации на стадии изготовления изделий, а продолжающаяся гидратация вяжущего в стесненных условиях прессования ведет к возникновению в структуре материала опасных внутренних напряжений.

В Межотраслевой научно-исследовательской лаборатории новых строительных материалов (МОНИЛ НСМ) при кафедре «Строительные материалы и изделия» разработана эффективная технология получения высокопрочных гипсовых изделий способом фильтрационного прессования. Ее сущность состоит в следующем. Вначале гипсовое вяжущее затворяют водой в соотношении, соответствующем получению гипсового теста нормальной густоты, для создания благоприятных условий гидратации вяжущего. Затем изделия формируются путем прессования на гидравлическом прессе в специальной форме, позволяющей в процессе прессования отжать из гипсового теста через фильтрующую поверхность излишнюю воду. Пористость изделия уменьшается, прочность возрастает настолько, что уже сразу после формования изделие можно извлечь из формы, и далее в короткие сроки достигает величины, в несколько раз превышающей прочность стандартных образцов.

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; немедленная распалубка и испытание образцов – через 2 часа.

По результатам испытаний следует построить графики зависимости прочностных характеристик от величины прессующего давления и проанализировать эти зависимости во взаимосвязи с меняющейся пористостью гипсового камня.

Примечание. Задания 5, 6, 7, выполненные в ходе учебной лабораторной работы, могут явиться основанием для последующей более широкой и углубленной научно-исследовательской работы студентов под руководством преподавателей вне учебного расписания.

Задание 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛОКНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА ГИПСОВОГО КАМНЯ

Гипсовые изделия с волокнистыми наполнителями обладают высоким коэффициентом конструктивного качества ($K_{КК}$), являются теплозвукоизоляторами.

Приборы и материалы

1. То же, что в задании 2.
2. Древесные опилки.
3. Вяжущее гипсовое.

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 формуют три образца-балочки размерами 40x40x160 мм.

Для лучшего уплотнения смеси образцы подвергают вибрации в течение 15 с 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_o 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:

1) коэффициент теплопроводности λ по формуле проф. В.П. Некрасова

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22\rho_o^2} - 0,16, \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}, \quad (5.7)$$

где ρ_o – средняя плотность материала в высушенном состоянии, г/см³;

2) коэффициент конструктивного качества ($K_{КК}$)

$$K_{КК} = R_{сж} / \rho_o, \quad (5.8)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности при сжатии, МПа;

ρ_o – средняя плотность, кг/м³.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 5.13.

Влияние волокнистого наполнителя на свойства гипсового камня

№ со-ста-ва	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 _{кк}
1						
2						

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Назвать вяжущие вещества, входящие в группу воздушных.
2. Сырьевые материалы для производства гипсовых вяжущих.
3. Физико-химическая сущность процессов, протекающих при твердении гипсового вяжущего.
4. Как изготавливают высокопрочный гипс?
5. Области применения гипсовых вяжущих.
6. Какие показатели и качества гипсовых вяжущих регламентируются стандартом?
7. Что такое стандартная консистенция (нормальная густота) гипсового теста, для чего она определяется и как?
8. Как можно ускорить или замедлить схватывание гипсового теста? Когда это необходимо?
9. На каких образцах и в каком возрасте определяется марка по прочности гипсовых вяжущих?
10. Как изготавливают образцы из гипсового теста для определения пределов прочности (марки) гипса?
11. Каков принцип маркировки и индексации качественных показателей гипсового вяжущего?
12. Привести классификацию гипсовых вяжущих по срокам схватывания (твердения).
13. Как оценивается водостойкость материалов?
14. Как определить тонкость помола ГВ?

15. Почему тонкость помола является одной из важных характеристик гипсового вяжущего?
16. Какие приборы используют для определения сроков схватывания и нормальной густоты гипсового теста?
17. Почему для получения гипсового теста необходимо гораздо больше воды, чем требуется для гидратации гипсового теста?
18. От чего зависит нормальная густота гипсового теста?
19. Почему при определении нормальной густоты гипсового теста строго регламентируют сроки перемешивания?
20. Как определить сроки схватывания гипсового теста стандартной консистенции?
21. Почему сроки схватывания ГВ определяют на тесте нормальной густоты? Как изменятся результаты испытаний, если уменьшить или увеличить содержание воды в тесте?
22. Почему сроки схватывания являются важными характеристиками гипсового вяжущего?
23. Какое влияние оказывает содержание воды в гипсовом тесте на сроки схватывания и прочность гипсового камня?
24. Как определить марку гипсового вяжущего? Привести примеры маркировки.
25. Пояснить выражение: гипс Г-7 ШБ, определить область его применения.
26. Что необходимо знать для определения марки гипса?
27. Как влияет влажность гипсовых изделий на их прочность?
28. Какое влияние на свойства гипсового камня оказывает волокнистый наполнитель?
29. Рассчитать предел прочности гипса, если при испытании образца на сжатие разрушающее усилие (F) равнялось 17,5 кН.
30. Условия хранения и транспортирования гипсовых вяжущих.
31. Как изменится прочность гипсовых образцов, если проводить испытания через 2 ч, 24 ч, 7 сут, 1 мес.?

Л и т е р а т у р а

1. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999. – С. 235.

2. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов. – М.: Высш. школа, 1984. – С. 164.
3. П о п о в К.Н., К а д д о М.Б. Строительные материалы и изделия: Учебник. – М.: Высш. школа, 2001. – 367 с.
4. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
5. ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.

Лабораторная работа № 6

ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ

Цель работы

1. Определить основные показатели качества строительной воздушной извести.
2. Установить на основании результатов испытаний средней пробы степень пригодности воздушной извести для строительных работ.
3. Ознакомиться с действующей нормативной документацией, стандартными методами лабораторных исследований свойств воздушной извести.
4. Овладеть методикой испытаний, приобрести навыки работы с приборами и оборудованием по определению физико-химических свойств извести.

6.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляют собой минеральные вяжущие вещества?
2. Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие?
3. Классификация неорганических вяжущих веществ.
4. Какие Вы знаете воздушные вяжущие вещества?
5. Из какого сырья и как получают воздушную известь? (с приведением химической реакции).
6. Разновидности воздушной строительной извести.
7. Какие процессы происходят при твердении воздушной извести?
8. Какую известь называют кипелкой и какую – пушонкой?
9. Где применяется воздушная известь (гашеная и негашеная)?

6.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение суммарного содержания активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в кальциевой извести.

Задание 2. Определение содержания непогасившихся зерен в извести.

Задание 3. Определение плотности известкового теста.

Задание 4. Определение содержания воды в известковом тесте.

Задание 5. Определение температуры и времени гашения извести

6.3. Общие сведения о воздушной строительной извести

Воздушная строительная известь – неорганическое вяжущее вещество, состоящее, в основном, из оксидов CaO и MgO , способных твердеть и сохранять прочность только на воздухе (в воздушно-сухих условиях). В соответствии с ГОСТ 9179-77, воздушную известь по содержанию в ней активных CaO и MgO подразделяют на *кальциевую* ($\text{MgO} < 5\%$), *магнезиальную* ($\text{MgO} = 5\text{...}20\%$) и *доломитовую* ($\text{MgO} = 20\text{...}40\%$). Строительная известь применяется для приготовления кладочных и штукатурных растворов, силикатных бетонов (плотных и ячеистых), силикатного кирпича, красочных составов.

Известь получают путем умеренного обжига (ниже температуры спекания) карбонатных (кальциево-магниевого) пород (мела, известняка, доломита), содержащих не более 6 % глинистых примесей. Увеличение содержания глины изменяет свойства извести.

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. Производство силикатных изделий налажено на АП «Сморгоньсиликатобетон», на АП «Минский комбинат силикатных изделий», Могилевском КСИ, ОАО «Забудова», ОАО «Гомельстройматериалы».

Известь может находиться в виде:

1) негашеной комовой и молотой извести-кипелки, состоящей, в основном, из CaO ;

2) гашеной (гидратной) извести-пушонки, состоящей из $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

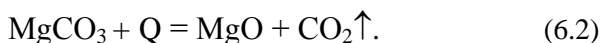
3) известкового теста, содержащего, кроме $\text{Ca}(\text{OH})_2$, около 50 % свободной воды;

4) известкового молока.

Получение негашеной кальциевой комовой извести основано на реакции диссоциации (разложения) карбоната кальция (CaCO_3) при температуре $1000 \dots 1200^\circ\text{C}$ в шахтных или вращающихся печах с выделением углекислого газа:



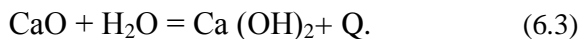
Химически чистый CaCO_3 содержит 56 % CaO и 44 % CO_2 :



CO_2 улетучивается, а оставшиеся CaO и MgO представляют собой вяжущие вещества и называются «активными», т. к. от их содержания зависят свойства вяжущего. Примеси снижают качество воздушной извести. Известняки в производстве извести обжигают в кусках; выходящий из печи материал называется *комовой негашеной известью*, или *кипелкой*.

Порошкообразную негашеную молотую известь получают путем помола комовой извести или гашения смешиванием с водой.

Гашением извести называется процесс взаимодействия оксида кальция извести с водой:



При этом на 1 грамм-молекулу реагирующей извести выделяется тепло, повышающее температуру гасящей массы до определенного максимума (высокая экзотермия).

Гашение извести сопровождается двумя эффектами:

1) выделением большого количества тепла 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 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (белого порошка) на мелкие частицы размером в несколько микрон (похожие на пух), поэтому гидратную (гашеную) известь называют пушонкой. Насыпная плотность пушонки составляет $400 \dots 500 \text{ кг/м}^3$.

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 (сухой порошок) теоретически требуется 32,13 % воды, но практически ее берется в 2 раза больше, т. к. часть 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, легко укладываются и не расслаиваются, к ним можно добавлять значительное количество песка.

На реакцию способности CaO оказывает влияние температура обжига. Если нормально обожженная известь гасится за минуты, то в случае пережога до спекания частицы Ca(OH)₂ уплотняются на 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»). Поэтому для снижения опасности пережога на практике обычно применяют молотую негашеную известь.

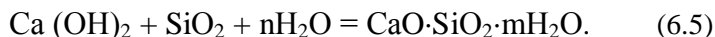
Воздушная известь относится к классу воздушных вяжущих, потому что при обычных температурах и без добавок она твердеет лишь в воздушной среде, а в воде растворяется (1,3 г/л).

Твердение гашеной извести на воздухе идет очень медленно (годы) под влиянием двух одновременно протекающих процессов:

- 1) испарения воды;
- 2) кристаллизации Ca(OH)₂;
- 3) карбонизации под действием углекислого газа воздуха:



В производстве силикатных бетонов применяется другой 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 ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot m\text{H}_2\text{O}$) обеспечивает высокую прочность, водостойкость и долговечность полученных 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.

Из воздушной извести изготавливают:

- 1) кладочные и штукатурные растворы и бетоны, работающие в воздушно-сухих условиях;
- 2) плотные и ячеистые силикатные (автоклавные) изделия;
- 3) смешанные гидравлические вяжущие вещества (известково-шлаковые и известково-пуццолановые цементы);
- 4) дешевые красочные составы.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММАРНОГО СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНЫХ $\text{CaO} + \text{MgO}$ В КАЛЬЦИЕВОЙ ИЗВЕСТИ

Приборы и материалы

1. Коническая колба вместимостью 250 мл.
2. Стеклянная воронка.
3. Стеклянные бусы или оплавленные стеклянные палочки длиной 5...7 мм (15...20 шт.).
4. Аппарат для нагрева колбы с водой типа электроплитки.
5. Соляная кислота по ГОСТ 3118 (1н-раствор).
6. Фенолфталеин (индикатор) по ГОСТ 5850 (1 %-ный раствор).
7. Бюретка со штативом.
8. Фарфоровая или агатовая ступка.
9. Весы технические с разновесами.
10. Цилиндр для отмеривания воды.
11. Дистиллированная вода.

Методика испытаний

В соответствии с ГОСТ 22688, для определения содержания $\text{CaO} + \text{MgO}$ в непогашенной извести используется метод титрования, основанный на реакции нейтрализации гашеной извести соляной кислотой:



От пробы извести отбирают 4...5 г и растирают в фарфоровой ступке в мелкий порошок (до отсутствия крупинки). 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 1 н 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.

Метод титрования. Содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ (в процентах) по массе (А) вычисляется по формуле

$$A = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot T_{\text{HCl/CaO}}}{m_{\text{изв}}} \cdot 100\% , \quad (6.7)$$

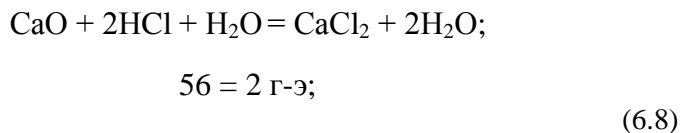
где V_{HCl} – количество 1 н HCl, израсходованное на титрование, мл;

$T_{\text{HCl/CaO}}$ – титр HCl по CaO, т. е. количество CaO в г, которое нейтрализуется 1 мл 1 н HCl;

$m_{\text{изв}}$ = масса извести, $m_{\text{изв}} = 1$ г.

Определение $T_{\text{HCl/CaO}}$. 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 г-э CaO = $56,08/2 = 28,04$ г. Отсюда $T_{\text{HCl/CaO}} = 28,04/1000 = 0,02804$ г. Если соляная кислота приготавливается не из фиксанала (строго определенное количество HCl, запаянной в стеклянную емкость), ее точная концентрация устанавливается в соответствии с ГОСТ 22688 (п. 2.1.1).

Расчет титра:



$$28 = 1 \text{ г-э или } 1000 \text{ мл } 1 \text{ н HCl};$$

$$0,028 \rightarrow 1 \text{ мл } 1 \text{ н HCl}.$$

Результаты испытаний

Результаты испытаний вычисляют по формуле (6.7) и оформляют в произвольной форме:

$$V_{\text{HCl}} = \text{_____} \cdot A = \text{_____} \%;$$

$$m_{\text{изв}} = 1 \text{ г}.$$

Заключение

Проанализировать полученные результаты.

Вывод: по содержанию активных CaO +MgO известь относится к _____ сорту.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕПОГАСИВШИХСЯ ЗЕРЕН В ИЗВЕСТИ

В извести, кроме активных зерен $\text{CaO} + \text{MgO}$, могут оказаться негасящиеся частицы.

Непогасившиеся зерна представляют собой:

- 1) различные примеси пустой породы, присутствующие в исходном сырье (например, кварцевый песок, глина, оксиды железа);
- 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, которое может 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

1. Металлический сосуд цилиндрической формы вместимостью 8...10 л с крышкой.
2. Сито с сеткой № 063 (144 отв./см²).
3. Стеклянная палочка с резиновым наконечником.
4. Фарфоровая чашка.
5. Сушильный шкаф.
6. Весы технические с разновесами.

Методика испытаний

Для определения содержания непогасившихся зерен в металлический сосуд наливают 3...3,5 л горячей воды и всыпают 1 кг извести, непрерывно перемешивая смесь 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.

Затем исследуют внешний вид непогасившихся зерен, их возможный минералогический состав. Для этого на зерна капают раствор соляной кислоты; вскипание отдельных кусочков свидетельствует о том, что эти зерна являются недожогом.

Результаты испытаний

Содержание непогасившихся зерен вычисляют по формуле (6.9) и записывают в табл. 6.1.

$$НЗ = m_1 / m \cdot 100 \% = \text{_____} \% \quad (6.9)$$

Т а б л и ц а 6.1

Показатели	Ед. измерения	Количество
Масса негашеной извести $m =$	кг	
Масса остатка после промывания и сушки $m_1 =$	кг	
Содержание непогасившихся зерен по массе НЗ	%	

Заключение

По результатам испытания сделать вывод: известь по содержанию непогасившихся зерен относится к _____ сорту.

Описать внешний вид непогасившихся зерен и их отношение к HCl:

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ИЗВЕСТКОВОГО ТЕСТА

Приборы и материалы

1. Стандартный металлический мерный сосуд цилиндрической формы вместимостью 1 л.
2. Весы технические.
3. Известковое тесто.

Методика испытаний

Плотность известкового теста определяют с помощью стандартного мерного металлического сосуда цилиндрической формы вместимостью 1 л.

Перед определением плотности определяют массу сосуда, заполняют его известковым тестом вровень с краями и снова определяют массу.

Плотность известкового теста ρ_0 рассчитывают по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (6.10)$$

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. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

Показатели	Ед. измерения	Количество
1	2	3
Вместимость сосуда V	л (м ³)	
Масса сосуда m_1	кг	

1	2	3
Масса сосуда с известковым тестом m_2	кг	
Масса известкового теста m	кг	
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

Приборы и материалы

1. Бюкс с крышкой для известкового теста и бюкс для натронной извести.
2. Натронная известь – смесь гашеной извести с едким натром, сильно поглощающая воду и диоксид углерода (CO₂) из воздуха.
3. стакан для взвешивания.
4. Весы технические с разновесами.
5. Сушильный шкаф.

Методика испытаний

Для определения содержания воды в известковом тесте используют предварительно высушенный бюкс, в который помещают около 10 г теста, взвешивают, сушат при температуре 105...110°C. Контрольные взвешивания производят через 2 часа сушки и охлаждения в эксикаторе с интервалом 30 мин до достижения постоянной массы.

В сушильном шкафу должен быть бюкс с натронной известью для улавливания CO₂ воздуха.

Содержание воды в известковом тесте W вычисляют по формуле

$$W = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100\% , \quad (6.11)$$

где m – масса известкового теста, г;

m_1 – масса материала после высушивания, г.

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают в табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.3

Показатели	Ед. измерения	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

Приборы и материалы

1. Двустенный сосуд с теплоизоляционной прокладкой и пробкой вместимостью 150...500 мл.
2. Термометр со шкалой до 150°C и удлиненной до 100...150 мм нижней частью.
3. Фарфоровая или агатовая ступка.
4. Весы технические с разновесами.
5. Мерный цилиндр на 25...100 мл.
6. Секундомер.

Методика испытаний

Реакция гашения извести $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ сопровождается выделением тепла 1160 кДж на 1 кг реагирующей извести, которое повышает температуру гасящейся массы до определенного максимума. Следовательно, момент начала снижения температуры реагирующей смеси можно считать признаком прекращения реакции гашения извести.

Строительную негашеную известь по времени гашения разделяют на:

- 1) быстрогасящуюся – не более 8 мин;
- 2) среднегасящуюся – не более 25 мин;
- 3) медленногасящуюся – более 25 мин.

Для определения температуры и времени гашения извести может быть использован бытовой термос вместимостью 250...500 мл. При отсутствии термоса можно воспользоваться прибором простой конструкции. Стеклоанную колбу емкостью 150 мл закрывают пробкой со вставленным термометром и помещают в фарфоровый стакан. Пространство между сосудами заполняют теплоизоляционным материалом (пенопластом, асбестом и др.).

Известь предварительно измельчают в фарфоровой ступке.

Массу навески извести m в граммах рассчитывают по формуле

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (6.12)$$

где A – содержание активных $\text{CaO} + \text{MgO}$ в % (см. результат задания 1).

Навеску m тонкоизмельченной извести помещают в термос или термосную колбу собранной установки, вливают 25 мл воды при температуре 20°C , 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 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 $0,25^\circ\text{C}$ в минуту.

Одновременно можно провести испытания с различным количеством воды (например, 20 мл и 30 мл).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 6.4.

Масса навески негашеной извести $m =$ _____ г.

Т а б л и ц а 6.4

Кол-во воды, мл	Температура, °С, через интервалы времени, мин															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	26
20																
25																
30																

Заключение

Максимальная температура _____°С, время гашения извести _____ мин, извести _____ гасящаяся _____

Проанализировать полученные данные; описать влияние количества воды на время гашения и максимальную температуру. Сделать выводы.

Заключение о качестве извести по всем проведенным испытаниям
(задания № 1...5)

Основные свойства извести строительной воздушной нормируются ГОСТ 9179 «Известь строительная. Технические условия».

После определения основных показателей качества строительной воздушной извести их сравнивают с требуемыми значениями по ГОСТ 9179 или со справочными данными (табл. 6.5).

Затем определяют сорт извести в соответствии с требованиями ГОСТ 9179 и указывают области применения.

Т а б л и ц а 6.5

Результаты испытаний извести воздушной

Наименование показателей	Полученные результаты ис- пытаний	Требования НТД		
		I сорт	II сорт	III сорт
Время гашения, мин				
Содержание активных СаО + MgO, %				
Содержание непога- сившихся зерен, %				

Согласно требованиям ГОСТ 9179, известь _____ сорта,
_____ гасящаяся

Пригодная для _____

Контрольные 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 определяется 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 $\text{CaO} + \text{MgO}$ в кальциевой извести?
14. Что такое активность извести?
15. Как определяется содержание непогасившихся зерен в известковом тесте?
16. Зачем при определении содержания непогасившихся зерен пробу извести заливают горячей ($85 \dots 90^\circ\text{C}$) 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. Перечислить основные области применения строительной воздушной извести в строительстве.

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. - М.: Высш. школа, 1984. – 38 с.
2. П а щ е н к о А.А., С е р б и н З.П., С т а р ч е в с к а я Е.А. Вяжущие материалы. – Киев, 1975. – 443 с.
3. Б о й н т о н Р.С. Химия и технология извести. – М., 1972. – 239 с.
4. Строительные материалы / Под общей ред. Г.И.Горчакова. – М.: Высш. школа, 1982. – 350 с.
5. ГОСТ 9179. Известь строительная. Технические условия.
6. ГОСТ 22688. Известь строительная. Методы испытания.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 7

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Цель работы

1. На практике ознакомиться со стандартными методами определения основных технических свойств портландцемента.
2. Закрепить полученные теоретические знания о гидравлических вяжущих веществах.

7.1. 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?
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 получения шлакопортландцемента и пуццоланового портландцемента отличается от технологии получения портландцемента?
14. С какой целью при помоле клинкера вводят гипс?
15. Чем клинкер отличается от портландцемента?
16. Где применяют в строительстве портландцемент, шлако- и пуццолановый портландцемент?

7.2. Задания к лабораторной работе

- Задание 1. Определение нормальной плотности цементного теста.
- Задание 2. Определение сроков схватывания цементного теста.
- Задание 3. Определение равномерности изменения объема цемента.
- Задание 4. Определение насыпной плотности и межзерновой пустотности цемента.
- Задание 5. Определение предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек, изготовленных из цементного раствора.

7.3. Общие сведения о цементах

В современном строительстве основными минеральными вяжущими веществами (в зависимости от вещественного состава) служат следующие типы цементов:

- 1) портландцемент (ПЦ), в том числе портландцемент бездобавочный (ПЦДО);

- 2) портландцемент (ПЦ) с минеральными добавками (Д5, Д20);
- 3) шлакопортландцемент (ШПЦ).

Портландцемент – гидравлическое вяжущее вещество, способное после затворения* 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 ч 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 получают путем обжига сырьевой смеси, состоящей из кальциево-карбонатных (известняк, мел) и алюмосиликатных горных пород (глина) или из природных смесей (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.

Химический состав портландцемента (в %): CaO – 60...67; SiO_2 – 19...24; Al_2O_3 – 4...8; Fe_2O_3 – 2...6; MgO – не более 5; SO_3 – 1...4, CaO свободной – не более 1.

В портландцементе 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):

$$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \text{ или } \text{C}_3\text{S} \text{ (алит)} - 40 \dots 65 \% ; \quad (7.1)$$

$$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \text{ или } \text{C}_2\text{S} \text{ (белит)} - 15 \dots 40 \% ; \quad (7.2)$$

$$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ или } \text{C}_3\text{A} \text{ (целит)} - 5,0 \dots 15 \% ; \quad (7.3)$$

$$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ или } \text{C}_4\text{AF} \text{ (браунмиллерит)} - 10 \dots 20 \% . \quad (7.4)$$

* Затворение цемента – смешивание его с водой.

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 ГОСТ 10178-85, по механической прочности ПЦ подразделяются на марки: 400, 500, 550 и 600 (допускается выпускать марку 300). По ГОСТ 30515-97 (максимально приближенному к европейскому стандарту EN 196-1) цементы по прочности на сжатие подразделяются на классы прочности: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5.

Класс прочности цемента – условное обозначение одного из значений параметрического ряда по прочности в максимальные сроки, установленные нормативным документом.

Пример условного обозначения цемента типа портландцемент:

ПЦ 400-Д20-Б-ПЛ ГОСТ 10178-85,

где ПЦ – портландцемент;

400 – марка по механической прочности (предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток, не менее 400 кгс/см² (40 МПа);

Д20 – максимальное содержание (в % по массе) активных минеральных добавок;

Б – быстротвердеющий цемент;

ПЛ – пластифицированный цемент;

ШПЦ – шлакопортландцемент.

Свойства цемента, полученных на основе портландцементного клинкера, регулируют различными способами, в том числе введением активных минеральных добавок, которые применяются для повышения плотности, водо-, жаро- и коррозионной стойкости цементного камня, а следовательно, бетонов и растворов на основе портландцементов.

В зависимости от вводимых добавок различают портландцементы:

1) 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 21...40 % и небольшое количество гипса).

Основные показатели качества цемента – прочность на сжатие, растяжение при изгибе, равномерность изменения объема, сроки схватывания и др. – нельзя непосредственно оценить путем испытаний самого материала (могут быть оценены лишь химические показатели, содержание активных минеральных добавок, удельная эффективность естественных радионуклидов и некоторые другие), а лишь после изготовления из цемента определенных стандартных образцов и их последующего испытания.

Пользуясь полученными основными показателями качества, выбирают рациональную область применения цемента.

Методы испытания (оценки качества, т. е. определения физико-механических и строительно-технических свойств) портландцемента изложены и регламентированы в ГОСТ 310.1-76 – 310.3-76 и ГОСТ 310.4-81.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Цементным тестом называется однородная пластичная смесь цемента с водой. *Нормальной густотой* цементного теста считают такую его консистенцию, при которой пестик прибора Вика, погруженный в кольцо, заполненное тестом, не доходит на 5...7 мм до пластинки, на которой установлено кольцо. Нормальная густота цементного теста характеризуется количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента, и определяется с точностью до 0,25 %. Для цементов разных заводов она колеблется от 20 до 35 %. Знание нормальной густоты цементного теста необходимо для дальнейших испытаний цемента (определения сроков схватывания, равномерности изменения объема). Чем меньше значение нормальной густоты, тем более плотный бетон можно изготовить на таком цементе (он имеет большую подвижность бетонных и растворных смесей при меньшем содержании воды).

От величины нормальной густоты цементного теста зависит расход воды при изготовлении бетонных и растворных смесей заданной пластичности, а, следовательно, и плотность, прочность, морозостойкость готовых материалов и изделий.

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком.
2. 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

Испытания плотности цементного теста проводятся согласно ГОСТ 310.3-76, п. 1.

Перед испытанием следует проверить, свободно ли отпускается стержень прибора Вика, а также нулевое показание прибора, приводя пестик в соприкосновение с пластинкой из не впитывающего воду материала, на которой расположено кольцо из того же материала. В случае отклонения от нуля шкала прибора передвигается. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

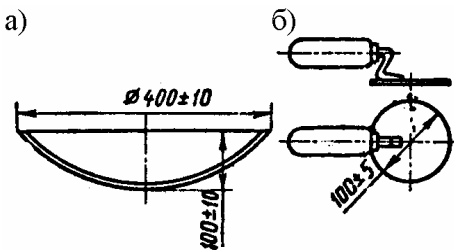


Рис. 7.1. Чаша для затворения цементного теста (а) и лопатка для перемешивания (б)

Для приготовления цементного теста отвешивают 400 г просеянного цемента, высыпают его в чашу сферической формы (рис. 4.1), предварительно протертую влажной тканью, делают в цементе углубление, в которое вливают в один прием отмеренное количество воды (ориентировочно $110...112 \text{ см}^3$). В момент вливания воды включают секундомер.

После заливки воды через 30 с осторожно перемешивают цемент с водой, а затем энергично растирают тесто лопаткой. Продолжительность перемешивания и растирания цемента с водой – 5 мин с момента приливания воды.

Сразу после окончания перемешивания кольцо наполняют цементным тестом 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. Немедленно после этого приводят пестик прибора в соприкосновение с поверхностью теста в центре кольца и закрепляют стержень зажимным винтом, затем, быстро отвинчивая его, освобождают стержень и предоставляют пестик свободно погружаться в тесто. Через 30 с с момента освобождения стержня производят отсчет погружений по шкале в мм.

При несоответствующей консистенции цементного теста опыт повторяют, соответственно изменяя количество воды и добиваясь погружения пестика на глубину, указанную ранее.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 7.1.

Т а б л и ц а 7.1

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 (пестик не доходит до пластинки), мм			

Заключение

Сделать выводы по результатам испытания.

Определение нормальной густоты цементного теста по ГОСТ _____

Прибор _____

Нормальная густота цементного теста (НГ) %

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА

Схватывание цемента – это 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 по погружению иглы 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 опускается в тесто не более чем на 1...2 мм; **концом схватывания** – время от начала затворения до момента, когда игла опускается в тесто не более чем на 1...2 мм.

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец – не позднее 10 ч от начала затворения.

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. Стекланный цилиндр для отмеривания воды.
7. Металлический нож.
8. Цемент, вода.

Методика испытаний

Испытания проводят согласно ГОСТ 310.3-76, п. 2. Определение начинают с того, что в прибор Вика вместо пестика вставляют и закрепляют иглу $O 1,1$ мм и длиной 50 мм, а также проверяют нулевое показание прибора. Затем приготавливают цементное тесто нормальной густоты согласно методике, приведенной в задании 1, и укладывают его в кольцо. Иглу прибора доводят до соприкосновения с поверхностью цементного теста, и в этом положении закреп-

ляют стержень зажимным винтом, затем освобождают его, после чего игла свободно погружается в тесто. В начале испытания во избежание сильного удара о пластинку допускается слегка ее задерживать при погружении в тесто.

Как только тесто загустеет настолько, что опасность погружения иглы будет исключена, ей 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.

Определение схватывания цемента требует много времени и, как правило, до конца данное испытание на лабораторных занятиях не выполняется.

Аналогично определяются сроки схватывания цемента при добавке 2...5 % CaCl_2 , которая вводится вместе с водой затворения.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносятся в табл. 7.2, 7.3, 7.4.

Т а б л и ц а 7.2

Определение сроков схватывания цементного теста нормальной густоты

Определения	Время астрономическое		Время с момента затворения	
	ч	мин	ч	мин
Затворение цемента водой				
Начало схватывания				
Конец схватывания				
Соответствие требованиям ГОСТ				

Температура помещения _____ °С _____ К

Относительная влажность воздуха помещения _____ %

Т а б л и ц а 7.3

Определение сроков схватывания цементного теста при введении химических добавок

Показатели	1	2
Добавка CaCl_2 к массе цемента, %		
Количество воды, соответствующее нормальной густоте, мл		
Показание прибора, мм (пестик не дошел до пластинки)		
Действие добавки CaCl_2		

Т а б л и ц а 7.4

Определение сроков схватывания цементного теста

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

Равномерность изменения объема цемента – это свойство цемента в процессе твердения образовывать цементный камень, деформация которого не превышает значений, установленных норма-

тивным документом. Этот показатель является важным свойством цементного камня, связанным с его твердением.

При нарушении технологии производства и отклонениях в составе сырьевой смеси могут быть получены цементы со значительными изменениями объема. Чаще всего причиной самопроизвольного разрушения цементного камня бывает наличие в цементе избыточного количества свободного оксида кальция, которое возникает из-за недостаточной температуры обжига. Это явление возможно и при повышенном содержании в цементном клинкере оксида магния или избыточном добавлении к цементу гипса. Свободные оксиды СаО и MgO при температуре обжига 1450°C пассивируются за счет спекания мелких кристаллов, и поэтому процесс их гашения настолько замедлен, что в момент затворения цемента они не гасятся, а вступают в реакцию с водой только через несколько лет службы изделия, что ведет к разрушению строительных изделий. В лабораторных условиях у цемента определяется равномерность изменения объема. Цемент выдерживает испытание, если содержание в нем свободных СаО и MgO не превышает допускаемых ГОСТом норм. В этом случае в результате деформаций цементного камня не ухудшаются эксплуатационные свойства изделий на основе цементов (прочность, водонепроницаемость, морозостойкость).

Приборы и материалы

1. Прибор Вика с иглой и пестиком.
2. Кольцо к прибору Вика.
3. Мешалка для приготовления теста.
4. Бачок для испытания кипячением.
5. Ванна с гидравлическим затвором из оцинкованной стали для хранения изготовленных образцов.
6. Весы технические с разновесами.
7. Цилиндр для отмеривания воды.
8. Чашка и лопатка для приготовления цементного теста.
9. Электроплитка.

Методика испытаний

Согласно ГОСТ 310.3-76, п. 3, для испытания на равномерность изменения объема цемента приготавливают тесто нормальной густоты согласно методике, приведенной в задании № 1. Затем на технических весах отвешивают 4 навески теста по 75 г. Каждую навеску 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 и толщиной в середине 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 гидравлическим затвором (рис. 7.2), а затем подвергают испытанию.

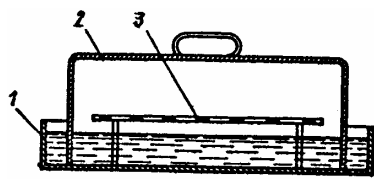


Рис. 7.2. Ванна с гидравлическим затвором:

1 – ванна; 2 – герметичная крышка; 3 – столик

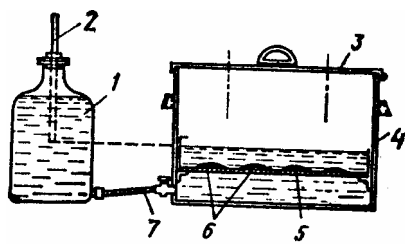


Рис. 7.3. Бачок для испытания кипячением:

1 – регулятор уровня воды; 2 – трубка; 3 – крышка; 4 – бачок; 5 – решетка; 6 – лепешки из цементного теста; 7 – шланг

Для испытания кипячением две цементные лепешки через (24 ± 2) ч после затворения снимают с пластинок, помещают в бачок с водой на решетку (рис. 7.3), затем воду в бачке доводят до кипения за 30...45 мин и поддерживают кипение в течение 3 ч. После охлаждения лепешек в бачке производят их внешний осмотр.

О пригодности цемента судят по внешнему виду образцов, прошедших испытание.

Цемент считается недоброкачественным, если на лицевой поверхности лепешек, подвергнутых испытанию, обнаружатся радиальные, доходящие до краев трещины или сетка мелких трещин, видимая невооруженным глазом или в лупу, а также 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 (рис. 7.4). Если на обратной стороне лепешек отсутствуют радиальные трещины и лепешки при постукивании одна о другую издают звонкий звук, то появление трещин усыхания не является признаком недоброкачественности цемента, а связано с внутренними усадочными напряжениями, возникающими при высыхании лепешек. Результаты определения заносит в табл. 7.5.

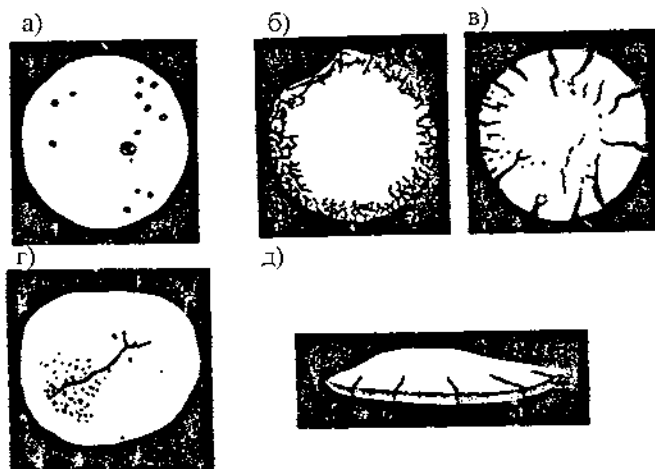


Рис. 7.4. Лепешки, испытанные на равномерность изменения объема:
 а, б – выдержавшие испытания (а – дефектов нет; б – трещины усадки);
 в...д – не выдержавшие испытания (в – разрушение; г – радиальные трещины;
 д – искривление)

Результаты испытаний

Результаты определения записывают в табл. 7.5.

Определение равномерности изменения объема цемента

Показатели	
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-х часов	
Заключение об испытании цемента на равномерность изменения объема	

Заключение

Проанализировать полученные результаты и сделать заключение об испытании цемента.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ И МЕЖЗЕРНОВОЙ ПУСТОТНОСТИ ЦЕМЕНТА

Насыпная плотность цемента зависит от степени его уплотнения и пустотности. Ее необходимо знать для расчета состава бетонов и растворов; кроме того, ее значения учитывают при выборе емкостей для хранения цементов на складах и в бетоносмесительных отделениях заводов по производству железобетонных изделий.

Методика испытаний

Определение насыпной плотности цемента в рыхлом состоянии производится с помощью мерного цилиндрического сосуда вместимостью 1 л. Цемент насыпают в предварительно взвешенный мерный цилиндр с высоты 10 см от края сосуда до образования избыточного конуса. Конус снимают вровень с краями сосуда линейкой, избегая уплотнения, после чего определяют массу сосуда с цементом.

Насыпную плотность цемента вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V}, \text{ кг/м}^3, \quad (7.5)$$

где m_1 – масса мерного сосуда в кг;

m_2 – масса мерного сосуда с цементом в кг;

V – вместимость мерного сосуда в л.

Для сравнения можно определить насыпную плотность цемента и в уплотненном состоянии.

Расчет межзерновой пустотности производится по формуле

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_{нас}}{\rho_{зер}} \right) \cdot 100\%, \quad (7.6)$$

где $\rho_{зер}$ – плотность зерен цемента (3050 + 3150 кг/м³).

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают в табл. 7.6.

Т а б л и ц а 7.6

Определение насыпной плотности цемента

Показатели	В рыхлом состоянии	В уплотненном состоянии
Вместимость сосуда, л		
Масса сосуда m_1 , кг		
Масса сосуда с цементом m_2 , кг		
Насыпная плотность цемента $\rho_{нас}$, кг/м ³		
Межзерновая пустотность, %		

Заключение

По результатам испытаний сделать выводы, проанализировав полученные результаты.

Проанализировать влияние механического уплотнения и уплотнения от длительного хранения на насыпную плотность цемента.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ И СЖАТИИ ОБРАЗЦОВ-БАЛОЧЕК, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА

Основным показателем качества цемента является его *марка*, численно выражающая *гарантированный предел прочности при сжатии* образцов-балочек, изготовленных в стандартных условиях. Активность цемента характеризует фактическую прочность при сжатии конкретных образцов. Марку цемента устанавливают по показателям предела прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40х40х160 мм.

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливаются образцы-балочки размерами 40х40х160 мм из цементно-песчаного раствора, состоящего из одной весовой части цемента и трех весовых частей стандартного полифракционного песка для испытания цемента (ГОСТ 6139-91) с размером зерен от 2,00 до 0,08 мм. Применение других песков, чтобы исключить их влияние на прочность образцов, не допускается.

Приборы и материалы

1. Мешалка лопастная или бегунковая для перемешивания цементного раствора.
2. Чаша и лопатка для перемешивания раствора.
3. Встряхивающий столик и форма-конус.
4. Штыковка металлическая диаметром 26 мм.
5. Формы разъемные для изготовления образцов-балочек.
6. Насадка к формам.
7. Вибрационная площадка для уплотнения цементного раствора в формах балочек.
8. Прибор для испытания на изгиб образцов-балочек.
9. Пресс с предельным усилием до 500 кН для определения предела прочности при сжатии половинок балочек.
10. Пластинки для передачи усилия на половинки образцов-балочек.
11. Пропарочная камера.
12. Весы технические с разновесами.
13. Цилиндр для отмеривания воды.

14. Нож.
15. Сосуд (ванна) с гидравлическим затвором для хранения изготовленных образцов.
16. Ванна для хранения образцов-балочек в воде.

Методика испытаний

1. Приготовление раствора и определение его консистенции.

Согласно ГОСТ 310.4-81, для определения прочностных характеристик цемента изготавливают образцы из цементного раствора в соотношении 1:3 (Ц:П) по массе. Водоцементное отношение при этом должно быть не менее 0,40 ($V/C = 0,40$), а консистенция раствора, определяемая на специальном приборе по расплыву конуса, – 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.

Для определения консистенции цементного раствора отвешивают 1500 г стандартного песка и 500 г цемента, 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 и перемешивают в ней в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши-мешалки).

По окончании перемешивания форму-конус, установленную в центре стеклянного диска встряхивающего столика, 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-ю штыкованиями, верхний – 10-ю.

Во время укладки и уплотнения раствора конус прижимают рукой к стеклянному диску. После уплотнения верхнего слоя раствора

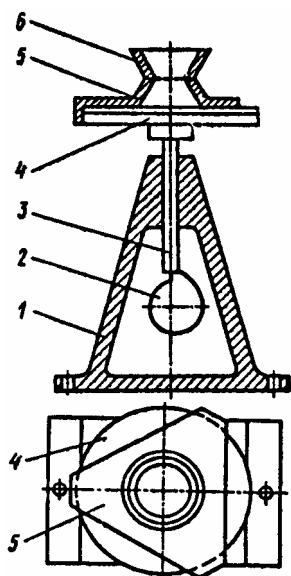


Рис. 7.5. Встряхивающий столик:
 1 – станина; 2 – кулачок; 3 – шток;
 4 – столик; 5 – форма-конус;
 6 – насадка

снимают насадку, излишек раствора срезают ножом вровень с краями конуса, затем снимают форму-конус и производят встряхивание раствора на столике 30-ю ударами в течение 30 с. Затем измеряют расплыв конуса по нижнему основанию штангенциркулем в двух взаимно перпендикулярных направлениях и берут среднее значение.

Если консистенция раствора окажется менее 106 мм, или конус рассыпается, следует повторить затворение, увеличив количество воды так, чтобы расплыв конуса находился в пределах 106...108 мм. Если расплыв конуса окажется больше 115 мм, количество воды надо уменьшить до получения расплыва конуса 113...115 мм.

Количество повторных затворений и водоцементное отношение, полученное при достижении расплыва конуса 106...115 мм, заносятся в табл. 7.7.

Т а б л и ц а 7.7

Результаты определения консистенции раствора

Показатели	1	2	3
Масса цемента Ц, г			
Масса стандартного песка П, г			
Объем воды V, мл			
В/Ц			
Расплыв конуса, мм			

2. Изготовление и хранение образцов-балочек.

Образцы балочек готовят в трехсекционных формах (рис. 7.6).

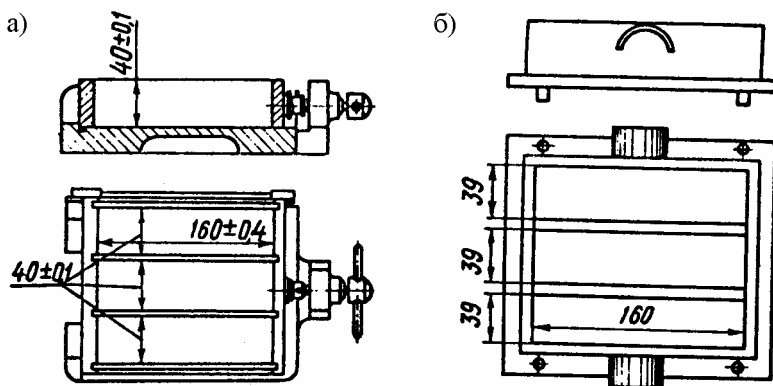


Рис. 7.6. Форма для образцов-балочек (а) и насадка к ней (б)

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 с частотой колебаний $0,35$ мм, наполняют раствором приблизительно на 1 см по высоте и включают виброплощадку, а 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.

Образцы в формах хранят 24 ± 2 ч в ванне с гидравлическим раствором. По истечении времени хранения образцы осторожно расформовывают и укладывают в ванну с водой в горизонтальном положении таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом, и хранят так до испытания.

Температура воды в ванне $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Воду, в которой хранятся образцы, меняют через каждые 14 суток.

Испытание образцов производят через 28 суток нормального твердения.

3. Определение предела прочности при изгибе.

Перед испытанием образцы должны быть вынуты из воды и не позднее чем через 30 мин подвергнуты испытанию. Непосредственно перед испытанием образцы следует вытереть насухо.

Испытание образцов-балочек производится на приборе МИИ-100, который автоматически вычисляет величину $R_{изг}$ для стандартных образцов.

Установку образцов на опорные элементы прибора производят так, чтобы грани, которые при изготовлении были горизонтальными, находились в вертикальном положении, а поверхность с маркировкой была обращена к испытателю. Схема расположения образца на опорных элементах показана на рис. 5.2 (лаб. раб. № 5). Средняя скорость приложения усилия к образцу должна быть (50 ± 10) Н/с.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов испытания трех образцов. Результаты испытания заносятся в табл. 7.8.

4. Испытание образцов на сжатие.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок образцов-балочек сразу подвергают испытанию на сжатие.

Каждую половинку балочки помещают между двумя специальными нажимными пластинками так, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилежали в продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, заглаженная поверхность с маркировкой была обращена к испытателю, а упоры пластинок плотно прилежали к гладкой торцовой стенке образца (рис. 7.3). Пластинки применяются для того, чтобы знать площадь поперечного сечения половинки образца-балочки, подвергаемой нагружению.

Требуемая скорость увеличения нагрузки $(2,0 \pm 0,5)$ МПа/с устанавливается опытным путем.

Предел прочности при сжатии отдельного образца в (МПа) вычисляют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (7.7)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочей поверхности нажимной пластинки, равная 2500 мм^2 .

Предел прочности портландцемента при сжатии вычисляют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний из шести. Результат вычисления округляют до 0,1 МПа.

Результаты испытаний

Результаты определения прочности при изгибе и сжатии образцов-балочек заносят в табл. 7.8.

Т а б л и ц а 7.8

Результаты испытаний для определения марки цемента

Предел прочности, МПа		Марка портландце- мента по ГОСТ 10178-85
при изгибе	при сжатии	
1	4	-
2	5	-
3	6	-
среднее из двух наибольших ре- зультатов	среднее из четырех наибольших резуль- татов	М

Ориентировочно марку портландцемента можно определить в более раннем возрасте, но не менее 3-х суток, по логарифмической зависимости прочности цементного раствора от времени его твердения:

$$R_{28} = R_n \frac{\lg 28}{\lg n}, \text{ МПа}, \quad (7.8)$$

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.

Заключение

Сделать выводы по результатам выполненных испытаний.

Контрольные вопросы для защиты 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 началом и концом схватывания цементного теста?
5. Какие требования предъявляет ГОСТ к ПЦ по срокам схватывания?
6. Последовательность действий при определении сроков схватывания.
7. Какова роль добавки CaCl_2 ?
8. Что называется нормальной густотой цементного теста?
9. С какой целью ее определяют?
10. Как определить нормальную густоту цементного теста? На каком приборе и в каких единицах ее определяют?
11. Как определяется равномерность изменения объема цемента?
12. При каких условиях цемент не может считаться выдержавшим испытание на равномерность изменения его объема?
13. Каковы причины неравномерного изменения объема цемента?
14. На смеси какого состава определяют марку цемента?
15. Какой режим твердения используют при определении марки цемента?
16. Что такое цементный раствор?
17. Какие требования предъявляются к стандартному песку?
18. Как определяется нормальная густота цементных растворов заданной консистенции?
19. Как изготавливают контрольные образцы-балочки?
20. Основные правила хранения образцов до испытания на прочность.
21. Что такое марка и активность ПЦ?
22. Как Вы понимаете выражение: марка ПЦ 400, 500?

23. Каким образом можно ориентировочно рассчитать марку цемента, образцы которого твердели 7 суток?
24. С какой целью при определении марки цемента предварительно подбирают консистенцию цементно-песчаного раствора?
25. От чего зависит марка цемента?
26. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для расчета марки цемента?
27. Почему для твердения гидравлических вяжущих необходима высокая влажность?

Л и т е р а т у р а

1. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Ассоциация строительной науки, 1999. – 236 с.
2. ГОСТ 10178-85. Портландцемент, шлакопортландцемент.
3. ГОСТ 310.1-76...ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы испытаний.
4. ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.
5. EN 196-1. Цементы. Методы испытаний цементов. Определение прочности (европейский стандарт).
6. EN 197-1. Цементы. Состав и спецификация (европейский стандарт).

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 8

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 связать требования стандартов к качеству мелкого заполнителя и эффективность его применения в бетонах; закрепить

теоретические представления о структурообразующей роли мелкого заполнителя в бетоне.

8.1. 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. Что дает применение в бетонах фракционированного песка с раздельным дозированием двух фракций?
5. Как разделяют (классифицируют) природные пески в зависимости от места залегания?
6. Какие размеры отверстий имеют стандартные сита для определения зернового состава песка?
7. Почему и когда целесообразно применять дробленый песок?
8. Какие примеси в песке отрицательно влияют на качество бетона?
9. Какая примесь гравия допускается в песке?
10. Какими показателями характеризуется зерновой состав песка?
11. Какой песок лучше для бетона – однофракционный или многофракционный – и почему?

8.2. Задания к лабораторной работе

- Задание 1. Определение содержания в песке пылевидных и глинистых частиц.
- Задание 2. Определение содержания органических примесей.
- Задание 3. Определение влажности песка.
- Задание 4. Определение зернового состава песка.
- Задание 5. Определение насыпной плотности песка.
- Задание 6. Определение средней плотности зерен песка.
- Задание 7. Петрографическое определение минералогического состава песка.
- Задание 8. Общее заключение о качестве песка.

8.3. Общие сведения о мелких заполнителях для бетонов и растворов

8.3.1. Значение мелкого заполнителя для бетонов и растворов

Бетон представляет собой искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества (цемента), воды и заполнителей.

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, при твердении он неминуемо потрескается.

В правильно подобранной бетонной смеси цементное тесто схватывается и твердеет не в макрообъеме, а в тонких пленках, обволакивающих поверхность зерен заполнителя, и в микрообъемах между этими зернами. Поэтому нет условий для сложения усадочных микродеформаций в макродеформации, и возникающие в микрообъемах усадочные напряжения воспринимаются зернами заполнителя. В результате наблюдается усадка бетона приблизительно в 10 раз меньше усадки цементного камня.

Заполнитель также играет значительную роль в структурообразовании бетона и формировании его свойств.

По размерам зерен заполнители для бетона подразделяют на мелкий и крупный. *Мелкий заполнитель* – это песок с размером зерен до 5 мм, *крупный* – щебень или гравий с размером зерен более 5 мм (5...10 мм, 10...20 мм и т. д.).

Роль мелкого заполнителя в структурообразовании обычного бетона более значительна, чем крупного. Без крупных заполнителей можно получать бетоны, называемые мелкозернистыми, без мелко-го обычный плотный бетон получить нельзя.

8.3.2. Виды мелкого заполнителя

В качестве мелкого заполнителя в тяжелых бетонах применяют пески природные и дробленые.

Пески природные – это неорганический сыпучий материал (осадочная порода) с крупностью зерен до 5 мм, образовавшийся в результате естественного разрушения скальных горных пород и получаемый при разработке песчаных и песчано-гравийных месторождений без использования специального обогащительного оборудования.

По условиям образования пески различают: 1) речные; 2) морские; 3) овражные (горные).

В окрестностях Минска пески залегают обычно в составе песчано-гравийных смесей (ПГС). После сортировки последних получают фракционированный гравий и песок.

Образование песков, как и других обломочных осадочных пород, происходило в природе при постепенном разрушении каменных пород, преимущественно гранитных. Содержащиеся в гранитах полевые шпаты, разлагаясь под воздействием воды и углекислого газа, дали начало образованию глинистых пород. При этом остатки гранитных пород, в том числе более стойкие зерна кварца, вместе с обломками полевых шпатов и других минералов образовали залежи песка. Пески за длительные геологические периоды переносились ледниками и водными потоками, что сопровождалось истиранием, измельчением зерен, промывкой и сортировкой их по крупности.

Добываемые в карьерах природные пески состоят, как правило, из прочных зерен наиболее стойких минералов и горных пород, хотя в них бывают и нежелательные примеси (глинистые).

Песок содержит зерна разной крупности – от мелких пылинок до зерен размером 5 мм. Допускается наличие в природном песке I и II класса некоторой примеси более крупных зерен – не более 5...20 % по массе, при этом содержание зерен крупнее 10 мм не должно превышать 0,5 ... 5 % (в зависимости от класса и группы песка).

В зависимости от зернового состава, согласно ГОСТ 8736, пески подразделяются на группы (табл. 8.1) и подлежат определению в задании 4 настоящей лабораторной работы.

Группы песка по зерновому составу

Группа песка	Модуль крупности M_k	Полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм, % по массе
Очень крупный	св. 3,5	св. 75
Повышенной крупности	св. 3,0 до 3,5	св. 65 до 75
Крупный	св. 2,5 до 3,0	св. 45 до 65
Средний	св. 2,0 до 2,5	св. 30 до 45
Мелкий	св. 1,5 до 2,0	св. 10 до 30
Очень мелкий	св. 1,0 до 1,5	до 10
Тонкий	св. 0,7 до 1,0	не нормируется
Очень тонкий	до 0,7	"-"

По крупности зерен (модулю крупности) песок подразделяют на два класса: I и II. Помимо обычного природного песка, стандартами предусмотрена поставка потребителям *фракционированного песка* в виде двух его фракций.

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. Затраты на обогащение песка, как правило, гораздо меньше возможных убытков от перерасхода цемента и снижения качества бетона при использовании некачественного песка.

Дробленый песок получают дроблением каменных горных пород и гравия в тех районах, где отсутствуют природные пески удовлетворительного качества. Целесообразно также получать и использовать дробленые пески из отсевов, остающихся при производстве каменного щебня. Преимуществом дробленого песка перед природным является лучшее сцепление с ним цементного камня в бетоне.

8.3.3. Требования к мелкому заполнителю для бетона

ГОСТ 26633-91 «Бетоны тяжелые мелкозернистые. Технические требования к заполнителям» предъявляет к мелкому заполнителю ряд требований по зерновому составу, ограничению вредных примесей и др.

Зерновой состав песка для бетонов большинства видов строительных конструкций регламентирован требованиями, приведенными в табл. 8.2. К пескам для бетонов отдельных видов конструкций предъявляются повышенные требования.

Т а б л и ц а 8.2

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
модуль крупности	1,5...3,25

Очень мелкие пески с модулем крупности от 1,0 до 1,5 допускаются к применению в бетонах класса по прочности до В 30.

Содержание пылевидных и глинистых частиц в природном песке, согласно ГОСТ 8736, допускается не более 3 % по массе для песков I класса и не более 10 % – для песков II класса (тонких и очень тонких).

Вредными примесями в песке являются органические вещества, оценка содержания которых входит в одну из задач данной лабораторной работы.

Кроме того, вредными примесями в песке могут быть частицы нестойких или потенциально реакционноспособных минералов (опал, кремьень, гипс, ангидрит, слюды, хлориты и др.). Их выявляют при петрографическом исследовании с разборкой зерен песка под микроскопом и использованием для распознавания минералов химических реактивов или других методов.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ В ПЕСКЕ ПЫЛЕВИДНЫХ И ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ

Пылевидные и глинистые частицы имеют размеры не более 0,05 мм и по крупности соизмеримы с частицами цемента, поэтому при разбавлении цемента повышается водопотребность, снижается прочность цементного камня. Кроме того, глинистые примеси (с размером частиц менее 0,005 мм) покрывают поверхность зерен песка, ухудшая сцепление с ними цементного камня. При содержании в песке глины в виде комков снижается морозостойкость бетонов и растворов.

Содержание указанных примесей определяют *методом отмучивания* по ГОСТ 8735. Сущность метода 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

$$P_{отм} = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (8.1)$$

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. 8.1) и заливают водой до верхнего сливного отверстия.

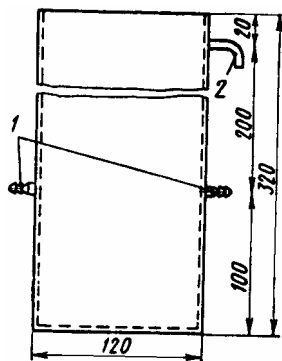


Рис. 8.1. Сосуд для отмучивания песка:

- 1- сливные отверстия;
- 2 – переливное отверстие

В этом положении песок для размочивания примесей необходимо выдерживать 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 отверстия сосуда. При этом над песком остается слой воды не менее 30 мм.

Затем песок в сосуде снова заливают водой и описанным способом промывают 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; затем взвешивают высушенную навеску песка.

Результаты испытаний

Содержание в песке отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц в процентах по массе вычисляют по формуле (8.1).

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 для бетона по ГОСТ 26633 _____ %

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Выбрать один из выводов – по содержанию пылевидных и глинистых примесей испытанный песок:

- 1) пригоден для бетона;
- 2) подлежит промывке.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ

Органические примеси (гумусовые вещества) могут помешать нормальному схватыванию и твердению цемента, т. е. замедлить твердение цемента и понизить его потенциальную прочность. Их наличие оценивают колориметрической (цветовой) пробой.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Цилиндры стеклянные вместимостью 250 мл из прозрачного бесцветного стекла (внутренний диаметр – 36...40 мм).
3. Натрия гидроокись – 77,3 %.
4. Танин (2 %-ный раствор в 1 %-ном этаноле).

Методика испытаний

Пробу песка заливают 3 %-ным раствором гидроксида натрия до уровня 200 мл. Чем больше органических примесей в песке, тем темнее окрашивается раствор над ним. Цвет раствора сравнивают с цветом специально приготовленного эталона. Это сравнение производится 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 слабее эталонного раствора. В противном случае для определения возможности использования данного песка необходимо специальное исследование его в бетоне или растворе (испытание на прочность на этом песке).

Результаты испытаний

Результаты определения наличия органических примесей заносят в лабораторный журнал по форме:

ГОСТ _____

Метод _____

Объем песка _____ мл

Объем реактива и песка _____ мл

Состав эталонного раствора _____

Заключение

Сделать выводы по результатам проведенных испытаний.

Результаты сравнения окраски пробы с окраской эталона через 24 ч _____

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.

Влажность в процентах по массе вычисляют по формуле (8.2):

$$W = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (8.2)$$

где m – масса навески в состоянии естественной влажности;
 m_1 – масса навески в сухом состоянии, г.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Шкаф сушильный.
3. Противень.
4. Песок кварцевый влажный.

Методика испытаний

Берут навеску влажного песка массой 1000 г, насыпают в противень и сразу же взвешивают, а затем высушивают до постоянной массы.

Результаты испытаний

Результаты испытаний вычисляют по формуле (8.2) и заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса навески песка в состоянии естественной влажности _____ г
Масса навески песка после высушивания _____ г
Влажность песка _____ % 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. Влажный песок плохо просеивается через сита, поэтому определение зернового состава производят после высушивания пробы песка до постоянной массы.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Набор сит с круглыми отверстиями диаметром 10; 5; 2,5 и сетками № 1; 25; 063; 0315 и 016.
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

$$\Gamma_{p10} = \frac{M_{10}}{M} \cdot 100; \quad (8.3)$$

$$\Gamma_{p5} = \frac{M_5}{M} \cdot 100, \quad (8.4)$$

где M_{10} – остаток на сите с отверстиями диаметром 10 мм, г;

M_5 – то же на сите 5 мм, г;

M – масса пробы, г.

Затем от пробы песка, прошедшего сквозь сито с отверстиями 5 мм, отбирают навеску массой 1000 г и просеивают 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.

После просеивания, которое считается законченным по признакам, указанным в ГОСТ 8735, остатки песка на каждом сите и поддоне взвешивают. Эти остатки называются *частными* и обозначаются $a_{2,5}$, $a_{1,5}$ 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, 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

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \quad (8.5)$$

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

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (8.6)$$

где $a_{2,5}$, $a_{1,25}$, a_i – частные остатки на соответствующих ситах.

Например, полный остаток на сите 1,25 мм

$$A_{1,25} = a_{2,5} + a_{1,25}; \quad (8.7)$$

полный остаток на сите 0,63 мм

$$A_{0,63} = a_{2,5} + a_{1,25} + a_{0,63} \text{ и т. д.} \quad (8.8)$$

В табл. 8.2 указано, что полные остатки на ситах нормируются. Если в результате испытания песка оказывается, что полный остаток на

каком-либо сите выходит за пределы, установленные техническими требованиями к заполнителям (ГОСТ 26633), это значит, что зерновой состав данного песка неоптимален, 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 упругости, подсчитываемый по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (8.9)$$

где $A_{2,5}$, $A_{1,25}$, $A_{0,63}$, $A_{0,315}$, $A_{0,16}$ – полные остатки на соответствующих ситах.

Модуль крупности песка, применяемого в качестве заполнителя для бетона, нормирован (табл. 8.2). 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. 3.1), а также область его использования в бетонах определенной прочности.

Результаты испытаний

Вычисляют содержание фракций гравия в песке по формулам (8.3) и (8.4) и частные и полные остатки песка на каждом сите по формулам (8.5) и (8.6).

Модуль крупности песка вычисляют по формуле (8.7). Результаты испытаний заносят в лабораторный журнал по форме:

Масса пробы песка _____ г

Содержание в песке зерен гравия размером 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.

Зерновой состав песка

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки на ситах		Полные остатки на ситах, A_i , %	Требования ГОСТ _____ по полным остаткам, %
	Γ	a_i , %		
2,5				
1,25				
0,63				
0,315				
0,16				
меньше 0,16				
сумма				

Результаты определения зернового состава песка изображают графически в виде кривой просеивания.

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Модуль крупности песка $M_k =$

Вывод о принадлежности песка к группе по крупности _____

Вывод о соответствии песка требованиям к зерновому составу _____

Вывод о пригодности песка для получения бетонов определенной проектной прочности _____

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ ПЕСКА

Насыпной плотностью называют отношение массы сыпучего материала к его объему, включая пустоты между частицами. Объем в данном случае определяется вместимостью мерного сосуда. Насыпную плотность вычисляют в кг/м^3 по формуле

$$\rho_n = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (8.10)$$

где m – масса мерного сосуда, кг;

m_1 – масса мерного сосуда с песком, кг;

V – вместимость сосуда, м³.

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. Чтобы увидеть и понять эту зависимость, следует определить насыпную плотность как сухого, так и влажного песка.

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные.
2. Сосуды мерные цилиндрические металлические вместимостью 1 и 10 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 в предварительно взвешенный стандартный мерный сосуд. Сначала песок насыпают с избытком, 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 (8.3) с погрешностью не более 10 кг/м³; результаты заносят в табл. 8.7.

Т а б л и ц а 8.4

Насыпная плотность кварцевого песка

Определение	Песок сухой		Песок влажный	
	1	2	1	2
Вместимость мерного сосуда, м ³				
Масса сосуда, кг				
Масса сосуда с песком, кг				
Масса песка, кг				
Насыпная плотность, кг/м ³				
Среднее арифметическое значение				

Заключение

Сравнить насыпную плотность сухого и влажного песка; объяснить полученные результаты. Сделать вывод, какая необходима корректировка состава бетона при дозировании по объему.

Задание 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ПЕСКА

Плотность зерен песка зависит от их пористости и минералогического состава и обычно находится в пределах 2,0...2,8 г/см³. Ускоренный метод определения плотности зерен песка предусматривает использование прибора Ле-Шателье (ГОСТ 8735, п. 2).

Плотность зерен песка в г/см³ вычисляется по формуле

$$\rho_z = \frac{m - m_1}{V}, \quad (8.11)$$

где m – масса взятой для испытания навески песка, г;

m_1 – масса остатка песка после испытания, г;

V – объем воды, вытесненной песком, см³ (мл).

Пустотность песка, или объем межзерновых пустот в процентах, можно рассчитать, зная его насыпную плотность ρ_n в кг/м³ и плотность зерен песка ρ_z в кг/м³, т. е. воспользовавшись данными из задания 5 (для сухого песка):

$$V_{\text{пуст}} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z} \right) \cdot 100 \quad (8.12)$$

Как указывалось выше, чем меньше пустотность песка, тем меньший потребуется расход цемента для получения бетона плотной структуры. Непосредственно пустотность песка государственными стандартами не регламентируется, но косвенно 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, затем медленно всыпают предварительно взвешенную навеску 100 г песка до тех пор, пока уровень воды в приборе не поднимется до верхней риски. Определяют массу оставшегося песка. Массу песка в приборе определяют как разницу первоначальной навески и остатка.

Результаты испытаний

Среднюю плотность зерен песка вычисляют по формуле (8.11); результаты заносят в журнал по форме:

Масса навески сухого песка _____ г
Масса остатка песка _____ г
Израсходовано песка _____ г
Объем воды, вытесненной песком, _____ см³
Средняя плотность зерен песка _____ г/см³, _____ кг/м³

Заключение

Сопоставить насыпную плотность и плотность зерен кварцевого песка.

Задание 7. ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕСКА

При рассмотрении песка под микроскопом определяют минералогический состав его зерен, их форму, характер поверхности, выявляют наличие минералов и пород, представляющих опасность в бетоне.

Обычно преобладающим минералом в песке является кварц. Имеются также зерна полевого шпата, карбонатных пород и др. Форма зерен в зависимости от генезиса месторождения природного песка может быть окатанной или угловатой, поверхность зерен – гладкой или шероховатой. Естественно, от этого будет зависеть прочность сцепления цементного камня с поверхностью зерен песка в бетоне.

Из вредных для бетона минералов и пород при петрографическом исследовании могут быть обнаружены нестойкие зерна железных руд, сульфидов, сульфатов и т. д., чешуек слюды, а также зерна аморфных разновидностей кремнезема в виде опала, кремния и др., опасность которых состоит в том, что в щелочной среде они могут вступить в химические реакции с увеличением объема.

Результаты рассмотрения зерен песка под микроскопом отражают в виде краткой петрографической характеристики в лабораторном журнале.

Задание 8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ О КАЧЕСТВЕ ПЕСКА

Заключение о соответствии результатов испытания песка требованиям стандартов и его пригодности к применению в качестве

мелкого заполнителя для бетона делается по совокупности всех рассмотренных показателей. Если по какому-либо из показателей качества песок не соответствует требованиям стандартов, принимается решение о его промывке, сортировке, обогащении или о проведении дополнительных специальных исследований.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Что такое частные и полные остатки на ситах?
2. Какие остатки (частные или полные) нормируются стандартами?
3. Какая примесь гравия допускается в песке?
4. Сколько допускается в песке частиц, проходящих сквозь сито с размером отверстий 0,16 мм?
5. Как рассчитывают модуль упругости?
6. В каких пределах теоретически могут варьироваться значения модуля крупности? В каких пределах он находится для песков, используемых в бетонах?
7. Насыпная плотность какого песка больше: удовлетворяющего требованиям стандарта по зерновому составу или не удовлетворяющего? Почему?
8. Насыпная плотность какого песка больше: сухого или влажного? Почему?
9. Какие виды вредных примесей определяют в песке?
10. Почему вредно содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
11. Как определяется содержание в песке пылевидных и глинистых примесей?
12. Почему вредно чрезмерное наличие в песке органических примесей и как оно оценивается?
13. В какой цвет окрашивается водный раствор едкого натра при взаимодействии с песком? Как зависит окраска раствора от содержания в песке органических примесей?
14. На чем основан метод определения органических примесей в песке?
15. Как рассчитать пустотность песка и какое она имеет значение?
16. Какой минерал преобладает в песке?
17. Каковы форма зерен песка и характер поверхности? Какое это имеет значение при использовании песка в бетоне?

Л и т е р а т у р а

1. Ицкович С.М., Чумаков Л.Д., Баженов Ю.М. Технология заполнителей бетона. – М.: Высш. школа, 1991.
2. ГОСТ 8736. Песок для строительных работ. Технические условия.
3. ГОСТ 8735. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
4. ГОСТ 26633. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 9

КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА

Цель работы

1. Практически ознакомиться со свойствами широко применяемых природных и искусственных пористых заполнителей и их структурными особенностями.
2. Приобрести навыки проведения стандартных лабораторных испытаний, выяснения их сущности и значения.
3. Сравнить требования стандартов к качеству крупных заполнителей и эффективность их применения в бетонах.

9.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие заполнители называют крупными?
2. Какова роль крупных заполнителей в бетоне?
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. Как получают гравий?
7. Из каких горных пород и как получают щебень для тяжелого бетона?

8. Какие заполнители применяются 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 применяются 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?

9.2. 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.

9.3. Общие сведения о крупных заполнителях

9.3.1. Значение крупных заполнителей для бетона

Крупными называются заполнители, размеры которых превышают 5 мм. Верхний предел крупности заполнителей ограничивается условиями применения бетона. Он не должен превышать $3/4$ расстояния между стержнями арматуры в железобетонной конструкции, $1/4$ наименьшего размера сечения балочных элементов или $1/2$ 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, наибольшая крупность

заполнителя определяется как половина толщины, т. е. 40 мм. Если же в заводских условиях подобные плиты бетонируют в вертикальных кассетных формах, 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.

Какой крупный заполнитель будет выгоднее применить в бетоне: 5...20 или 5...40 мм? Очевидно, 5...40 мм. Во-первых, он, как правило, дешевле (например, 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 потребуются 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 и термических напряжений от экзотермии (в массивных конструкциях).

Особое значение крупные заполнители имеют при получении легких бетонов. Снижение собственного веса 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.

9.3.2. Виды крупных заполнителей

По насыпной плотности крупные заполнители подразделяются на *тяжелые* (свыше 1000 кг/м³) и *легкие* (до 1000 кг/м³), по структуре – на *плотные* и *пористые*. К пористым относятся заполнители, пористость которых – не менее 10 %.

На тяжелых заполнителях получают, в основном, плотные тяжелые бетоны, на легких – легкие. Исключение составляет крупнопо-

ристый легкий бетон, который можно получать как на легких, так и на тяжелых заполнителях.

Для получения специальных особо тяжелых бетонов, используемых для защиты от гамма-излучения, применяют соответствующие особо тяжелые заполнители из барита, железных руд, металллома.

По форме зерен крупного заполнителя различают гравий и щебень. *Гравий* состоит из зерен окатанной, округлой формы, *щебень* – из зерен угловатой формы.

По своей природе материалы, используемые в качестве крупных заполнителей, могут быть природными или искусственными.

К *природным* относятся гравий, получаемый путем просеивания природных песчано-гравийных смесей, и щебень, получаемый дроблением каменных пород.

К *искусственным* относятся гравий и щебень, получаемые вспучиванием, спеканием при обжиге или другой специальной переработкой природного сырья или промышленных отходов.

В данной лабораторной работе подлежат исследованию четыре вида крупных заполнителей: гравий природный и керамзитовый, щебень гранитный и аглопоритовый.

9.3.3. Краткие сведения о технологии производства крупных заполнителей

Природный гравий получают сортировкой песчано-гравийных смесей, относящихся к обломочным осадочным породам. После геологической разведки месторождений производят разработку карьера, затем добытую смесь подвергают сортировке по крупности зерен на промышленных ситах (грохотах) для отделения песка и разделения гравия на предусмотренные стандартом фракции. В случае чрезмерной засоренности пылевидными или глинистыми примесями гравий промывают водой.

Щебень получают дроблением различных горных пород (гранита, плотных карбонатных пород – известняка, доломита) в дробилках с последующим разделением на требуемые фракции.

Гравий керамзитовый получают из глинистого сырья вспучиванием гранул при обжиге во вращающейся печи. Температура обжига – примерно 1200°C. Глина вспучивается в пиропластическом (размягченном от воздействия высокой температуры) состоянии,

когда некоторые вещества в ее составе разлагаются с выделением газообразных продуктов. Хорошо вспучивающиеся глины, пригодные для производства керамзита, встречаются нечасто, поэтому производство керамзита организуют на базе открытых и исследованных месторождений глинистого сырья соответствующего качества. Возможно повышение вспучиваемости сырья специально вводимыми добавками. Сырьевые гранулы (комочки) при вспучивании увеличиваются в объеме и округляются, поэтому керамзит получается, в основном, в виде гравия.

Щебень аглопоритовый получают спеканием тощих невспучивающихся глинистых пород с добавкой до 10 % дробленого каменного угля. Спекание (агломерацию) производят на решетчатом конвейере агломерационной машины после зажигания слоя шихты при прососе через него воздуха. Вместо глинистых пород в качестве сырья часто используются отходы углеобогащения или зола тепловых электростанций, содержащие в своем составе достаточное для агломерации количество топлива. После спекания слоя шихты образующийся корж охлаждают и дробят, получая щебень и одновременно некоторое количество аглопоритового песка.

9.3.4. Требования к крупным заполнителям для бетона

Крупный заполнитель поставляют потребителям, складировать и использовать в виде отдельных фракций по крупности зерен: 5(3)...10, 10...20, 20...40 мм и др. Допускается поставка заполнителей в виде смеси двух смежных фракций, например, 5(3)...20 мм.

В каждой фракции заполнителя стандартами допускается, но ограничивается (обычно до 5 %) примесь зерен смежных фракций – более мелких и более крупных, чем номинальные размеры зерен фракции.

Так как при выполнении лабораторной работы № 9 «Испытание мелкого заполнителя для бетона» определению зернового состава заполнителя уделено достаточно внимания, в ходе данной лабораторной работы аналогичные вопросы не рассматриваются. Все определения будут проведены на крупных заполнителях одной стандартной фракции 10...20 мм. По той же причине не будет оцениваться качество заполнителей по содержанию пылевидных, глинистых и органических примесей. Есть и другие требования стандар-

тов, которым в данной лабораторной работе не уделяется внимание, т. к. главная ее цель – сравнительная оценка плотности, структурных особенностей и прочности четырех видов заполнителей для тяжелых и легких бетонов.

Природный гравий по прочности зерен, согласно ГОСТ 8267, подразделяется на следующие марки: 1000, 800, 600, 400, причем для применения в тяжелом бетоне допускается гравий только первых трех марок.

Марка по дробимости – это косвенная характеристика средней прочности зерен гравия, определяемая путем сжатия (раздавливания) пробы гравия стандартной нагрузкой в стандартном цилиндре по методике, предусмотренной ГОСТ 8269. Обозначение марок гравия означает допустимые величины прочности при сжатии пород, слагающих зерна гравия (табл. 9.1).

Т а б л и ц а 9.1

Марки гравия по дробимости

Марка	Потеря массы при испытании, %	Ориентировочные значения прочности при сжатии пород, слагающих зерна гравия, МПа
1000	до 8 включит.	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

Гравий марки 600, согласно ГОСТ 8269.0, может использоваться в тяжелых бетонах марок ниже М 300 (класс В 25) (с проектной прочностью при сжатии ниже 30 МПа); гравий марки 800 допускается к применению в бетонах марок М 300 и М 350, а в бетонах марок М 400 (класс В 35) и выше разрешается использовать гравий только марки 1000.

Щебень из природного камня, согласно ГОСТ 8267, подразделяется по прочности на ряд марок, причем марка соответствует пределу прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии (в МПа). Непосредственное испытание выпиленных из горной породы образцов производится при геологической

разведке и в отдельных случаях – при необходимости; в большинстве случаев прочность щебня, как и гравия, оценивается испытанием на дробимость по ГОСТ 8269. Для щебня из гранитных пород требования ГОСТ 8267 приведены в табл. 9.2.

Щебень из изверженных пород марок 800 и выше, согласно ГОСТ 8269.0, может применяться в качестве крупного заполнителя для всех видов тяжелого бетона сборных и монолитных конструкций, причем для бетонов марки М 300 (класса В 25) и выше марка щебня должна быть выше марки бетона не менее чем в 2 раза.

Т а б л и ц а 9.2

Марки гранитного щебня

Марка по прочности	Потеря массы при испытании, %	Предел прочности при сжатии исходной горной породы, МПа
1400	до 12 включит.	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

Гравий керамзитовый, керамзит гравиеподобный и другие пористые заполнители в отличие от плотных маркируются по прочности (дробимости) 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 граввию и керамзиту гравиеподобному приведены в табл. 9.3.

Прочность пористых заполнителей оценивается косвенно по методике согласно ГОСТ 9758.

Т а б л и ц а 9.3

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 включит.	до 0,5 включит.	-
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

Щебень аглопоритовый по СТБ 1217 подразделяется на марки по насыпной плотности и прочности. Каждой марке должна соответствовать прочность на сдавливание в цилиндре по методике ГОСТ 9758 не менее установленного минимума. Выборочно эти требования приведены в табл. 9.4.

Т а б л и ц а 9.4

Марки и требования к прочности аглопоритового щебня

Марка		Насыпная плотность, кг/м ³	Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа
по насыпной плотности	по прочности		
1	2	3	4
400	П35	от 350 до 400 включит.	от 0,4 до 0,5 включит.
450	П50	от 400 до 450	от 0,5 до 0,6

1	2	3	4
500	П150	от 450 до 500	от 0,5 до 0,6
550	П75	от 500 до 550	от 0,6 до 0,7
600	П75	от 550 до 600	от 0,6 до 0,7
700	П100	от 600 до 700	от 0,7 до 0,8
800	П150	от 700 до 800	от 0,8 до 0,9
900	П250	от 800 до 900	от 0,9 до 1,0

Задания

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 взвешивания заполнителя данной фракции, высушенного до постоянной массы, в мерном сосуде.

Следует иметь в виду, что результат определения насыпной плотности заполнителя зависит от вместимости и формы мерного сосуда и 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. Для определения насыпной плотности природного гравия или щебня с наибольшей крупностью зерен 10 мм ГОСТ 8269 предусматривает ис-

пользование 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. Форма мерных сосудов во всех случаях – цилиндрическая, высота равна диаметру.

Приборы и материалы

1. Весы настольные циферблатные.
2. Шкаф сушильный.
3. Крупный заполнитель: щебень 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 100 мм в предварительно взвешенный мерный сосуд до образования над верхом сосуда конуса. Затем, не сдвигая сосуд (во избежание уплотнения заполнителя), стальной линейкой движением к себе, от себя или от середины влево и вправо срезают конус, и сосуд с заполнителем взвешивают.

Насыпную плотность заполнителя в $\text{кг}/\text{м}^3$ вычисляют по формуле

$$\rho_n = \frac{(m_2 - m_1)}{V}, \quad (9.1)$$

где m_2 – масса мерного сосуда с заполнителем, г (кг);

m_1 – масса мерного сосуда, г (кг);

V – вместимость мерного сосуда, л (м^3).

Насыпную плотность определяют два раза, при этом каждый раз берут новую порцию заполнителя.

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

Студенты определяют насыпную плотность природного гравия и гранитного щебня, керамзитового гравия и щебня аглопоритового.

Результаты испытаний

Результаты испытаний крупных заполнителей заносят в табл. 9.1 и сравнивают между собой по насыпной плотности. Анализируют, почему гравий тяжелее щебня, почему природные заполнители тяжелее искусственных. Для керамзитового гравия и аглопоритового щебня устанавливают их марки по плотности, пользуясь табл. 9.3, 9.4.

Т а б л и ц а 9.5

Результаты определения насыпной плотности крупных заполнителей

Определения	Гравий при- родный	Щебень гранит- ный	Гравий керам- зито- вый	Щебень аглопо- рито- вый
Фракция, мм				
Вместимость мерного цилиндра, л				
Масса мерного цилинд- ра, кг				
Масса заполнителя, кг				
Насыпная плотность заполнителя, кг/ м ³				
Марка по насыпной плотности (для порис- тых заполнителей)				

Заключение

Сравнить насыпную плотность испытанных заполнителей и дать объяснение.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЗЕРЕН ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Плотность зерен заполнителя представляет собой отношение массы пробы сухого щебня или гравия к суммарному объему его зерен.

Объем зерен заполнителя определяют по разнице в результатах взвешивания пробы на воздухе и в воде. Так как взвешивание в воде сопряжено с возможностью ее проникания в поры зерен заполнителя, последний заранее насыщают водой.

Плотность зерен заполнителя в г/см^3 или кг/м^3 вычисляют по формуле

$$\rho_3 = \frac{m_2 \rho_d}{m_1 - m_2}, \quad (9.2)$$

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, г (кг);

ρ_e – плотность воды, принятая равной 1 г/см^3 (1000 кг/м^3).

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 объемом в 1 л высушивают до постоянной массы в сушильном шкафу.

Затем их насыщают водой, опуская в воду комнатной температуры на 2 ч для того, чтобы в процессе гидростатического взвешивания исключить проникание воды в поры. Поскольку этот процесс длительный, для ускорения лабораторной работы студентам предлагаются заранее приготовленные пробы заполнителей, взвешенные в сухом состоянии и затем насыщенные водой. Насыщенные водой заполнители вынимают из воды, удаляют влагу с их поверхности мягкой влажной тканью, взвешивают на настольных весах, а затем – на гидростатических, помещая заполнители в сетчатый (перфори-

рованный) стакан, погруженный в воду. При гидростатическом взвешивании пористых заполнителей, если они даже в насыщенном водой состоянии легче воды, может случиться, что результат взвешивания m_2 (масса пробы в воде) окажется отрицательным, и заполнитель потянет рычаг весов не вниз, а вверх. В этом случае в расчетную формулу следует подставить m_2 со знаком минус, т. е. абсолютные значения m_1 и m_2 сложить.

Результаты испытаний

Плотность зерен заполнителя вычисляют по формуле (9.2) и записывают в табл. 9.6.

Т а б л и ц а 9.6

Результаты определения плотности зерен заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Масса пробы сухого заполнителя, г				
То же насыщенного водой, г				
Результат гидростатического взвешивания, г				
Суммарный объем зерен пробы заполнителя, см ³				
Средняя плотность зерен заполнителя в сухом состоянии, г/см ³				
То же, кг/м ³				

Заключение

Сравнить численные значения плотности зерен испытанных заполнителей и дать объяснение.

Задание 3. РАСЧЕТ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Методика испытаний

Зная насыпную плотность ρ_n и среднюю плотность зерен ρ_z , можно для каждого из испытанных заполнителей рассчитать пустотность в процентах по формуле

$$V_{пуст} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_z} \right) \cdot 100, \quad (9.3)$$

где ρ_n и ρ_z – в кг/м^3 .

Проделав этот расчет, следует сравнить пустотность гравия и щебня. Как правило, пустотность щебня больше, что 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 приводит к необходимости повышенного расхода цемента для получения плотного бетона. С другой стороны, преимущество щебня перед гравием состоит в лучшем сцеплении с ним цементного камня, что является решающим фактором при получении высококачественных бетонов.

При сравнении межзерновой пустотности пористых заполнителей следует также обратить внимание на то, что у керамзитового гравия она меньше, у аглопоритового – больше.

Затем следует проанализировать свойства зерен испытываемых заполнителей. Данные из задания № 2 можно использовать для оценки водопоглощения заполнителей за время их пребывания в воде.

Водопоглощение по массе, %,

$$W_{погл.м} = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100. \quad (9.4)$$

Водопоглощение по объему, %,

$$W_{погло} = W_{погл.м} \frac{\rho_z}{\rho_n} = \frac{m_1 - m}{m_1 - m_2} \cdot 100. \quad (9.5)$$

(Обозначения величин приведены в задании 2.)

Пористые заполнители – керамзит и аглопорит, – естественно, имеют гораздо большее водопоглощение, чем природный гравий и гранитный щебень – материалы весьма плотные. При приготовлении легбетонных смесей это обстоятельство 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 по формуле

$$V_{пор} = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right) \cdot 100, \quad (9.6)$$

где ρ – плотность вещества заполнителей (истинная плотность), кг/м^3 .

Определение плотности вещества (истинной плотности) производится путем 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 ρ , 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 материалоемкость, энергоемкость производства, себестоимость; с другой стороны, выше эффективность его применения в легких бетонах, так как бетоны получаются более легкими, с меньшей теплопроводностью.

Дальнейший анализ экспериментальных данных позволяет оценить пористость зерен заполнителей качественно. Коэффициент насыщения пор

$$K_n = \frac{W_{погло}}{V_{пор}} \quad (9.7)$$

показывает, какая часть общей пористости зерен заполнителя открыта и в данных условиях доступна заполнению водой. Очевидно,

что с точки зрения эксплуатационных свойств легких бетонов предпочтительна закрытая пористость заполнителя.

Результаты испытаний

Результаты определения структурных характеристик заносят в табл. 9.7.

Т а б л и ц а 9.7

Структурные и гидрофизические характеристики пористых заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень гранитный	Гравий керамзитовый	Щебень алопоритовый
Насыпная плотность, кг/ м ³ (из задания 1)				
Средняя пустотность зерен, кг/ м ³ (из задания 2)				
Пустотность (межзерновая пустотность), %				
Масса пробы заполнителя в сухом состоянии (из задания 2)				
То же в водонасыщенном состоянии, г				
Водопоглощение, % по массе				
То же, % по объему				
Плотность вещества (истинная плотность), кг/ м ³				
Пористость зерен, %				
Коэффициент насыщения пор водой				

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРОБИМОСТИ ПРИРОДНОГО ГРАВИА И ГРАНИТНОГО ЩЕБНЯ

Дробимость является косвенной характеристикой средней прочности крупных заполнителей. Она определяется путем сдавливания (сжатия) гравия в стандартном цилиндре. Марка гравия по дробимости означает допустимые величины потерь при отсеивании на контрольном сите.

Показатель дробимости в процентах определяется по формуле

$$Др = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (9.8)$$

где m – масса пробы заполнителя, г;

m_1 – масса остатка на сите после отсеивания раздробившихся частиц, г.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН.
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 75 и 150 мм со съемным дном и плунжером.
3. Весы настольные лабораторные.
4. Сита из стандартного набора.
5. Сито с сеткой № 2,25.
6. Шкаф сушильный.
7. Сосуд для насыщения щебня (гравия).

Методика испытаний

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 пуансон и на гидравлическом прессе передают заполнителю через пуансон сжимающее усилие 200 кН (20 тс). Скорость возрастания нагрузки должна составлять 1...2 кН/с.

После сжатия пробы заполнителя указанным усилием пресс выключают, пробу высыпают из цилиндра в предварительно взвешен-

ный сосуд и взвешивают. Затем ее просеивают через сито с размером отверстий, в 4 раза меньшим наименьшего номинального размера испытуемой фракции заполнителя. Для фракции 10...20 мм предусмотрено сито с размером отверстий 2,5 мм.

Остаток заполнителя на сите после просеивания взвешивают.

Дробимость D_r в % вычисляют с точностью до 1 % по формуле (9.8).

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в лабораторный журнал по форме, приведенной в табл. 9.8.

Т а б л и ц а 9.8

Результаты испытаний на дробимость крупных заполнителей

Определения	Гравий природный	Щебень
Фракция, мм		
Размер отверстий контрольного сита, мм		
Усилие на пуансон, кН		
Масса пробы, г		
Масса остатка на контрольном сите, г		
Масса отсеянных зерен, г		
Показатель дробимости, %		
Масса гравия, щебня		
Соответствующая марке прочность при сжатии горной породы, МПа		

По данным табл. 9.1 устанавливают марку по дробимости гравия и ориентировочную прочность горных пород, слагающих его зерна; по данным табл. 9.2 – марку щебня по прочности.

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. 9.1) – 8...12 %, щебня (табл. 9.2) – 20...25 %, потому что показатель дробимости зависит не только от прочности испытуемого материала, но и от формы его зерен (для шаровидных зерен при той же нагрузке дробимость меньше, для угловатых – больше). Если обратиться к бетонам, аналогичные условия работы заполнителя имеют место только в крупнопористом бетоне, а в плотных бетонах при расположении зерен крупного заполнителя в сплошной среде растворной составляющей нагрузка передается равномерно распределенной, а не сосредоточенной 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 формирования его прочности.

Заключение

Сравнить показатели дробимости гравия природного 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 сдавливание в цилиндре по стандартной методике.

Предел прочности при сдавливании в цилиндре, МПа, вычисляют по формуле

$$R_u = \frac{F}{A}, \quad (9.9)$$

где F – нагрузка при погружении пуансона до верхней риски, Н;

A – площадь поперечного сечения цилиндра, равная 0,0177 м².

Результаты испытания зависят не только от прочности заполнителя, но и от формы его зерен. Здесь в полной мере справедливо сказанное выше (задание 4) по поводу аналогичной методики испытания плотных заполнителей для тяжелого бетона. Разделив нагрузку, со-

гласно вышеприведенной формуле, 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 превышает показатель прочности при сдавливании в цилиндре в среднем в 4,5 раза, а прочность аглопоритового щебня – в 30 раз. Этими данными можно пользоваться для ориентировочной расчетной оценки прочности $R_{\text{расч}}$ названных пористых заполнителей по результатам стандартных испытаний в цилиндре:

$$R_{\text{расч}} = K\sigma_{\text{ц}}, \quad (9.10)$$

где K – коэффициент пропорциональности, принимаемый равным 4,5 – для керамзитового гравия; 30 – для аглопоритового щебня.

Еще одна возможность для предварительной ориентировочной оценки прочности керамических пористых заполнителей (к которым относятся керамзит и аглопорит) состоит в использовании эмпирической зависимости прочности от плотности:

$$R_{\text{расч}} = 15\rho_z^2, \quad (9.11)$$

где ρ_z – плотность зерен, г/см³.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический с максимальным усилием 500 кН.
2. Цилиндры стальные с внутренним диаметром 150 мм со съёмным дном и плунжером.
3. Щебень аглопоритовый; 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 положение 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 сжимающей нагрузкой и фиксируют нагрузку 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 со стандартными требованиями (см. табл. 3.3 для данной марки по насыпной плотности (задание 1)) и установить, соответствует ли данный керамзитовый гравий требованиям стандарта и по какой категории качества. То же проделать по результатам испытания аглопоритового щебня (см. табл. 9.4).

Результаты испытаний

Прочность испытанных заполнителей вычисляют по формуле (9.9); результаты заносят в табл. 9.9.

Т а б л и ц а 9.9

Прочность пористых заполнителей

Определения	Гравий керамзитовый	Щебень аглопоритовый
Нагрузка при сдавливании заполнителя на 1/5 объема, Н		
Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа		
Марка по насыпной плотности		
Требования стандартов по прочности		
Категория качества		
Ориентировочная оценка расчетной прочности заполнителя: исходя из результатов испытания на сдавливание в цилиндре исходя из плотности зерен		

Заключение

Сравнить прочность при сдавливании в цилиндре гравия керамзитового и щебня аглопоритового и дать объяснение.

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 по сравнению с другими по насыпной плотности, пустотности, средней плотности и пористости зерен, соотношению открытой и закрытой пористости, прочности.

В соответствии с предписаниями ГОСТ 10268, определяется область применения природного гравия и гранитного щебня в тяжелых бетонах соответствующих марок 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.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Чем ограничивается верхний предел крупности заполнителей?
2. Как влияет расход крупного заполнителя на расход цемента в бетоне, величину усадки?
3. Как влияет расход крупного пористого заполнителя на плотность и теплопроводность легкого бетона?
4. Что выражает обозначение марки природного гравия?
5. Что выражает обозначение марки щебня из природных каменных материалов?
6. Что выражает обозначение марки пористых заполнителей?
7. Как определяется объем пробы заполнителя для вычисления средней плотности зерен?
8. Какие характеристики заполнителя надо знать для расчета его пустотности?

9. От чего зависит пустотность данной фракции заполнителя?
10. Какие характеристики заполнителя надо знать для расчета величины пористости его зерен?
11. Что показывает коэффициент насыщения?
12. Как по стандарту оценивается прочность заполнителей для тяжелого бетона?
13. Как определяется дробимость заполнителей?
14. Как по стандарту определяется прочность пористых заполнителей для легкого бетона?
15. Какой из испытанных заполнителей – природный гравий или гранитный щебень – 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?

Л и т е р а т у р а

1. И ц к о в и ч С.М. Заполнители для бетона. – Мн.: Выш. школа, 1983. – 214 с.
2. ГОСТ 8267-93. 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 1217-2000. Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 1 0

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ 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 м^3 бетона после изготовления пробных замесов.

4. Изготовить опытные образцы из бетонной смеси для определения прочности бетона при сжатии.

10.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Что представляют собой бетон и бетонная смесь?
2. Классификация бетона по средней плотности.
3. Какие компоненты входят в бетон?
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 характеризуется 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 уплотнения бетонной смеси применяют?

10.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Расчет предварительного (ориентировочного) состава тяжелого бетона.

Задание 2. Изготовление пробных замесов и определение удобоукладываемости бетонной смеси.

Задание 3. Определение средней плотности бетонной смеси. Изготовление контрольных бетонных образцов и расчет фактического расхода составляющих бетона.

10.3. Общие сведения о бетоне и бетонных смесях

10.3.1. Бетон и бетонные смеси

Бетон – это искусственный камень, получаемый в результате твердения рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из минерального вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей. Минеральные вяжущие вещества и вода – активные составляющие в бетоне, мелкий и крупный заполнитель – инертные.

Бетонная смесь – это смесь составляющих бетона до начала затвердевания. Смесь сухих компонентов (без воды) называется сухой бетонной смесью. При добавлении воды в эту смесь происходит гидратация минерального вяжущего, твердение и превращение ее в бетон.

Цементное тесто, образующееся при затворении цемента водой, обволакивает зерна песка (мелкого заполнителя), щебня или гравия (крупных заполнителей). Оно играет роль своеобразной смазки, придающей бетонной смеси необходимую подвижность.

Зерна заполнителей, надежно связанные цементным камнем, образуют жесткий скелет бетона, уменьшая его усадку, возникающую в результате усадки цементного камня при твердении.

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона состоит в определении 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 заданной марки (класса) по прочности в установленные сроки.

Технологические свойства бетонной смеси оценивают подвижностью в сантиметрах или жесткостью в секундах (ГОСТ 10181.1). По подвижности и жесткости различают бетонные смеси: сверхжесткие, жесткие, низкопластичные, пластичные и литые, характеристика которых приведена в табл. 10.1.

Характеристика бетонных смесей

Наименование бетонной смеси	Марка по удобоукладываемости	Подвижность ОК, см	Жесткость, Ж, сек
Сверхжесткие	СЖ3	-	более 100
	СЖ2	-	51...100
	СЖ1	-	41...500
Жесткие	Ж-4	-	31...40
	Ж-3	-	21...30
	Ж-2	-	11...20
	Ж-1	-	5...10
Низкопластичные	П1	1...4	4 и менее
	П2	5...9	-
	П4	16...20	-
Литые	П5	21 и более	-

Контрольными характеристиками качества бетона по прочности являются классы и марки. Основной характеристикой бетона является класс бетона по прочности на сжатие и, при необходимости, – при осевом растяжении или растяжении при изгибе.

Класс бетона по прочности на сжатие характеризуется пределом прочности при сжатии с гарантированной обеспеченностью (не менее 0,95).

Марка бетона по прочности на сжатие характеризуется средним значением предела прочности бетона без учета коэффициента вариации (изменчивости).

10.3.2. Установление требований к бетону и бетонной смеси

Класс бетона, отпускная прочность и другие специальные требования (морозостойкость, химическая стойкость, истираемость и т. д.) определяются условиями эксплуатации конструкции и указываются в рабочих чертежах и нормативной документации на данный вид изделий.

Удобоукладываемость бетонной смеси выбирается в зависимости от размеров и сложности конфигурации изделия, густоты армирования, способов укладки и уплотнения бетонной смеси (табл. 10.2).

Т а б л и ц а 10.2

Требования к подвижности и жесткости бетонной смеси

№ пп	Конструкции и способ уплотнения	Жесткость, с	Подвижность, с
1	Сборные железобетонные с немедленной распалубкой, формируемые на виброплощадках и вибронасадках	11...30	
2	Перекрытия с пустотами, стеновые панели, формируемые в горизонтальном положении на виброплощадках	5...10	1...4
3	Густоармированные элементы (колонны, ригели, плиты), изготавливаемые с применением наружного или внутреннего вибрирования	3...5	5...9
4	Формируемые на ударно-вибрационных установках	20...30	-
5	Формуемые в кассетах	-	7...14
6	Центрифугированные	-	5...10
7	Гидропрессованные (трубы)	5...10	-

10.3.3. 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.

Согласно СНиП 5.01.23-83, марку цемента выбирают в зависимости от требуемой прочности бетона при сжатии. Для экономного расходования цемента необходимо, чтобы его марка превышала заданную прочность бетона примерно в 1,5 раза.

Между маркой цемента и прочностью бетона при сжатии существует зависимость, которая выражается формулой

$$R_{ц} = (0,81 - 1,65) R_{б}. \quad (10.1)$$

Для бетонов высоких марок (М500...800), когда $R_{б} \geq R_{ц}$, соотношение $R_{б} / R_{ц}$ близко к 1.

В зависимости от прочности бетона при сжатии в табл. 10.3 приведены рекомендуемые и допускаемые марки цемента.

Т а б л и ц а 10.3

Выбор марки цемента

Предел прочности бетона при сжатии, МПа (кгс/см ²)		9,8 (100)	14,7 (150)	19,6 (200)	29,4 (300)	39,2 (400)	49,0 (500)	58,8 (600)
Класс бетона		B7,5	B10	B15	B25	B30	B40	B45
Марка цемента	рекомендуемая	300	400	400	400	500	600	600
	допускаемая	-	400	300, 500	500	550, 600	500, 550	550

Вид цемента следует выбирать в соответствии с назначением конструкций и условиями эксплуатации, требуемым классом (маркой) бетона, величиной отпускной или передаточной прочности бетона для сборных конструкций или проектным возрастом бетона для монолитных конструкций на основании указаний стандартов, технических условий или документации на изделия, конструкции и сооружения с учетом ГОСТ 30515-97.

СНиП 5.01.23-83 устанавливает минимальный и максимальный расход цемента в бетоне.

Для неармированных бетонных сборных изделий минимальные типовые нормы – не менее 200 кг/м³ бетона, для армированных (железобетонных) – не менее 220 кг/м³. Типовая норма расхода цемента не должна превышать 600 кг на 1 м³ 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 ГОСТ 26633-91. Допускается применение в качестве заполнителя щебня из доменного шлака, щебня и песка из шлаков тепловых электростанций, песка из отсевов дробления горных пород, а также дробленого бетона из некондиционных бетонных и железобетонных изделий.

При выборе вида крупного заполнителя предпочтение следует отдавать щебню. Применение гравия возможно только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Для высокопрочных бетонов следует применять только щебень, прочность которого должна превышать среднюю прочность бетона не менее чем в 2 раза для бетона класса В25 и выше. 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 1114-98, для изготовления бетонных смесей и поливки уложенного бетона применяют питьевую 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 больше 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 до-

пустимого в воде для затворения бетонной смеси. Допускаемые пределы их содержания приведены в СТБ 1114-98.

4. Пластификаторы.

Пластифицирующие добавки применяются 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 1112-98.

Задания

Задание 1. РАСЧЕТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО (ОРИЕНТИРОВОЧНОГО) СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Методика испытаний

Состав бетона выражается расходом всех его составляющих материалов по массе на 1 м^3 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 заданном (требуемом) количестве воды ($B / Ц + Z$).

Различают лабораторный состав бетона, рассчитанный для составляющих материалов (песок, щебень (гравий)) в сухом состоянии, и производственный состав – для материалов с естественной влажностью.

Из существующих 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 по результатам пробных замесов расчеты проверяют и уточняют с учетом испытаний контрольных образцов.

1. Расчет ориентировочного состава бетона.

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо знать следующие исходные данные:

- 1) заданную среднюю прочность бетона (марку), R_b ;

- 2) требуемую удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси ОК, см, или Ж, с;
- 3) вид и активность (марку) цемента $R_{ц}$;
- 4) насыпную плотность цемента $R_{цн}$;
- 5) насыпную плотность мелкого заполнителя $\rho_{мз}$;
- 6) насыпную плотность крупного заполнителя $\rho_{кз}$;
- 7) истинную плотность цемента $\rho_{ц}$;
- 8) плотность зерен мелкого заполнителя $\rho_{мз}$;
- 9) плотность зерен крупного заполнителя $\rho_{кз}$;
- 10) пустотность крупного заполнителя $V_{пуст}$;
- 11) наибольшую крупность зерен щебня или гравия;
- 12) влажность мелкого заполнителя $W_{мз}$.

Исходные данные для подбора состава бетона приведены в табл. 10.4. Студенты, выполняющие вариант расчета № 1, используют физические характеристики заполнителей и цемента, полученные в предыдущих лабораторных работах.

Т а б л и ц а 10.4

Исходные данные для подбора состава бетона

№ варианта	Средняя прочность, МПа	Подвижность (жесткость) бетонной смеси, см /(с)	Минимально допустимый расход цемента, кг/м ³	Насыпная плотность составляющих бетона, кг/м ³			Плотность зерен заполнителей, кг/м ³		
				заполнители		цемент	мелкого	крупного	истинная плотность цемента, кг/м ³
				мелкий	крупный				
1	7,5	3	220						3050
2	10	5	250	1540	1540	1050	2560	2600	3060
3	15	4	300	1550	1580	1100	2580	2700	3070
4	20	3	325	1560	1400	1150	2600	2620	3080
5	25	2	350	1570	1420	1200	2620	2640	3090
6	30	/100/	350	1580	1440	1250	2640	2660	3100
7	40	/180/	350	1520	1410	1020	2520	2450	3060
8	50	/150/	350	1590	1460	1300	2680	2680	3110
9	60	/200/	350	1600	1480	1280	2700	2700	3120
10	7,5	4	300	1530	1550	1060	2540	2550	3070
11	12,5	3	325	1540	1590	1100	2560	2650	3080
12	45	2	350	1550	1410	1140	2580	2630	3090
13	55	1	325	1560	1430	1160	2600	2650	3100

Примечание. Максимальная крупность заполнителя – 20 мм.

Состав бетона для пробных замесов рассчитывают в следующей последовательности: вычисляют водоцементное отношение, расход воды, расход цемента, определяют расходы крупного и мелкого заполнителей на 1 м³ бетонной смеси.

2. Определение водоцементного отношения.

Водоцементное отношение В/Ц вычисляют, исходя из требуемой прочности бетона, активности цемента и с учетом вида и качества составляющих по следующим формулам:

для бетона с водоцементным отношением В/Ц = 0,40 (т. е. для пластичных бетонов)

$$R_b = A \cdot R_{ц} (Ц/В - 0,5); \quad (10.2)$$

для бетона с водоцементным отношением В/Ц < 0,4 (для жестких бетонов)

$$R_b = A_1 \cdot R_{ц} (Ц/В + 0,5), \quad (10.3)$$

где R_b – прочность бетона при сжатии, МПа;

$R_{ц}$ – активность цемента, МПа;

A, A_1 – коэффициенты, учитывающие качество материалов (табл. 10.5).

Т а б л и ц а 10.5

Значение коэффициентов A и A_1

Качество заполнителей и цемента	A (формула 10.2)	A_1 (формула 10.3)
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечание.

1. К высококачественным материалам относятся щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности, портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки в его составе; заполнители должны быть чистые и фракционированные.

2. К рядовым материалам относятся материалы среднего качества, в том числе гравий, портландцемент средней активности, высокомарочный шлакопортландцемент.

3. К материалам пониженного качества относятся крупные заполнители низкой прочности, мелкие пески, цементы низкой активности.

После преобразования относительно В/Ц формулы (10.2) и (10.3) имеют следующий вид:

$$В/Ц = \frac{А \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,5А \cdot R_{ц}} ; \quad (10.4)$$

$$В/Ц = \frac{А_1 \cdot R_{ц}}{R_{б} - 0,5А_1 \cdot R_{б}} . \quad (10.5)$$

3. Определение расхода воды.

Расход воды в л на 1 м³ бетонной смеси (водопотребность) определяют ориентировочно исходя из требуемой удобоукладываемости бетонной смеси и с учетом вида и наибольшей крупности зерен щебня или гравия по табл. 10.5.

При определении количества воды учитывается также нормальная плотность цементного теста и модуль крупности песка (см. примечание к табл. 10.6).

Т а б л и ц а 10.6

Водопотребность бетонной смеси

Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход воды в л на 1 м ³ бетонной смеси при наибольшей крупности заполнителя, мм					
Подвижность ОК, см	Жесткость, с	Гравий			Щебень		
		10	20	40	10	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8
0	31	150	135	125	160	150	135
0	30...20	160	145	130	170	160	145
0	20...11	165	150	135	175	165	150

1	2	3	4	5	6	7	8
-	10...5	175	160	145	185	170	155
1...2	-	185	170	155	195	180	165
3...4	-	195	180	165	205	190	175
5...6	-	200	185	170	210	195	180
7...8	-	205	190	175	215	200	185
9...10	-	215	200	185	225	220	195

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, 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, в большую сторону – уменьшается на 5 л.

4. Определение расхода цемента.

Расход цемента на 1 м³ бетона вычисляют по формуле

$$Ц = В : (В/Ц) б, \quad (10.6)$$

где Ц – расход цемента, кг;

В – расход воды в л (кг);

(В/Ц) б – водоцементное отношение.

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше минимально допустимого (например, 200...220 кг/м³), то из условия получения плотной структуры бетона расход цемента увеличивают до требуемой нормы или вводят тонкомолотую добавку.

5. Определение расхода крупных заполнителей.

Расход крупного и мелкого заполнителей вычисляют, исходя из двух условий:

1) сумма абсолютных объемов всех компонентов бетона равна 1 м³ уплотненной смеси, следовательно,

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{МЗ}} + \frac{КЗ}{\rho_{КЗ}} = 1 \quad (10.7)$$

где Ц, В, МЗ, КЗ – расход цемента, воды и заполнителей (кг);

$\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{МЗ}, \rho_{КЗ}$ – истинная плотность этих материалов, кг/м³;

$\frac{Ц}{\rho_{ц}}; \frac{В}{\rho_{в}}; \frac{МЗ}{\rho_{МЗ}}; \frac{КЗ}{\rho_{КЗ}}$ – абсолютные объемы материалов, м³;

2) объем цементно-песчаного раствора должен быть равен объему пустот в крупном заполнителе с учетом некоторой раздвижки зерен, величина которой определяется коэффициентом раздвижки зерен:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{МЗ}{\rho_{МЗ}} = V_{пкз} \frac{КЗ}{\rho_{пкз}} \cdot K_{разд}, \quad (10.8)$$

где $V_{пкз}$ – пустотность крупного заполнителя в рыхлом состоянии;

$\rho_{пкз}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

$K_{разд}$ – коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором.

Для пластичных смесей $K_{разд}$ принимается по табл. 10.7, для жестких $K_{разд} = 1,05 \dots 1,2$.

Т а б л и ц а 10.7

Значение коэффициента $K_{разд}$ для пластичных бетонных смесей

Расход цемента на 1 кг/м ³ бетона	при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	-	1,3	1,36	1,42	-
350	-	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,31	1,4	1,46	-	-	-
500	1,44	1,52	-	-	-	-
600	1,52	1,56	-	-	-	-

Примечание. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент $K_{разд}$ находится интерполяцией.

Решая совместно уравнения (10.5) и (10.6), получаем формулу для определения расхода крупного заполнителя (щебня или гравия) в кг на м³ бетона:

$$KЗ = \frac{1}{\frac{V_{пкз} \cdot K_{разд}}{\rho_{пкз}} + \frac{1}{\rho_{кз}}} . \quad (10.9)$$

6. Определение расхода мелкого заполнителя.

Расход мелкого заполнителя (песка) в кг на м³ бетона вычисляются как разность между проектным объемом бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии и суммой абсолютных объемов цемента, воды и крупного заполнителя:

$$MЗ = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{KЗ}{\rho_{кз}} \right) \right] \cdot \rho_{мз} . \quad (10.10)$$

7. Определение расчетной (теоретической) средней плотности бетонной смеси.

Определив расход всех компонентов (воды, цемента, крупного и мелкого заполнителей) на 1 м³ бетонной смеси, вычисляем ее расчетную среднюю плотность по формуле

$$\rho_{б см}^{расч} = Ц + В + MЗ + KЗ . \quad (10.11)$$

8. Определение коэффициента выхода бетона.

Коэффициент выхода бетона β равен объему бетонной смеси (1 м³) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на ее приготовление. Его вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{мз} + V_{кз}} = \frac{1}{\frac{Ц}{\rho_{пц}} + \frac{MЗ}{\rho_{пмз}} + \frac{KЗ}{\rho_{пкз}}} , \quad (10.12)$$

где $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{мз}}$, $V_{\text{кз}}$ – объемы сухих составляющих (цемента, мелкого и крупного заполнителей), затраченных на приготовление 1 м^3 бетонной смеси, м^3 ;

Ц , МЗ , КЗ – расход сухих материалов на 1 м^3 бетона, кг;

$\rho_{\text{нц}}$, $\rho_{\text{нмз}}$, $\rho_{\text{нкз}}$ – насыпная плотность сухих материалов (цемента, мелкого и крупного заполнителей).

Численное значение коэффициента выхода бетона находится обычно в пределах $0,55 \dots 0,75$.

Задание 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОБНЫХ ЗАМЕСОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Пробные замесы бетонной смеси готовят после выполнения расчета состава бетона и расхода составляющих на пробный замес. Объем бетонной смеси пробного замеса принимают $7 \dots 10$ л (из расчета изготовления $6 \dots 9$ 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 ГОСТ 10181.1-81.

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 соотношении). Наиболее эффективным способом повышения подвижности бетонной смеси является применение пластифицирующих добавок.

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Вода.
3. Песок кварцевый.
4. Щебень гранитный фр. $5 \dots 20$ мм или гравий природный фр. $5 \dots 20$ мм.
5. Металлическая форма-боек.
6. Весы лабораторные.
7. Стандартная форма-конус.

8. Металлическая линейка.
9. Линейка с делениями.
10. Металлический стержень диаметром 16 и длиной 600 мм.

Методика испытаний

1. Определение расхода материалов на замес.

Расход воды в л

$$V_1 = B \cdot V_3, \quad (10.13)$$

где B – расход воды в л на 1 м^3 бетонной смеси;

V_3 – объем замеса в м^3 .

Расход цемента в кг

$$Ц_1 = Ц \cdot V_3, \quad (10.14)$$

где $Ц$ – расход цемента в кг на 1 м^3 бетонной смеси.

Расход крупного заполнителя в кг

$$КЗ_1 = КЗ \cdot V_3, \quad (10.15)$$

где $КЗ_1$ – расход крупного заполнителя в кг на 1 м^3 бетонной смеси.

Расход мелкого заполнителя в кг

$$МЗ_1 = МЗ \cdot V_3, \quad (10.16)$$

где $МЗ_1$ – расход мелкого заполнителя в кг на 1 м^3 бетонной смеси.

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 $80 \dots 90^\circ\text{C}$.

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 размером в плане 1x2 м. На поддон формы сначала высыпают отвешенное количество мелкого заполнителя, 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. Затем энергично перемешивают бетонную смесь до достижения ее однородности. Продолжительность перемешивания (от момента приливания воды) должна составлять 5 минут.

В случае механического перемешивания в бетономеситель сначала загружают песок, затем цемент, крупный заполнитель и воду. Продолжительность перемешивания должна составлять 2 минуты 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.

Подвижность бетонной смеси оценивают по осадке изготовленного из бетонной смеси конуса (ОК) в см. Бетонный конус изготавливают из бетонной смеси с помощью стандартной металлической формы (рис. 10.1) без дна в виде усеченного конуса высотой 300, диаметром верхнего и нижнего оснований соответственно 100 и 200 мм.

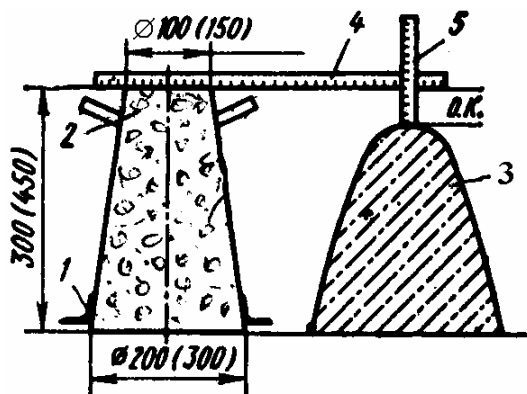


Рис. 10.1. Определение подвижности бетонной смеси по осадке бетонного конуса:

- 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, не впитывающую 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. Форма при этом должна быть прижата к основанию.

После окончания штыкования верхнего слоя воронку снимают и избыток бетонной смеси срезают кельмой вровень с краями формы. Затем форму-конус поднимают строго вертикально вверх и держат 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 осадки снятую форму ставят рядом с осевшим бетоном. На верхнее основание формы-конуса укладывают металлическую или деревянную линейку, и от нижнего ее ребра другой линейкой с делениями измеряют осадку бетонной смеси с точностью до 0,5 см (рис. 10.1 б). Если после снятия формы-конуса бетонная смесь разваливается – сильно деформируется и приобретает форму, 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 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, – смесь не обладает подвижностью, ее удобоукладываемость характеризуется жесткостью, оценивается по времени вибрации в секундах и определяется с помощью прибора для определения жесткости.

4. Определение жесткости бетонной смеси.

Схема прибора для определения подвижности бетонной смеси приведена на рис. 10.2.

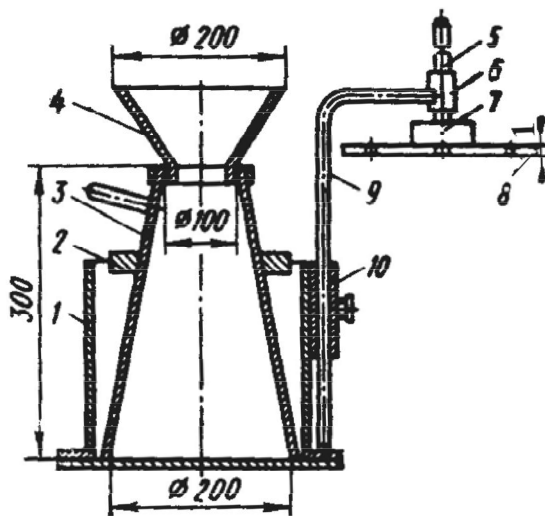


Рис. 10.2. Прибор для определения жесткости бетонной смеси:
1 – цилиндрическое кольцо; 2 – кольцо-держатель; 3 – конус; 4 – воронка;
5 – штанга; 6 – шайба; 7 – диск с отверстиями; 8 – штатив;
9 – фиксирующая втулка

На стандартную лабораторную виброплощадку (частотой 2800...3000 кол./мин и амплитудой 0,5 мм) устанавливают кольцо 1 и закрепляют его. В кольцо вставляют конус 3 и закрепляют его нажимным кольцом 2 с ручками, заходящими в специальные пазы. На конус устанавливают воронку 4. Конус заполняют бетонной смесью так же, как при определении подвижности, затем снимают его, вращают вокруг вертикальной оси штатив 8, и на отформованный бетонный конус опускают диск 7 со штангой 5, масса которого – (2750±50) г. Штатив закрепляют в требуемом положении зажимным винтом 6 и фиксирующей втулкой 9. Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер, наблюдая, как выравнивается и уплотняется бетонная смесь при действии вибрации. Вибрирование продолжают до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и виброплощадку. Зафиксированное время в секундах и характеризует жесткость бетонной смеси.

Вычисляют показатель жесткости с точностью до 1 с как среднее арифметическое двух результатов определений из одной пробы смеси. Отличие результатов между собой должно быть не более 20 %.

Результаты испытаний

Результаты определения подвижности бетонной смеси заносят в табл. 10.8.

Т а б л и ц а 10.8

№ пп	Наименование составов	Расход материалов на замес, кг				ОК, см
		Ц	В	КЗ	МЗ	
1	Первоначальный					
2	Измененный					
3	– «–					
4	– «–					

Заключение

Сделать выводы на основании результатов испытаний.

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.

Методика испытаний

1. Определение средней плотности бетонной смеси.

Средняя плотность бетонной смеси характеризуется отношением массы уплотненной смеси к ее объему. Ее определяют для тяжелого бетона с целью расчета фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Вычисляют среднюю плотность бетонной смеси в кг/м³ по формуле

$$\rho_{\text{бсм}} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (10.17)$$

где m – масса мерного сосуда с бетонной смесью, г;

m_1 – масса мерного сосуда без бетонной смеси, г;

V – объем мерного сосуда (формы), см³.

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 площадку, закрепляют зажимами. Затем включают виброплощадку и секундомером фиксируют время вибрирования. Оно должно продолжаться до полного уплотнения, когда прекращается оседание бетонной смеси, выравнивается ее поверхность и на ней появляется цементный раствор.

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.

Среднюю плотность бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 10 кг/м³ как среднее арифметическое значение результатов двух определений. Результаты испытаний заносят в табл. 10.9.

Т а б л и ц а 10.9

Средняя плотность бетонной смеси

Показатели	Формы	
	1	2
Масса формы без бетонной смеси, г		
Масса формы с бетонной смесью, г		
Масса бетонной смеси, г		
Объем формы (вместимость), см ³		
Средняя плотность бетонной смеси, кг/ м ³		

2. Изготовление контрольных образцов.

Для определения средней (марки) бетона и его класса по прочности при сжатии изготавливают стандартные образцы-кубы с ребром 150 или 100 мм из бетонной смеси и выдерживают до испытания в течение 28 суток в нормальных условиях.

Образцы изготавливают в разборных чугунных или стальных формах со строганой или шлифованой внутренней поверхностью. Размеры собранных форм не должны отклоняться по длине ребер более чем на 1 %, а углы между гранями прямоугольных форм должны быть прямыми.

Формы перед укладкой бетонной смеси очищают от остатков бетона, внутреннюю поверхность смазывают отработанным минеральным маслом или смазкой, препятствующими 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 она составляет более 12 см осадки конуса, 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 погружениям стержня на каждые 100 см² верхней поверхности образца. После окончания уплотнения избыток бетона в верхнем слое срезают металлической линейкой вровень с краями формы, а поверхность образца заглаживают.

Жесткие бетонные смеси, а также смеси с подвижностью менее 12 см по осадке конуса, уплотняют вибрированием. Смесь укладывают в формы с некоторым избытком, устанавливают их на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют вибрированием. Затем включают виброплощадку и секундомер, фиксируя время уплотнения. Вибрирование продолжают до полного уплотнения, которое характеризуется прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности и появлением на ней цементного раствора. Затем форму снимают, срезают излишки бетона и заглаживают поверхность образца.

При жесткости бетонной смеси более 20 с контрольные образцы изготавливают в формах с насадкой в следующей последовательности. На форме закрепляют насадку высотой, равной высоте формы, жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке, заполняют бетонной смесью до половины высоты насадки, устанавливают на поверхность смеси пригруз (не менее 10 г на 1 см² поверхности) и вибрируют в течение 30...60 с до прекращения оседания пригруза. Затем снимают пригруз и насадку, срезают избыток смеси и заглаживают поверхность образца.

Образцы в формах покрывают влажной тканью и хранят в помещении при температуре (20±2)°С в течение 1 сут, затем формы раскрывают, вынимают образцы из форм и маркируют. До момента испытания образцы хранят в камере нормального твердения при температуре (20±20)°С с относительной влажностью воздуха не менее 95 %.

Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками в 10...20 мм.

3. Расчет фактического расхода материалов на 1 м³ бетона.

Фактический расход материалов (цемента, воды, крупного и мелкого заполнителей) определяется после изготовления пробных

замесов, получения бетонной смеси с требуемой удобоукладываемостью и определения ее плотности.

Фактический расход материалов на m^3 бетона рассчитывается по формулам:

$$Ц_2 = \frac{\rho_{бсм}}{\sum q} \cdot q_{ц}; \quad (10.18)$$

$$В_2 = \frac{\rho_{бсм}}{\sum q} \cdot q_{в}; \quad (10.19)$$

$$МЗ_2 = \frac{\rho_{бсм}}{\sum q} \cdot q_{мз}; \quad (10.20)$$

$$КЗ_2 = \frac{\rho_{бсм}}{\sum q} \cdot q_{кз}, \quad (10.21)$$

где $Ц_2$, $В_2$, $МЗ_2$, $КЗ_2$ – расход соответственно цемента, воды, мелко- и крупного заполнителей, кг на $1 m^3$ бетона;

$q_{ц}$, $q_{мз}$, $q_{кз}$, $q_{в}$ – масса соответственно цемента, воды, мелко и крупного заполнителей в замесе, кг;

$\rho_{бсм}$ – фактическая плотность бетонной смеси, $кг/м^3$;

$\sum q$ – суммарная масса всех материалов в опытном замесе, кг.

При использовании влажных заполнителей пересчитывают номинальный состав бетонной смеси на производственный. При пересчете количество влажных заполнителей увеличивают настолько, чтобы содержание в них сухого материала равнялось расчетному, а количество вводимой в замес воды уменьшают на величину, равную количеству воды в заполнителях:

$$Ц_3 = Ц_2; \quad (10.22)$$

$$МЗ_3 = МЗ_2 + \frac{МЗ_2 \cdot W_{мз}}{100}; \quad (10.23)$$

$$KЗ_3 = KЗ_1 + \frac{KЗ_2 \cdot W_{KЗ}}{100}; \quad (10.24)$$

$$B_3 = B_2 - \frac{MЗ_2 \cdot W_{MЗ}}{100} - \frac{KЗ_1 \cdot W_{KЗ}}{100}, \quad (10.25)$$

где Ц₂, МЗ₂, КЗ₂, В₂ – фактический расход соответственно цемента, мелкого и крупного заполнителей, воды, кг на 1 м³ бетона;

W_{МЗ}, W_{КЗ} – соответственно влажность мелкого и крупного заполнителей.

Производственный состав бетона по массе вычисляют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента:

$$1 : \frac{MЗ_3}{Ц_3} : \frac{KЗ}{Ц_3} \text{ при } (B/Ц) б = Z. \quad (10.26)$$

Результаты расчетов составов (ориентировочного, фактического и производственного) заносят в табл. 10.10.

Т а б л и ц а 10.10

Расходы материалов на 1 м³ бетона

Составы	Расход материалов в кг на 1 м ³ бетона				В/Ц
	цемент	вода	заполнители		
			крупный	мелкий	
Ориентировочный					
Уточненный					
Производственный					

В заключение сравнивают ориентировочный, уточненный и производственный составы по расходу компонентов.

4. Определение расхода материалов на один замес в бетоно-смесителе.

Так как объем бетоносмесителя чаще всего не позволяет получить выход готовой бетонной смеси, равный 1 м³ бетона, то для со-

ставления дозировки материалов на один замес необходимо пере-
считать состав смеси, рассчитанный на 1 м^3 бетона, в соответствии с
емкостью бетоносмесителя. Если же емкость барабана бетоносме-
сителя (в новых моделях) указана в литрах готового замеса бетон-
ной смеси ($V_{\text{зам}}$), то необходимо количество каждого компонента из
производственного состава пересчитать по формулам:

$$\text{Ц}' = \text{Ц}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \quad (10.27)$$

$$\text{КЗ}' = \text{КЗ}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \quad (10.28)$$

$$\text{МЗ}' = \text{МЗ}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}; \quad (10.29)$$

$$\text{В}' = \text{В}_3 \cdot \frac{V_{\text{зам}}}{1000}. \quad (10.30)$$

В старых моделях бетоносмесителей емкость может быть указана
по суммарному объему загрузки сухих компонентов бетона (запол-
нителей и цемента), тогда следует определить по лабораторному со-
ставу коэффициент выхода бетона β , равный объему бетонной смеси
(1 м^3) в уплотненном состоянии, деленному на сумму объемов сухих
составляющих, затраченных на ее приготовление:

$$\beta = \frac{1}{V_{\text{ц}} + V_{\text{МЗ}} + V_{\text{КЗ}}} = \frac{1}{\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{нц}}} \cdot \frac{\text{МЗ}}{\rho_{\text{нмз}}} \cdot \frac{\text{КЗ}}{\rho_{\text{нкз}}}}, \quad (10.31)$$

где $V_{\text{ц}}, V_{\text{МЗ}}, V_{\text{КЗ}}$ – объем сухих составляющих, затраченных на приго-
товление 1 м^3 бетонной смеси, м^3 ;

$\text{Ц}, \text{МЗ}, \text{КЗ}$ – расход сухих материалов на 1 м^3 бетона, кг;

$\rho_{\text{нц}}, \rho_{\text{нмз}}, \rho_{\text{нкз}}$ – насыпная плотность сухих материалов, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Значение коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах $\beta = 0,55 \dots 0,75$.

Зная коэффициент выхода β , определяют объем бетона одного замеса:

$$V_{\text{зам}} = V_{\text{м}} \cdot \beta, \quad (10.32)$$

где $V_{\text{зам}}$ – объем бетона одного замеса, м^3 ;

$V_{\text{м}}$ – емкость бетоносмесителя, м^3 ;

β – коэффициент выхода бетона.

Умножая массу каждого компонента лабораторного состава на объем бетона одного замеса, получим дозировку материала на замес бетоносмесителя:

$$Ц = Ц_1 \cdot V_{\text{зам}}; \quad (10.33)$$

$$В_3 = В_1 \cdot V_{\text{зам}}; \quad (10.34)$$

$$КЗ_3 = V_{\text{зам}} \cdot КЗ_1; \quad (10.35)$$

$$МЗ_3 = МЗ_1 \cdot V_{\text{зам}}. \quad (10.36)$$

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Классификация бетона.
2. Перечислить компоненты, входящие в состав бетона.
3. Какие условия учитываются при выборе цементов для бетонов?
4. Охарактеризовать основные свойства бетонной смеси.
5. Как определить подвижность и жесткость бетонной смеси? В каких единицах она выражается?
6. Какие исходные данные надо иметь, чтобы подобрать состав бетона?
7. Описать влияние различных факторов на показатели удобоукладываемости бетонных смесей.

8. Какие используются способы уплотнения бетонной смеси? Какова их сущность?
9. В чем сущность основного закона прочности бетона?
10. Как влияет на свойства бетонной смеси и бетона излишняя вода?
11. Какие технологические и другие факторы определяют прочность бетона?
12. Какие цели и задачи преследует подбор состава бетона?
13. Изложить сущность расчетно-экспериментального метода проектирования состава бетона.
14. Как определить расход цемента на 1 м^3 бетона?
15. Как рассчитать количество крупного заполнителя на 1 м^3 уплотненной бетонной смеси?
16. Как определить расход песка на 1 м^3 бетона?
17. Как рассчитать водоцементное отношение (В/Ц) для пластичной бетонной смеси?
18. Как определить ориентировочный расход воды на 1 м^3 бетонной смеси?
19. Как обозначается состав бетонной смеси?
20. Чем отличается производственный (рабочий) состав бетона от лабораторного (номинального)?
21. Какие факторы влияют на величину коэффициента раздвижки зерен при определении расхода крупного заполнителя?
22. Как определить расход материалов на один замес бетоносмесителя?
23. Что понимают под коэффициентом выхода бетона? Как он определяется?
24. Как приготавливается бетонная смесь в лабораторных условиях на металлическом бойке?

Л и т е р а т у р а

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высш. школа, 1976. – С. 454.
2. ГОСТ 10181.1-81. Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.
3. ГОСТ 10181.2-81. Смеси бетонные. Методы определения плотности.

4. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
5. ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические требования.
6. СНиП 5.01.23-83. Типовые нормы расхода цемента для приготовления бетонов сборных и монолитных бетонных, железобетонных изделий и конструкций.
7. СТБ 1112-98. Добавки для бетонов.
8. СТБ 1114-98. Вода для бетонов и растворов.
9. СТБ 1035-96. Смеси бетонные. Технические условия.
10. СТБ 1182-99. Бетоны. Правила подбора состава.

Лабораторная работа № 11

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.

11.1. 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 и класс по прочности на сжатие?
3. Что означают показатели марка и класс бетона по прочности?
4. Чем отличается разрушающий метод испытаний от неразрушающего?
5. Какие имеются неразрушающие методы определения прочности бетона на сжатие?
6. На каком принципе основаны неразрушающие методы определения прочности бетона при сжатии?

7. Что является косвенной характеристикой при определении прочности бетона при сжатии эталонным молотком?

8. В чем сущность ультразвукового метода определения прочности бетона?

9. Что является косвенной характеристикой при определении прочности бетона ультразвуковым методом?

11.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение предела прочности тяжелого бетона разрушающим методом.

Задание 2. Определение прочности бетона неразрушающим механическим методом (эталонным молотком К.П.Кашкарова).

Задание 3. Определение прочности бетона на сжатие неразрушающим ультразвуковым методом.

11.3. Общие сведения о тяжелом бетоне

Прочность бетона в проектном возрасте характеризуется классами на сжатие (B), осевое растяжение (B_t) и растяжение при изгибе (B_{tg}).

Для тяжелых бетонов установлены следующие *классы по прочности на сжатие*: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В17,5; В20; В22; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В65; В70; В75; В80; В90; В95; В100; В105.

Для изделий и конструкций, запроектированных без учета требований СТ СЭВ 1406-78, прочность бетона характеризуется *марками по прочности на сжатие*: М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500; М550; М600; М700; М800.

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.

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и марками приведено в справочной таблице 11.1.

Т а б л и ц а 11.1

Соотношение между классами бетона по прочности на сжатие и марками при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 %

Класс бетона по прочности В	Средняя прочность бетона данного класса R, МПа	Ближайшая марка бетона по прочности М	Отклонение ближайшей марки бетона от средней прочности класса $\frac{R - M}{R} \cdot 100\%$
3,5	4,584	50	-9,1
5	6,548	75	-14,5
7,5	9,823	100	-1,8
10	13,097	150	-14,8
12,5	16,371	150	+8,4
15	19,645	200	-1,8
20	26,193	250	+4,5
25	32,742	350	-6,9
30	32,990	400	-1,8
35	45,839	450	+1,8
40	52,387	550	-5,1
45	58,935	600	-1,8
50	65,484	700	-6,9
55	72,032	700	+2,8
60	78,581	800	-1,8
65	85,15	900	+5,7
70	93,25	1000	+1,8
80	104,80	1000	-4,9

Средняя прочность бетона каждого класса определяется по ГОСТ 25192-82 при нормативном коэффициенте вариации, равном 13,5 % (0,135) по формуле

$$R = \frac{B}{0,980665(1 - 1,64 \cdot 0,135)}, \quad (11.1)$$

где B – численное значение класса бетона, МПа;

0980665 – переходный коэффициент от МПа к кгс/см².

В общем виде зависимость между классом бетона по прочности и его средней прочностью в контролируемой партии бетона имеет вид

$$B = R_m (1 - tV), \quad (11.2)$$

где R_m – средняя прочность бетона, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа;

B – класс бетона по прочности, МПа;

V – коэффициент вариации прочности бетона;

t – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона (доверительную вероятность); при обеспеченности класса бетона 95 % (0,95 усл. ед.) $t = 1,64$.

Марка бетона по прочности – показатель, необходимый при расчете состава бетона, им пользуются в лабораториях, на заводах по изготовлению сборных бетонных и железобетонных конструкций.

Определяют марку бетона (среднюю прочность) по результатам испытаний стандартных кубов с ребром 150 мм, изготовленных из рабочей бетонной смеси, твердеющих в нормальных влажностных условиях и испытанных в возрасте 28 суток. При испытании контрольных образцов-кубов на сжатие других размеров для приведения к прочности стандартных кубов с ребром 150 мм вводятся поправочные коэффициенты, приведенные в табл. 11.2.

Т а б л и ц а 11.2

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

При испытании бетона в другом возрасте (не менее 3-х суток твердения) ориентировочно можно определить марку бетона по логарифмической зависимости

$$R_{28} = R_n \left(\frac{\lg 28}{\lg n} \right), \quad (11.3)$$

где R_n – предел прочности бетона в возрасте n суток, МПа;

R_{28} – то же в возрасте 28 суток, МПа;

n – число суток твердения бетона

Задания

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 до разрушения на гидравлическом прессе. Предел прочности при сжатии определяют по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \alpha_1, \quad (11.4)$$

где F – разрушающая сила, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм²;

α – масштабный коэффициент, учитывающий переход к прочности образцов базового размера.

Приборы и материалы

1. Пресс гидравлический.
2. Весы технические.
3. Штангенциркуль.
4. Металлическая линейка.
5. Образцы-кубы с ребром 100 мм.

Методика испытаний

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 сжимающая сила при нагружении образца была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в форму (перпендикулярно направлению уплотнения). Линейные размеры образцов-кубов измеряют металлической линейкой с точностью до 1 мм, а затем взвешивают на технических весах. Рабочую площадь сечения образца в мм² определяют как среднее арифметическое площадей обеих опорных граней.

После извлечения из камеры воздушно-влажностного твердения перед испытанием образцы выдерживают в течение 4 ч в помещении лаборатории при температуре воздуха в пределах $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха в пределах $(60 \pm 5)\%$.

Образец устанавливают одной из рабочих граней в центре нижней опорной плиты гидравлического пресса. Шкалу силоизмерителя пресса выбирают из условия, что ожидаемая разрушающая нагрузка должна быть в пределах 20...80 % максимальной нагрузки выбранной шкалы. Затем совмещают верхнюю плиту пресса с верхней опорной гранью образца, включают электродвигатель привода насоса и начинают нагружение, которое производят непрерывно, со скоростью возрастания нагрузки, соответствующей увеличению напряжения в образце $(0,6 \pm 0,4)$ МПа за 1 с, до разрушения.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе нагружения, принимают за разрушающую нагрузку.

Предел прочности при сжатии бетона в МПа вычисляют по формуле (11.4) как отношение разрушающей нагрузки в Н к первоначальной площади поперечного сечения образца A в мм².

Предел прочности при сжатии бетона вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение в серии:

- 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 предела прочности бетона при сжатии заносят в табл. 11.3.

Т а б л и ц а 11.3

Физико-механические характеристики испытанного бетона

Показатели	Единицы измерения	№ 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	кг/м ³			
Величина разрушающей нагрузки F	кН			
Предел прочности образца при сжатии $R_{сж}$	МПа			

Среднюю прочность бетона при сжатии, полученную на образцах-кубах с ребром 100 мм, приводят к прочности стандартных образцов-кубов с ребром 150 мм путем умножения на масштабный коэффициент, принимаемый по табл. 11.2.

Класс бетона по прочности на сжатие определяют по формуле (3.2) при коэффициентах вариации V , равных 0,135 и 0,07.

Заключение

По прочности на сжатие испытанный бетон в возрасте 28 суток соответствует марке $M...$, классу бетона на сжатие $B...$ при коэффициенте вариации 0,135 и классу $B...$ при коэффициенте вариации 0,07.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ МЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ (ЭТАЛОННЫМ МОЛОТКОМ К.П.КАШКАРОВА)

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 (механических и физических) методов, позволяющих определить прочность бетона в различных местах конструкций без их разрушения.

Метод определения прочности бетона в изделиях и конструкциях эталонным молотком основан на наличии достаточной корреляционной связи между величиной пластической деформации бетона (ударной твердостью) и прочностью бетона на сжатие.

Этот метод применяют при определении прочности тяжелого бетона прочностью на сжатие в пределах 5...50 МПа.

Приборы и материалы

1. Эталонный молоток К.П.Кашкарова (рис. 11.1).
2. Эталонные стержни длиной 150 мм и диаметром 12 мм из круглой пружинной стали марки ВСтЗсп2 или ВСтЗпс2 (один конец стержня должен быть заострен для облегчения установки его в молоток).
3. Инструмент для измерения диаметра отпечатка – штангенциркуль по ГОСТ 166-80 или угловой масштаб, изготавливаемый из двух стальных линеек, скрепленных под углом (рис. 11.2).
4. Бетонные образцы-кубы – 3 шт.

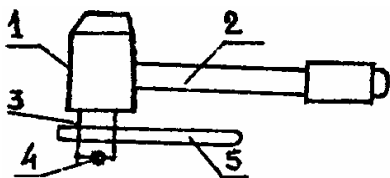


Рис. 11.1. Эталонный молоток:
 1 – корпус; 2 – металлическая рукоятка с насаженной резиновой ручкой;
 3 – стакан с отверстием для шарика;
 4 – шарик; 5 – эталонный стержень

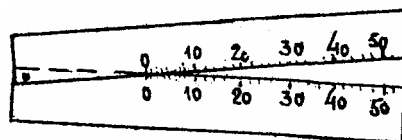


Рис. 11.2. Угловой масштаб

Методика испытаний

Работа производится в следующей последовательности:

1. Изучить устройство эталонного молотка К.П.Кашкарова.
2. Кратко записать методику проведения работы.
3. Произвести серию ударов молотком по испытываемой поверхности элемента бетонной конструкции или образцов-кубов.
4. Замерить диаметры отпечатков на бетоне и эталоне и занести результаты в журнал испытаний.
5. Испытать бетонные образцы-кубы на сжатие.
6. Обработать полученные результаты и сделать необходимые выводы.

До начала испытаний эталонный стержень вставляют заостренным концом в стакан молотка, преодолевая сопротивление пружины, находящейся в нем. При этом под действием пружины шарик надавливается на эталонный стержень, который прижимается к внутреннему упору головки.

При ударе шарик молотка образует сразу два отпечатка – на поверхности бетона и на цилиндрической поверхности эталонного стержня. Удары молотком наносят по боковым поверхностям конструкции или образцов (по поверхности «из-под металла»).

Число измерений на каждом изделии должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов – не менее 30 мм.

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 600 см². Удар наносят перпендикулярно к поверхности бетона. Удар может быть нанесен двумя способами: – эталонным молотком «с размаху» или слесарным молотком по головке эталонного молотка, установленного в заданной точке поверхности изделия. По-

сле каждого удара молотком эталонный стержень передвигается в нем так, чтобы расстояние между краями соседних отпечатков на эталоне было не менее 10 мм.

Отпечатки на бетоне нумеруют цветным карандашом. После серии ударов измеряют отпечатки угловым масштабом на бетоне и на эталоне в той же последовательности. При замере угловой масштаб надвигают на отпечаток так, чтобы внутренние линии линейки касались линии, образующей отпечаток. Диаметр определяют по одной из линеек масштаба. Отпечатки, попавшие на раковины, трещины, неровности и крупный заполнитель, не учитываются.

Миллиметровые деления отсчитывают как десятые доли миллиметра, сантиметровые – как целые миллиметры.

После проведения испытаний вычисляют отношение d_6 / d_3 , которое является косвенным показателем при определении прочности молотком Кашкарова, и результат записывают в таблицу.

За единичное значение косвенного показателя прочности при установлении градуировочной зависимости принимают среднее арифметическое значение этой величины в серии образцов (или в образце), используемых для определения единичного значения прочности.

Значения предела прочности тяжелого бетона при сжатии определяют по тарировочному графику, приведенному на рис. 11.3.

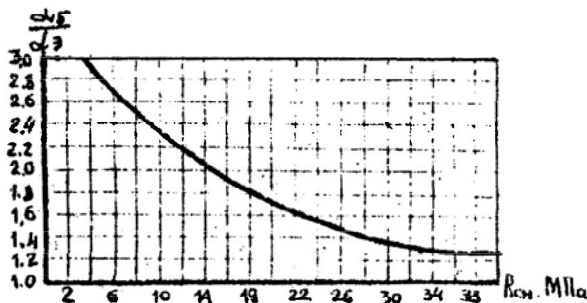


Рис. 11.3. Тарировочный график для определения прочности бетона эталонным молотком Кашкарова

После определения прочности бетона на образцах-кубах механическим неразрушающим методом эти образцы затем испытывают на сжатие на гидравлическом прессе для определения фактической прочности на сжатие согласно ГОСТ 10180.

На результаты испытаний эталонным молотком оказывают влияние некоторые факторы – влажность бетона, его возраст, условия твердения и вид заполнителя.

Так, при испытании увлажненного бетона значение предела прочности бетона при сжатии в изделиях и конструкциях определяют по формуле

$$R = K_w \cdot R_{TK}, \quad (11.5)$$

где K_w – поправочный коэффициент, учитывающий повышенную влажность бетона;

R_{TK} – значение предела прочности бетона при сжатии по тарировочной кривой.

Значение K_w принимают: для бетона естественной влажности – 1,1; увлажненного – 1,2; полностью насыщенного – 1,4.

Предел прочности бетона с учетом его возраста рассчитывают по формуле

$$R = K_t \cdot R_{TK}^{28}, \quad (11.6)$$

где K_t – поправочный коэффициент, учитывающий возраст бетона (принимается по табл. 11.4);

R_{TK}^{28} – предел прочности бетона в возрасте 28 суток (принимается по тарировочной кривой).

Т а б л и ц а 11.4

Значение поправочного коэффициента для учета возраста бетона

Бетон после термовлажностной обработки		Бетон естественного твердения	
Возраст, сут	K_t	Возраст, сут	K_t
3	1,05	3	1,3
28	1,0	7	1,1
90	0,9	28	1,0
180	0,8	60	0,95
360	0,75	90	0,90

Результаты испытаний

Результаты измерений заносят в табл. 11.5.

Т а б л и ц а 11.5

Результаты определения прочности бетона при сжатии

№ пп		Размеры отпечатков		d_6/d_3	Предел прочности бетона при сжатии		$\frac{R_\phi - R_{\text{TK}}}{R_\phi} \cdot 100\%$
образцов	отпечатков	на бетоне d_6 , мм	на эталоне d_3 , мм		по тарировочной кривой R_{TK}	фактически R_ϕ	
1	1 2 3 4 5 и т. д. среднее						

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ 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 изготовленных образцах. Для испытаний используют 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 пьезометрический эффект), и наоборот, при воздействии электрического поля на материал в нем возникают механические напряжения (обратный пьезометрический эффект). К числу материалов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, относятся кристаллы кварца, турмалина, сегнетовой соли, титана, бария и др.

Широкое распространение в промышленности получили кристаллы сегнетовой соли ($C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$). 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. 11.4.



Рис. 11.4. Измерительный прибор для ультразвуковых испытаний:

1 – генератор; 2 – ультразвуковой преобразователь-излучатель; 3 – образец; 4 – ультразвуковой преобразователь-приемник; 5 – усилитель; 6 – регистрирующая аппаратура

Измерительные приборы для ультразвуковых испытаний, изготовленные индустриально, являются переносными и позволяют измерять время прохождения ультразвуковых импульсов. Имеются приборы, например, УК-10ПМ, состоящие из одного блока, включающего в себя высокочастотный генератор и регистратор. Высокочастотный генератор 1 производит в 1 с около 50 электрических импульсов длительностью около 10 мкс, которые в излучателе 2

пьезоэлектрическим способом преобразуются в ультразвуковые механические импульсы, распространяющиеся в испытываемом материале 3. Приемник 4 благодаря прямому пьезоэлектрическому эффекту опять превращает их в электрические импульсы, которые усиливаются перед показом на индикаторе регистрирующей аппаратуры 6. 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.

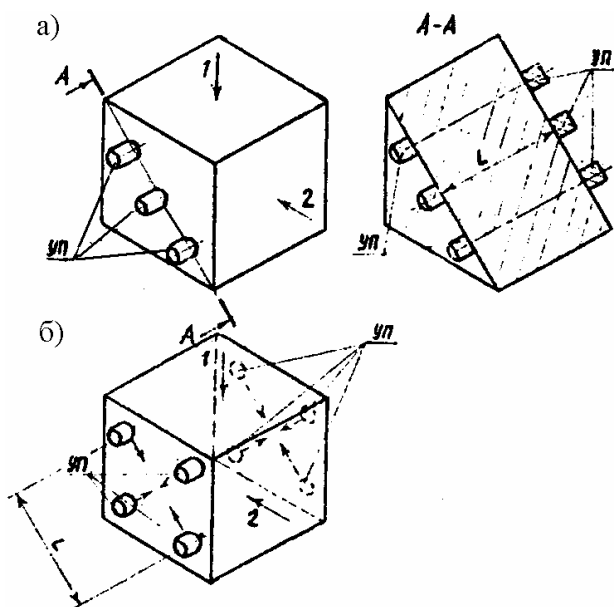


Рис. 11.5. Измерение времени распространения ультразвука в образцах:
 а – схема испытания кубов способом сквозного прозвучивания;
 б – схема испытания кубов способом поверхностного прозвучивания;
 1 – направление формования; УП – ультразвуковые преобразователи;
 2 – направление испытаний при сжатии; l – база прозвучивания

Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости «скорость-прочность» измеряют способом сквозного прозвучивания в соответствии с требованиями ГОСТ 17624-87 «Бетон. Ультразвуковой метод определения прочности». База прозвучивания должна быть не менее 100 мм. Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости «время-прочность» измеряют способом поверхностного прозвучивания (рис. 11.5). Минимальная база прозвучивания должна быть не менее 120 мм.

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце при сквозном прозвучивании должно быть равно 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, 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.

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.

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

$$R_n = a_0 + a_1x \text{ при } R_{\text{макс}} - R_{\text{мин}} \leq 2R_{\text{ф}} (60 - R_{\text{ф}}) / 100; \quad (11.7)$$

2) экспоненциального вида

$$R_n = b_0 e^{b_1x}, \quad (11.8)$$

где x – скорость (время) распространения ультразвука;

R_n – прочность, определенная по уравнению;

R_{\max} и R_{\min} – максимальное и минимальное значения прочности в серии испытанных образцов, МПа;

R_ϕ – средняя прочность бетона испытанных образцов в серии;

a_0, a_1, b_1, b_0 – коэффициенты, определяемые по формулам:

$$a_0 = R_\phi - a_1 x; \quad (11.9)$$

$$a_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (R_\phi - R_{j\phi})(x - x_j)}{\sum_{j=1}^n (x - x_j)^2}; \quad (11.10)$$

$$b_1 = \frac{\sum_{j=1}^n (x - x_j)(\ln R - \ln R_{j\phi})}{\sum_{j=1}^n (x - x_j)^2}; \quad (11.11)$$

$$b_0 = e^{\ln R a} - b x, \quad (11.12)$$

где x – средняя скорость ультразвука в серии всех образцов, м/с;

R_j, ϕ, x_j – единичные значения прочности и скорости ультразвука для j -й серии образцов;

$$R_\phi = \frac{\sum_{j=1}^n R_{o\phi}}{N}; \quad (11.13)$$

$$x = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{N}; \quad (11.14)$$

$$\ln R_\phi = \frac{\sum_{j=1}^N \ln R_{j\phi}}{N}. \quad (11.15)$$

Результаты испытаний

Результаты измерения скорости ультразвука в образцах серии и определения предела прочности при сжатии бетона испытанных образцов-кубов заносят в табл. 11.6.

Вычисляют среднюю скорость ультразвука в серии из 3-х образцов и средний предел прочности испытанных образцов.

Т а б л и ц а 11.6

Результаты испытаний образцов

№ образца	Ультразвуковые измерения				Результаты механических испытаний			
	номер точки прозвучивания	скорость ультразвука x_1 , м/с	средняя скорость (время) ультразвука в образце, м/с	средняя скорость ультразвука в серии образцов, м/с	разрушающая нагрузка, кН	рабочая площадь образца A , мм ²	предел прочности при сжатии, МПа	
							частный	средний по серии
1	1							
	2							
	3							

Средние значения скорости ультразвука и предела прочности бетона испытанных 20-ти серий образцов для статической обработки результатов испытаний, вычисления коэффициентов a_0 и a_1 (уравнения (11.9), (11.10) зависимости «прочность бетона – скорость ультразвука» заносят в табл. 11.7.

Т а б л и ц а 11.7

Результаты испытаний бетона и показатели статической обработки

№ серии	$V_{jф}$, МПа	$R_{jф}$, МПа	$V_{ф-}$, $V_{jф}$, м/с	$R_{ф-}$, $R_{jф}$, МПа	$(V_{ф-} - V_{jф})$, $(R_{ф-} - R_{jф})$, м/с, МПа	$(V_{ф-} - V_{jф})^2$, м/с	$(R_{ф-} - R_{jф})^2$, МПа	$R_{jн}$, МПа	$R_{ф-}$, $R_{jн}$, МПа	$(R_{jф} - R_{jн})^2$, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1										

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2										
...										
20										

Коэффициенты a_0 и a_1 вычисляют по формулам (11.9) и (11.10).

После вычисления этих коэффициентов записывают уравнение градуировочной зависимости

$$R_H = a_0 + a_1 x. \quad (11.16)$$

Вычисляют прочность бетона R_{jH} в каждой серии образцов по полученной градуировочной зависимости (11.16) и результаты записывают в табл. 11.17.

Проводят корректировку установленной градуировочной зависимости путем обработки единичных результатов испытаний, не удовлетворяющих условию:

$$\frac{[R_{jH} - R_{jФ}]}{S} \leq 2, \quad (11.17)$$

где S – остаточное среднее квадратическое отклонение, определенное по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (R_{jФ} - R_{jH})^2}{N - 2}}; \quad (11.18)$$

R_{jH} – прочность бетона в j -й серии образцов, определенная по градуировочной зависимости (11.16).

Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты не станут удовлетворять условию формулы (11.17).

Результаты испытаний образцов, прочность бетона по градуировочной зависимости и результаты отбраковки заносят в табл. 11.8.

Т а б л и ц а 11.8

Результаты испытаний образцов и прочность бетона
по градуировочной зависимости

№ се- рии	Ско- рость ультра- звука V_1 , м/с	Прочность, МПа			$\frac{R_{jn} - R_{jф}}{S}$	
		по резуль- татам ис- пытаний на сжатие $R_{jф}$	по градуировочной зависимости $R_{jф}$		до от- браков- ки	после отбра- ковки
			до отбра- ковки	после от- браковки		
1						
2						
...						
20						

После отбраковки градуировочную зависимость устанавливают заново по оставшимся результатам испытаний.

Корректировку градуировочной зависимости проводят до тех пор, пока все единичные результаты испытаний не станут удовлетворять условию (11.11).

Погрешность определения прочности бетона по установленным градуировочным зависимостям вычисляют по формуле

$$S_T = S^2 + q^2 S_k^2, \quad (11.19)$$

где S_k^2 – среднее квадратическое отклонение коэффициента перехода (K), определенное в соответствии с прил. 3 ГОСТ 17624-87. При диагональном прозвучивании $S_k = 0$.

Тогда для зависимости (11.7)

$$q = R_{ф} - a_0; \quad (11.20)$$

для зависимости (11.8)

$$q = \ell n \frac{R_{ф}}{b_0}. \quad (11.21)$$

Если $\frac{S_t}{R_\phi} \cdot 100\% > 12$, определение прочности бетона по ГОСТ 17624 не допускается.

Заключение

Так как отношение $\frac{S_t}{R_\phi} \cdot 100\%$ составляет _____ %, что меньше 12 %, то, согласно ГОСТ 17624, определение прочности бетона по установленной градуировочной зависимости $R_n =$ _____ допускается.

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 марка бетона по прочности. 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?

Л и т е р а т у р а

1. Л е щ и н с к и й М.Ю. Испытание бетона: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1980. – 360 с.
2. К а ш к а р о в К.П. Контроль прочности бетона и раствора в изделиях и сооружениях. – М.: Стройиздат, 1967. – 35 с.

3. Ш а л и м о М.А. Лабораторный практикум по технологии бетона. – Мн.: БПИ, 1978.

4. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

5. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

6. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

Лабораторная работа № 12

СТРОИТЕЛЬНЫЙ 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 раствора.

3. Ознакомиться с технологическими и техническими требованиями к растворам.

4. Изучить принципы подбора состава растворной смеси.

5. Приобрести навыки выполнения стандартных испытаний растворной смеси и затвердевшего раствора.

12.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Классификация строительных растворов по применяемым вяжущим.

2. Классификация строительных растворов по назначению.

3. Чем отличаются сложные растворы от простых?

4. Какие заполнители применяют для изготовления строительных растворов?

5. Какими технологическими свойствами обладают строительные растворы?

6. От каких факторов зависят свойства строительных растворов?

7. Какие экспериментальные данные необходимо иметь для того, чтобы установить марку раствора?

8. Какое влияние на прочность при сжатии строительных растворов оказывает различное содержание воды?

9. Как можно повысить прочность на сжатие строительного раствора?

12.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение состава и приготовление растворной смеси.

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 строительного раствора при сжатии.

12.3. Общие сведения о строительных растворах

Строительный раствор, согласно ГОСТ 1307-2002, объединяет понятия: растворная смесь, растворная смесь сухая, раствор строительный.

Растворная смесь, готовая к применению (РСГП), – это перемешанная смесь вяжущего мелкого заполнителя, воды и необходимых добавок, полностью затворенная водой.

Растворная смесь сухая (РСС) – это перемешанная смесь сухих компонентов, приготовленная на заводе, затворяемая водой перед употреблением на строительной площадке.

Раствор строительный – это искусственный камневидный материал, представляющий собой затвердевшую смесь вяжущего, мелкого заполнителя, необходимых добавок и воды.

Строительные растворы разделяют на следующие группы:

1. *По применяемым вяжущим:*

1) простые – с использованием одного вида вяжущего (цементные, известковые, гипсовые);

2) сложные – с использованием смешанных вяжущих (цементно-известковые, цементно-глиняные, известково-гипсовые, известково-золевые).

2. *По средней плотности:*

1) тяжелые (со средней плотностью 1500 кг/м³ и более);

2) легкие (со средней плотностью менее 1500 кг/м³).

3. По назначению:

- 1) кладочные (для каменной кладки стен, фундаментов, столбов, сводов и др.);
- 2) штукатурные (для отделки внутренних стен, потолков, фасадов зданий);
- 3) монтажные (для заполнения швов между крупными элементами);
- 4) облицовочные;
- 5) растворы для стяжек;
- 6) специальные (декоративные, теплоизоляционные, гидроизоляционные, тампонажные, инъекционные, акустические, рентгенозащитные, для полов, кислотоупорные, жаростойкие и т. д.).

В зависимости от назначения к строительным растворам предъявляются различные требования, для их приготовления 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 и панелей.

12. 3.1. Материалы для приготовления кладочных растворов

В качестве вяжущих материалов для приготовления кладочных растворов используют преимущественно портландцемент или его разновидности. Наряду с цементом в состав раствора вводят также строительную известь. При невысоких требованиях к прочности раствора возможно применение и бесцементных смесей на известковых вяжущих.

В качестве заполнителей используют природный (чаще всего – кварцевый) песок для строительных работ, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736. Лишь в некоторых случаях, когда накладываются ограничения на теплопроводность растворов, применяют легкие пористые пески.

Предельная крупность зерен песка (D_{\max}) назначается:

- 1) для кладки из кирпича, камней или блоков правильной формы – 2,5 мм;
- 2) для бутовой кладки (из камней неправильной формы) – 5 мм.

В штукатурных растворах, применяемых для подготовительного слоя штукатурки (обрызга грунта), D_{\max} равно 2,5 мм, для отделочного слоя штукатурки – 1,2 мм.

В состав растворной смеси, кроме вяжущих и мелких 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:

- 1) неорганическими: известь, глина, цементная пыль, зола-унос;
- 2) органическими: мылонафт, кубовые остатки синтетических жирных кислот, ЛСТ (лигносульфонат технический, прежнее название СДБ), ГКЖ (гидрофобизирующие кремнийорганические жидкости).

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).

12. 3.2. Свойства растворной смеси и затвердевшего раствора

Основными технологическими свойствами (показателями качества) растворной смеси являются рабочая подвижность на месте применения, средняя плотность, расслаиваемость, водоудерживающая способность (для смесей с подвижностью свыше 4 см).

Подвижность, определяемая согласно ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний», п. 2, по глубине погружения в растворную смесь стандартного конуса, задается в зависимости от назначения растворной смеси (вида кладки).

Например:

марка $P_{к3}$ для кладки из обыкновенного кирпича и других полнотельных камней или блоков, а также из пустотелых, с несвободными (не выходящими на верхнюю панель) пустотами – свыше 8 до 12 включительно;

марка $P_{к2}$ для кладки из пустотелого кирпича и керамических камней со сквозными пустотами – свыше 4 до 8 включительно (по погружению конуса).

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 увеличению теплопроводности стен.

Задаваемая подвижность растворной смеси, готовой к употреблению, 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 определяется, главным образом, расходом воды.

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 стандарту, обязательным является только определение подвижности. Другие свойства определяют лишь при необходимости, диктуемой проектом или условиями производства работ.

Свойствами (показателями качества) затвердевшего раствора являются: предел прочности на сжатие $R_{сж}$ и на растяжение при изгибе $R_{из}$; средняя плотность ρ ; влажность ω ; водопоглощение W ; усадка ϵ_y ; морозостойкость F . Обязательным по ГОСТ 5802-86 является определение предела прочности на сжатие.

Предел прочности на сжатие $R_{сж}$ является основной конструкционной характеристикой кладочного раствора, по которой произво-

дится его маркировка. Предел прочности определяется испытанием образцов, сформованных по ГОСТ 5802 на пористом основании, чем имитируются условия твердения раствора в кирпичной кладке. Если раствор предназначен для кладки из плотных камней, образцы для испытания на прочность формируют в обычных формах с поддоном.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ПРИГОТОВЛЕНИЕ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

Методика испытаний

1. Назначение марки кладочного раствора.

Согласно СТБ 1307-2002 «Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия», по пределу прочности на сжатие для строительных растворов установлены следующие марки по прочности на сжатие: М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150, М200. Указанные числа представляют собой минимальные для соответствующих марок значения предела прочности раствора, 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.

Как назначается марка раствора? Сначала при расчете каменных конструкций 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, бетонные сплошные и пустотелые блоки из бетонов всех видов, блоки из природного камня и др.), а также от прочности тяжелых растворов.

Приняв для кладки тот или иной каменный материал и зная расчетное сопротивление сжатию кладки по таблицам СНБ или СНиП, можно определить, какая прочность раствора необходима и какой марке раствора она соответствует.

Примечание. В дальнейшем при изучении каменных конструкций и технологии строительного производства студенты изучат критерии назначения марки раствора более детально с учетом всех указаний и ограничений Строительных норм.

2. Исходные данные к заданию № 1.

Возможен ряд вариантов исходных данных, задаваемых студентам преподавателем.

Требуемая прочность кладки _____ МПа

Вид каменного материала _____

На основании этих данных и вышеприведенной методики назначения марки раствора устанавливается требуемая прочность раствора _____ МПа

На основании п. 12.3.2 данной лабораторной работы назначается подвижность растворной смеси _____ см

Исходя из результатов ранее выполненных лабораторных работ принимаются следующие характеристики материалов:

активность цемента _____ МПа

насыпная плотность цемента _____ кг/м³

сорт извести _____

плотность известкового теста _____ кг/м³

На основании п. 12.3.1 данной лабораторной работы определяются:

предельная крупность песка _____ мм

влажность песка _____ %

насыпная плотность песка _____ кг/м³

Примечание. При отсутствии характеристик исходных материалов они подлежат определению.

Задание. Подбор состава кладочного цементно-известкового раствора марки _____ для кладки _____

(вид конструкции)

_____ здания из _____

(назначение здания)

(вид каменного материала)

Требуемая подвижность растворной смеси _____ см

3. Предварительное определение состава растворной смеси, готовой к применению.

Вследствие того, что расходы цемента и неорганического пластификатора определяются из расчета на 1 м³ песка, расход песка принимается равным 1 м³.

1). Определение расхода цемента на 1 м³ песка.

Для предварительного определения расхода цемента можно при-

нять, что прочность кладочного раствора прямо пропорциональна расходу цемента и его активности. Отсюда

$$Ц = 1000 \frac{R_p}{R_c}, \quad (12.1)$$

где Ц – расход цемента в кг на 1 м³ песка естественной влажности в рыхлой засыпке;

R_p – требуемая прочность (марка) раствора, МПа;

R_c – активность (марка) цемента, МПа.

Согласно требованиям СНБ, минимальный расход цемента в кладочных растворах определяется: для конструкций, эксплуатируемых в нормальных влажностных условиях, – 75 кг/м³; для конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности, – 100 кг/м³. Поэтому, если в результате расчета по вышеприведенной формуле величина Ц получается меньше указанной, ее следует повысить.

Расход цемента по объему (в м³ на 1 м³ песка)

$$Ц_o = \frac{Ц}{\rho_{нц}}, \quad (12.2)$$

где ρ_{нц} – насыпная плотность цемента, кг/м³.

2). Определение расхода извести.

В инструкции СН 290-74 для определения расхода извести приводится следующая формула:

$$И_o = 0,17 (1 - 0,002 Ц), \quad (12.3)$$

где И_o – расход извести в виде известкового теста плотностью 1400 кг/м³ по объему, т. е. в м³.

В формуле (12.3) предусматривается известь II сорта. При использовании извести I сорта ее расход можно уменьшить на 10 %.

Если плотность известкового теста (известкового молока) отличается от 1400 кг/м³, его расход, определенный по формуле (12.3), следует скорректировать умножением на коэффициент (табл. 12.1).

Плотность известкового теста

Плотность известкового теста, кг/м ³	Коэффициент приведения
1500	0,8
1450	0,89
1400	1
1350	1,14
1300	1,33
1250	1,6
1200	2

Уточненный расход известкового теста

$$I_{oy} = I_o \cdot \dots = \dots \text{ м}^3. \quad (12.4)$$

Расход известкового теста в кг на 1 м³

$$I = I_{oy} \cdot \rho_{и} = \dots, \quad (12.5)$$

где $\rho_{и}$ – плотность известкового теста, кг/м³

Проанализируем формулу, предложенную СН 290-74 для определения расхода известкового теста. Она исходит из необходимости получения растворной смеси определенной пластичности. Предположим, $\text{Ц} = 500 \text{ кг/м}^3$. Тогда, согласно формуле, $I_o = 0$, т. е. известь не нужна, т. к. раствор при таком большом расходе цемента и так достаточно «жирный». Если же $\text{Ц} = 0$, то $I = 0,17 \text{ м}^3$. В таком объеме известкового теста (с содержанием воды в тесте 50 %) при его плотности 1400 кг/м^3 сухой извести содержится $0,17 \times 0,5 \times 1400 = 119 \text{ кг}$. Сравнив величины заданную и полученную, мы видим, насколько в обеспечении пластичности (и водоудерживающей способности) известь эффективнее цемента. Однако цемент намного эффективнее извести в обеспечении требуемой прочности раствора, а также водостойкости, морозостойкости, долговечности.

3). 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. Расход песка на опытный замес в кг составит

$$П_3 = 0,003 \cdot \rho_{\text{нп}} = \dots \text{ кг}, \quad (12.6)$$

где $\rho_{\text{нп}}$ – насыпная плотность песка, кг/м³.

Определяем расход цемента на замес:

$$Ц_3 = 0,003 \cdot Ц = \dots \text{ кг}. \quad (12.7)$$

Расход известкового теста

$$И_3 = 0,003 \cdot И = \dots \text{ кг}. \quad (12.8)$$

Затем следует определить расход воды и подвижность растворной смеси.

Расход воды подбирается опытным путем исходя из заданной подвижности в см. Начальный расход воды затворения (не считая воды, содержащейся в известковом тесте и в песке) определяется по формуле

$$В_3 = 0,65 (Ц_3 + И_3) = \dots \text{ кг (л)}. \quad (12.9)$$

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 в виде эталонного стального конуса СтройЦНИЛа.
2. Стальной стержень диаметром 12 мм и длиной 300 мм.
3. Кельма.

Методика испытаний

Строительные растворы имеют специфические технологические особенности:

- 1) укладка тонким слоем на водоотсасывающее пористое основание (кирпич, бетон);
- 2) отсутствие специальных методов выравнивания и уплотнения;
- 3) длительный период выработки.

Поэтому растворные смеси должны быть пластичными, подвижными.

Удобоукладываемость свежеприготовленной растворной смеси характеризуется маркой по подвижности (P_k), определяемой по глубине погружения в см в эту смесь эталонного конуса под действием собственной массы.

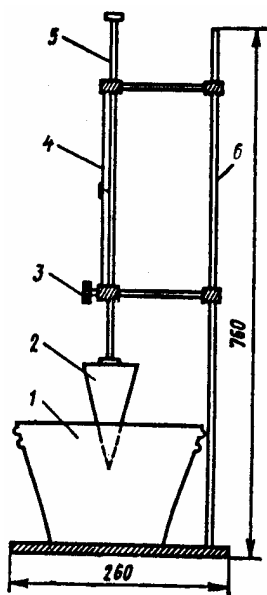


Рис. 12.1. Прибор для определения подвижности растворной смеси:

- 1 – сосуд; 2 – конус; 3 – винт;
4 – шкала; 5 – стержень; 6 – штатив
- 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, уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 12 мм и длиной 300 мм (25 раз) и встряхивают сосуд 5...6 раз легким постукиванием о стол.

Основная часть прибора для определения подвижности (рис. 12.1) – эталонный стальной конус 2 высотой 145 мм, диаметром основания 75 мм и массой 300 г. В центре основания конуса закреплен стержень 5, свободно перемещающийся во втулках штатива 6. Винтом 3 конус можно закрепить на требуемой высоте. К штативу прикреплена 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, уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 12 мм и длиной 300 мм (25 раз) и встряхивают

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 конуса определяют как разность между вторым и первым отсчетами. Подвижность растворной смеси вычисляют как среднее арифметическое 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. 12.2.

Т а б л и ц а 12.2

Марка по подвижности и глубина погружения конуса

Марка по подвижности	Глубина погружения конуса, см
P_k4	от 1 до 4 включит.
P_k8	св. 4 до 8 включит.
P_k12	св. 8 до 12 включит.
P_k14	св. 12 до 14 включит.

Если глубина погружения стандартного конуса оказывается меньше заданного показателя подвижности, добавляем малыми порциями воду, перемешиваем растворную смесь с добавкой воды, снова определяем подвижность и таким образом постепенно доводим смесь до заданной подвижности.

Результаты испытаний

Результаты опытов представляют в табл. 12.3.

Расход материалов на замес

№ опы- та	Расход материалов на замес, кг					Подвиж- ность рас- творной смеси, см
	Цемент Ц _з	Известко- вое тесто И _з	Песок П _з	Вода В _з	Добавка воды В _д	
1						
2						
3						

Заключение

Если при подборе дозировки воды выполнено несколько опытов, зависимость подвижности растворной смеси от добавки воды следует представить графически и сделать выводы из характера полученной кривой.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРНОЙ СМЕСИ

После получения растворной смеси требуемой подвижности определяют ее среднюю плотность по ГОСТ 5802, п.3.

Приборы и материалы

1. Стальной цилиндрический сосуд вместимостью 1000 мл.
2. Весы лабораторные.
3. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм.
4. Стальная линейка 400 мм по ГОСТ 427.

Методика испытаний

Определение средней плотности растворной смеси производится в литровом мерном сосуде. Перед испытанием устанавливают массу пустого сосуда (m_0) с погрешностью до 2 г, затем наполняют его с некоторым избытком растворной смесью, уплотненной штыковани-

ем стальным стержнем 25 раз и пяти-шестикратным легким постукиванием о стол. Избыток смеси срезают стальной линейкой вровень с краями сосуда. Стенки сосуда протирают, удаляют прилипшую растворную смесь и определяют массу сосуда со смесью (m_1) с погрешностью до 2 г.

Среднюю плотность пробы растворной смеси ρ_0 в кг/м^3 определяют по формуле

$$\rho_0 = [(m_1 - m_0)/1000] \cdot 1000. \quad (12.10)$$

За среднюю плотность растворной смеси принимают среднее арифметическое значение результатов двух определений на различных пробах смеси (расхождение значений средней плотности проб не должно при этом превышать 5 % меньшего значения).

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе растворной смеси.

Результаты испытаний

Результаты опытов заносят в табл. 12.4.

Т а б л и ц а 12.4

Результаты определения средней плотности растворной смеси

№ 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 со средней плотностью бетонной смеси и пояснить, почему средняя плотность растворной смеси отличается от средней плотности бетонной смеси.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫХОДА РАСТВОРНОЙ СМЕСИ В ОПЫТНОМ ЗАМЕСЕ

Методика испытаний

Фактический выход растворной смеси по объему

$$V_p = \frac{\sum m}{\rho_o} \quad (12.11)$$

где $\sum m$ – сумма масс всех дозированных на замес материалов, кг;

$$m = Ц_3 + И_3 + П_3 + В_3 + В_д = \dots \text{ кг.} \quad (12.12)$$

Уточним состав растворной смеси.

Зная фактический выход растворной смеси, определим расход материалов на 1 м³ строительного раствора:

$$Ц = \frac{Ц_3}{V_p} = \dots \text{ кг;} \quad (12.13)$$

$$И = \frac{И_3}{V_p} = \dots \text{ кг;} \quad (12.14)$$

$$П = \frac{П_3}{V_p} = \dots \text{ кг;} \quad (12.15)$$

$$В = \frac{В_3 + В_д}{V_p} = \dots \text{ кг.} \quad (12.16)$$

Состав раствора по массе

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{И}{Ц} : \frac{П}{Ц} = 1 : \dots = \dots \quad (12.17)$$

Уточненный расход материалов по объему

$$V_{\text{ц}} = \frac{\Pi}{\rho_{\text{нц}}} = \dots = \dots \text{ м}^3; \quad (12.18)$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{\text{И}}{\rho_{\text{нц}}} = \dots = \dots \text{ м}^3; \quad (12.19)$$

$$V_{\text{по}} = \frac{\Pi}{\rho_{\text{нпо}}} = \dots = \dots \text{ м}^3. \quad (12.20)$$

Состав раствора по объему

$$\frac{V_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}} : \frac{V_{\text{из}}}{V_{\text{из}}} : \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц}}} = 1 : \dots : \dots = 1 : \dots : \dots \text{ м}^3. \quad (12.21)$$

Заключение

Сделать выводы по полученным результатам.

Задание 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ И ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА ПРИ СЖАТИИ

1. Методика изготовления опытных образцов и их испытание.

Приборы и материалы

1. Разъемные стальные формы без поддона по ГОСТ 22685-77.
2. Пресс гидравлический по ГОСТ 8905-82.
3. Штангенциркуль по ГОСТ 166.
4. Стальной стержень диаметром 12 мм, длиной 300 мм.
5. Весы технические по ГОСТ 24104-80.

Методика испытаний

Несущую способность конструкции в большей степени обеспечивают материалы, из которых она изготовлена. Для стеновой кон-

струкции, выполненной из мелкоштучных материалов или крупно-размерных блоков, 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.

Согласно ГОСТ 5802-86, п. 6, для определения прочности раствора на сжатие изготавливают три образца-куба размерами 70,7x70,7x70,7 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), деление разрушающей нагрузки на площадь поперечного сечения не требует калькулятора и легко осуществляется в уме удвоением величины разрушающей нагрузки и переносом запятой влево на четыре знака (если площадь – в см^2).

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 (кирпичах) в формах без поддона по методике, описанной в п. 6.4.2 и 6.4.3 ГОСТ 5802-86. Собранную и смазанную форму устанавливают на уложенный плашмя кирпич с ровной поверхностью, предварительно покрытый смоченной водой газетной или другой непроклеенной бумагой. Кирпич применяется керамический влажностью не более 2 % и водопоглощением 10...15 % по массе. Каждую из трех форм заполняют растворной смесью за один прием с некоторым избытком, уплотняют 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 отсасывающего воду основания не допускается.

Для изготовления образцов-кубов 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, верхнюю грань нумеруют труднотираемой краской и хранят при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ следующим образом: образцы из растворных смесей на гидравлических вяжущих веществах в течение трех суток – в камере нормального хранения при относительной влажности выше 95 %, а остальное время – в воде; образцы из растворов, твердеющих на воздухе, – в помещении при относительной влажности (65 ± 10) %.

При хранении в помещении образцы защищают от сквозняков и действия нагревательных приборов.

Примечание. 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 один из факторов, 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. Вместо предусмотренного стандартом уплотнения растворной смеси штыкованием можно использовать виброуплотнение; можно изготовить обе серии образцов одинаково, но испытать их в разном возрасте или при различных условиях выравнивания. Для формирования трех образцов исследовательской серии можно также изменить состав растворной смеси, оставшейся после формирования основных образцов по стандарту, – например, добавить еще воды или песка, 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. 12.5).

Т а б л и ц а 12.5

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.

Т а б л и ц а 12.6

Коэффициенты приведения, учитывающие температуру
твердения раствора

Возраст при испытании, сут.	1	3	7	14	28
Коэффициент твердения при температуре твердения раствора, °С	10	5,5	2,7	1,7	1,2
	25	2,4	1,6	1,2	0,96

Перед испытанием на прочность следует измерить каждый образец и массу для определения средней плотности затвердевшего раствора по ГОСТ 5802.

2. Определение средней плотности затвердевшего раствора

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью не более 0,5 %.
2. Стальная линейка по ГОСТ 427.
3. Штангенциркуль с погрешностью не более 0,1 мм.

Методика испытаний

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 вычисляют по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяют штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Массу образцов устанавливают взвешиванием с погрешностью не более 0,1 %. Плотность образца затвердевшего строительного раствора вычисляют с погрешностью до 1 кг/м³ по формуле

$$\rho_o = \frac{m}{V} \cdot 1000. \quad (12.22)$$

Результаты испытаний

Результаты опытов заносят в табл. 12.7.

Т а б л и ц а 12.7

Результаты определения средней плотности раствора

№ пп	Показатели	№ образцов		
		1	2	3
1	Масса образцов, м, г			
2	Размеры образца: ширина, см толщина, см высота, см			
3	Объем образца V, см ³			
4	Средняя плотность образца раствора, кг/м ³			

Среднюю плотность затвердевшего раствора вычисляют как среднее арифметическое результатов определения средней плотности трех образцов одной серии.

Заключение

Полученные результаты сравнить со средней плотностью образцов из гипсового вяжущего и со средней плотностью образцов из тяжелого бетона.

3. Определение прочности на сжатие строительного раствора

Приборы и материалы

1. Весы технические с погрешностью не более 0,5 %.
2. Стальная линейка по ГОСТ 427.
3. Штангенциркуль с погрешностью не более 0,1 мм.

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 пресса так, чтобы к ней прилегала грань образца, бывшая при формировании боковой.

Усилие на стандартный образец 70,7x70,7x70,7 мм должно расти со скоростью 10...50 кН (1020...5100 кгс) в секунду. Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимают за разрушающее усилие.

Предел прочности при сжатии для каждого образца рассчитывают по формуле

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (12.23)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности раствора при осевом сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов-кубов.

Результаты испытаний

Результаты испытания и их приведение к стандартным отражают в табл. 12.8.

Результаты определения марки раствора

№ образца	Разрушающее усилие F , Н	Площадь сечения A , мм ²	Предел прочности $R_{сж}$, МПа		Марка раствора
			при испытании	с приведением к стандартному	
1					
2					
3					
среднее					

Если полученная марка строительного раствора соответствует заданной, подобранный состав растворной смеси может быть выдан к производству строительных работ. Если же марка 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.

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

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. Пояснить разницу в понятиях «раствор строительный» 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 расслаиваемости растворной смеси?

8. Какой смысл имеет понятие водоудерживающей способности 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. Какие органические пластификаторы используются в строительных растворах?

20. Как определить плотность растворной смеси и раствора?

21. От чего зависит прочность строительных растворов?

22. Как определить предел прочности при осевом сжатии?

23. От чего зависит водоудерживающая способность растворной смеси?

24. В чем заключаются стандартные условия твердения образцов из растворных смесей, изготовленных на гидравлических и водоудерживающих веществах?

25. От чего зависит выбор вяжущего в строительных растворах?

26. Где, по Вашему мнению, могут применяться цементно-полимерные растворы?

27. Как определить подвижность растворной смеси? В чем отличие этого испытания от определения подвижности бетонной смеси?

28. Почему при определении прочности строительного раствора при сжатии для изготовления образцов в одних случаях используют формы без дна, а в других – обычные формы?

29. Каковы сроки и режим твердения образцов из растворов на гидравлических вяжущих?

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в К.Н., К а д д о М.Б., К у л ь к о в О.В. Оценка качества строительных материалов. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999.

2. Д о м о к е е в А.Г. Строительные материалы. – М.: Высш. школа, 1989.

3. СТБ 1307-2002. Смеси растворные и растворы строительные. Технические условия.

4. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытания.

5. СН 290-74. Указания по проектированию и применению строительных растворов.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 1 3

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы

1. Ознакомиться с приборами и методикой определения теплопроводности теплоизоляционных материалов.

2. Определить структурные характеристики эффективных теплоизоляционных материалов, используемых в строительном производстве.

3. Определить влияние влажности теплоизоляционного материала на его теплофизические свойства.

13.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какими свойствами характеризуются теплоизоляционные материалы?

2. По каким признакам классифицируют теплоизоляционные материалы?

3. Классификация теплоизоляционных материалов по структуре.

4. На какие классы делят теплоизоляционные материалы по теплопроводности?
5. Как классифицируют теплоизоляционные материалы по плотности?
6. Какие теплоизоляционные материалы существуют в зависимости от вида исходного сырья?
7. Как делят теплоизоляционные материалы по внешнему виду и форме?
8. Какие теплоизоляционные материалы бывают в зависимости от жесткости (деформации сжатия)?
9. Какие физические свойства влияют на теплопроводность?

13.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение структурных характеристик и влажности теплоизоляционных материалов.

Задание 2. Определение теплопроводности сухих теплоизоляционных материалов.

Задание 3. Определение влияния влажности на теплопроводность теплоизоляционных материалов.

13.3. Общие сведения о теплоизоляционных материалах

Строительные материалы, используемые для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, промышленного и энергетического оборудования и трубопроводов, называются **теплоизоляционными**. Такие материалы имеют низкую теплопроводность – не более $0,175 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ – и среднюю плотность – не более 600 кг/м^3 .

Классификация теплоизоляционных материалов и изделий проводится по следующим признакам: структуре, форме, виду основного исходного сырья, средней плотности, жесткости (относительной деформации при сжатии), теплопроводности и возгораемости.

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, пенопласты).

По форме и внешнему виду ТИМ бывают:

- 1) штучные (плиты, блоки, кирпич, цилиндры, полуцилиндры, сегменты);
- 2) рулонные (маты, полосы);
- 3) шнуровые (шнуры, жгуты);
- 4) сыпучие и рыхлые (вата минеральная, стеклянная, вспученные перлит и вермикулит).

По виду сырья ТИМ делят на:

- 1) неорганические (минеральная и стеклянная вата, ячеистые бетоны, материалы на основе асбеста, керамические и др.);
- 2) органические (древесноволокнистые и древесностружечные плиты, торфяные плиты, материалы из пластмасс и др.);
- 3) комбинированные, состоящие из органического и неорганического сырья (фибrolит, арболит, минеральные волокна с органическим связующим).

По средней плотности ТИМ делят на марки:

- 1) особо легкие (ОЛ): 15, 25, 35, 50, 75, 100;
- 2) легкие (Л): 125, 150, 200, 250, 300;
- 3) тяжелые (Т): 400, 450, 500, 600.

По теплопроводности различают 3 класса ТИМ:

- 1) низкой теплопроводности – А (меньше 0,058 Вт/(м·°С);
- 2) средней теплопроводности – Б (0,058 ... 0,116 Вт/(м·°С);
- 3) повышенной теплопроводности – В (не более 0,175 Вт/(м·°С)).

По возгораемости ТИМ делят на три группы:

- 1) несгораемые;
- 2) трудносгораемые;
- 3) сгораемые.

Теплотехнические характеристики некоторых ТИМ приведены в табл. 13.1.

Важнейшим свойством ТИМ является пористость, от которой зависят средняя плотность, теплопроводность, прочность, газопроницаемость и другие свойства. Важное значение имеют распределение воздушных пор в материале, характер пор, химический состав, молекулярное строение каркаса и условия применения ТИМ.

Теплопроводность является главной характеристикой теплозащитных свойств материала. При равной пористости более высокими теплоизоляционными свойствами обладают материалы, имеющие мелкие замкнутые поры вследствие уменьшения передачи теп-

лоты конвекцией и излучением. Это особенно важно 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 достаточными для их сохранности при транспортировании, складировании, монтаже и работе в конкретных условиях эксплуатации.

Химическую и биологическую стойкость ТИМ повышают применением различных защитных покрытий и обработки антисептиками.

Применение ТИМ в строительстве позволяет резко снизить массу конструкций, 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. 13.1 приведены основные физико-технические характеристики наиболее эффективных теплоизоляционных материалов.

Т а б л и ц а 13.1

Физико-технические характеристики теплоизоляционных материалов

№ пп	Наименование материала	Средняя плотность материала ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность в сухом состоянии λ , Вт/(м·°С)	Пористость П, %	Истинная плотность вещества ρ_0 , кг/м ³
1	2	3	4	5	6
1	Пенополистирол	20...35	0,04...0,05	99...97	1060
2	Минеральная вата	150...250	0,05...0,075	94...90	2500
3	Пеногипс	250...400	0,07...0,095	98...90	2450

1	2	3	4	5	6
4	Пеностекло	180...350	0,065...0,09	95...98	2500
5	Газосиликат	250...400	0,07...0,105	90...85	2550
6	Пенополистиролбетон	250...350	0,065...0,095	80...70	1250
7	Керамзитобетон	500...600	0,14...0,16	77...65	2200

Задания

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.
2. Штангенциркуль.
3. Образцы теплоизоляционных материалов (ячеистый бетон, пенополиуретан, жесткая минеральная плита, пенополистирольный пенопласт).

Методика испытаний

Определение плотности материала сводится к нахождению массы сухого образца и его объема в естественном состоянии. 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. Определив плотность материала и зная плотность вещества (табл. 13.1), рассчитывают пористость испытываемых ТИМ:

$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100\% , \quad (13.1)$$

где ρ_0 – средняя плотность материала, кг/м³;

ρ – истинная плотность материала (плотность вещества), кг/м³.

Определение влажности материала проводится согласно ГОСТ 12730.0-78 и сводится к определению массы влажного образца. Масса сухого образца определяется предварительно до его помещения во влажную среду. Эта величина должна быть зафиксирована на образце или в журнале лабораторных испытаний. Влажность вычисляется по формуле

$$W = \frac{m_b - m_c}{m_c} \cdot 100, \% \quad (13.2)$$

где m_b , m_c – соответственно масса в г образца во влажном и в сухом состоянии.

Результаты испытаний

Результаты испытаний по определению средней плотности и влажности ТИМ заносят в табл. 13.2.

Среднюю плотность теплоизоляционных материалов вычисляют с точностью до 0,1 кг/м³. Истинную плотность вещества испытанных ТИМ принимают по табл. 13.1. Пористость вычисляют по формуле (13.1) с точностью до 0,1 %. Влажность определяют по формуле (13.2) с точностью до 0,1 %.

Т а б л и ц а 13.2

Результаты определения структурных характеристик и влажности ТИМ

№ пп	Наименование ТИМ	Масса образ- ца, г	Линей- ные раз- меры, см	Объем образ- ца, см ³	Плотность ρ , кг/м ³		Порис- тость, %	Влаж- ность, %
					средняя	истин- ная		
1.	Сухие образцы							
1 2								
2.	Влажные образцы							
1 2								

Заключение

Сделать анализ результатов по пористости и влажности в зависимости от средней плотности материала.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СУХИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Одним из важных свойств теплоизоляционных материалов является **теплопроводность** – способность материала пропускать через себя тепло от одной поверхности к другой при наличии перепада температур.

Теплопроводность материала оценивается количеством тепла, проходящим через образец из этого материала толщиной 1 м, площадью 1 м² за 1 час при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1°С:

$$\lambda = \frac{Q \cdot a}{F(t_2 - t_1)\tau}, \quad (13.3)$$

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 м².

Показателем теплопроводности служит коэффициент теплопроводности, имеющий размерность Вт/(м·°С).

Приборы и материалы

1. Электрический сушильный шкаф с температурой нагрева до 240°С и регулятором температуры.
2. Весы электронные 9026 ВН-3Д13.
3. Секундомер.
4. Измеритель теплопроводности строительных материалов ИТ-1.
5. Вазелин технический.
6. Исследуемые образцы (по 3 шт.) размерами 150x150x150 мм.

Методика испытаний

Измерение теплопроводности материала производится с помощью теплового цилиндрического зонда постоянной электрической мощности нагрева для изменения его температуры. Метод определения теплопроводности основан на принципе регулярного режима и устанавливает зависимость температуры помещенного в материал нагреваемого зонда от температуры окружающего его материала за определенный интервал времени.

Величину теплопроводности определяют расчетным путем по результатам измерений.

1. Проведение испытаний. Испытываемые образцы высушивают в сушильном шкафу при $t = 100^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Затем подготавливают прибор ИТ-1 к работе. Для этого включают его в сеть, прогревают в течение 5-ти минут и вставляют зонд прибора-теплоизмерителя в отверстие в центре образца-куба, предварительно смазав корпус зонда техническим вазелином для надежности термического контакта с материалом. Схема прибора приведена на рис. 13.1.

На табло прибора индицируются показания R , соответствующие температуре (в условных единицах) среды испытания в начальный момент времени τ_0 , которые фиксируются в таблице для записи испытаний.

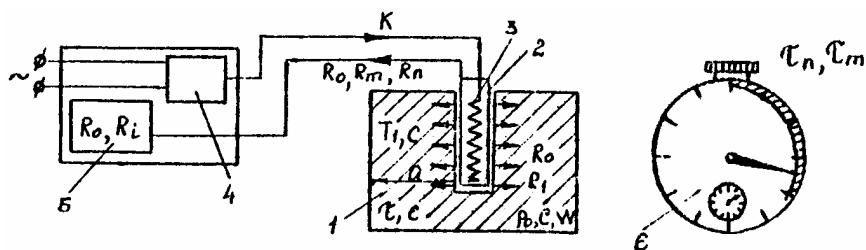


Рис. 13.1. Схема прибора для определения теплопроводности:

- 1 – испытуемый образец; 2 – зонд-измеритель тепла; 3 – нагревательный элемент;
- 4 – делитель напряжения; 5 – индикатор температуры среды материала;
- 6 – секундомер

Одновременно с пуском секундомера включают нагревательный элемент зонда. Нагрев производят в течение 6-ти минут, фиксируя показания температуры R_i в момент времени $\tau_i = 2; 2,5; 3; 4; 5; 6$ минут.

После снятия показаний измеритель отключают. Следующий замер может быть осуществлен не ранее чем за 30...40 мин до полного остывания зонда и образца. Для получения достоверных результатов проводят три измерения.

Принцип регулярного режима при использовании теплового цилиндрического зонда постоянной мощности предусматривает, что изменение температуры зонда во времени подчиняется экспоненциальному закону. В связи с этим для расчета теплопроводности используется формула

$$\lambda = A \frac{\ln(\tau_n / \tau_m)}{R_m - R_n}, \quad (13.4)$$

где λ – теплопроводность, Вт/(м·°C);

A – аппаратный фактор прибора, зависящий от условий испытаний, температуры в начале испытаний, вида материала с зондом;

τ_n, τ_m – фиксированные отсчеты времени в минутах, выбираются при условии $\tau_n / \tau_m = 2$;

R_m, R_n – фиксированные температуры в условных единицах.

Для фактических расчетов с учетом неизбежных погрешностей опыта определяют среднеарифметическое значение R по трем параметрам фиксированных измерений:

$$(R_m - R_n) = \frac{1}{3}; R_i = \frac{1}{3} [(R_2 - R_4) + (R_{2,5} - R_5) + (R_3 - R_6)]. \quad (13.5)$$

Величина аппаратного фактора рассчитывается по формуле

$$A = R_0(K + \alpha C_p), \quad (13.6)$$

где R_0 – температура среды материала (в условных единицах) в начальный момент времени ($\tau_0 = 0$) испытания образца, снимается по индикатору прибора и заносится в табл. 13.3;

K – удельная мощность нагрева зонда, зависит от начальной температуры, определяется по графику $K = f(t)$ (рис. 13.2) (пример определения величин R и K приведен под рисунком);

α – коэффициент теплообмена в зоне контакта ($\text{Вт}/(\text{м}^2/\text{ч})$), для пенопласта, газосиликата (пеногипса) и керамзитобетона в сухом состоянии соответственно равен 0,0000175, 0,0000365 и 0,000451 $\text{Вт}/(\text{м}^2/\text{ч})$;

C – удельная теплоемкость, для пенопласта, газосиликата (пеногипса) и керамзитобетона соответственно равна 1,34, 0,84 и 0,84 $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$;

ρ – средняя плотность исследуемых образцов ТИМ в сухом состоянии в $\text{кг}/\text{м}^3$, определяется в задании № 1.

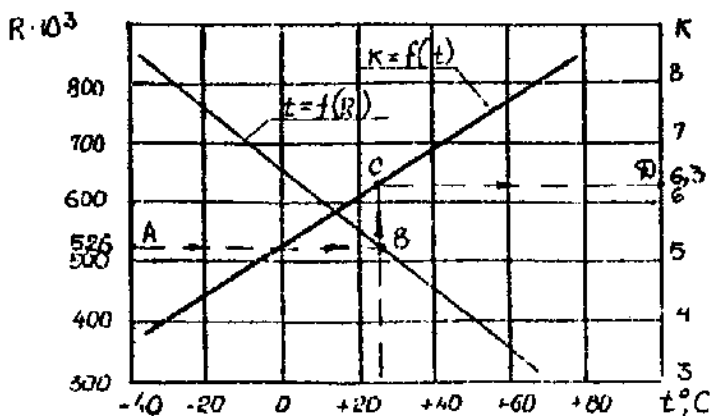


Рис. 13.2. График определения величины K в зависимости от величины R

2. Пример определения величины K в зависимости от R_0 .

Имеем значение $R_0 = 526$ у. е., снятое при показаниях прибора ИТ-1 в процессе измерений. Отложим это значение на оси абсцисс R в соответствующем масштабе (точка A). Проведем линию, параллельную оси ординат t , $^\circ\text{C}$, до пересечения с прямой зависимости $t = f(R)$ в точке B . Из t . B проведем линию, параллельную оси K , до пересечения с графиком функции $K = f(t)$ в t . C . Опустив перпендикуляр из t . C на ось абсцисс K , получим численное значение K , соответствующее значению $R_0 = 526$ у. е., снятому по шкале прибора ИТ-1.

Расчетная формула теплопроводности имеет вид

$$\lambda = R_o (K + \alpha c p) \frac{\ln(\tau_n / \tau_m)}{1/3 \cdot \sum \Delta R_i 10^3}, \quad (13.7)$$

где $\ln(\tau_n / \tau_m) = 0,693$.

За теплопроводность материала принимают среднее арифметическое трех значений.

Результаты испытаний

Т а б л и ц а 13.3

Результаты измерений и теплофизические характеристики ТИМ в сухом состоянии

№ пп	Показатели, обозначения и единицы измерения	Образцы материала								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Температура среды испытания в начальный момент времени R_o в условных единицах									
2	Температура среды испытания R_i в фиксированный отсчет времени τ_i соответственно при: $\tau_0 = 0$ мин $\tau_1 = 2$ мин $\tau_2 = 2,5$ мин $\tau_3 = 3$ мин $\tau_4 = 4$ мин $\tau_5 = 5$ мин $\tau_6 = 6$ мин									
3	Фиксированные измерения температуры в условных единицах ($1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3$)									
4	Теплопроводность λ , Вт/(м·°С)									
5	Среднее значение теплопроводности λ , Вт/(м·°С)									

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Известно, что на теплопроводность материала значительное влияние оказывает его влажность: влажные материалы более теплопроводны по сравнению с сухими. Это объясняется тем, что теплопроводность воды в 25 раз выше теплопроводности воздуха. Именно вода, находящаяся в порах материала в парообразном или жидком состоянии, способствует более интенсивной передаче тепла от поверхности изделия с более высокой температурой к поверхности с более низкой температурой.

Приборы и материалы

1. Весы электронные 9026 ВН-3Д13 с разновесами.
2. Секундомер.
3. Прибор-измеритель теплопроводности ИТ-1.
4. Вазелин технический.
5. Образцы исследуемых ТИМ (по 3 шт.) размерами 150x150x150 мм.

Методика испытаний

Методика определения теплопроводности образцов исследуемых материалов аналогична описанной в задании 2. Испытаниям подлежат образцы (по 3 шт.) из газосиликата.

Величину теплопроводности определяют расчетным путем по результатам измерений и с учетом величины влажности образцов.

Для определения влияния влажности на теплопроводность материала воспользуемся данными по плотности и влажности образцов, полученными в задании 1.

Схема испытательной установки и очередность операций по определению теплопроводности аналогична описанной в задании 2. Последовательность замера показаний температуры R и время замера t соответствуют приведенным в предыдущем задании.

Алгоритм расчета экспериментальных данных и определения теплопроводности исследуемых теплоизоляционных материалов ана-

логичен приведенному в задании 2. Расчет производится по формулам (13.4), (13.5) и (13.6), а также по формуле (13.8).

$$\lambda = R_o \left[K + a_w c_w \rho_w \right] \cdot \frac{0,693}{1/3 \sum \Delta R_i \cdot 10^3}, \quad (13.8)$$

где c_w – удельная влажность материала, определяемая с учетом теплоемкости сухого материала (см. задание 2) и весовой влажности W , % (см. задание 1), определяется по формуле

$$c_w = \frac{c + 0,01W}{1 + 0,01W}, \text{ Кдж/кг}\cdot\text{°C}; \quad (13.9)$$

a_w – коэффициент нестандартной влагопроводности для исследуемых образцов во влажном состоянии, определяется по формуле

$$a_w = \frac{\mu}{W \rho_w}, \quad (13.10)$$

где μ – коэффициент паропроницаемости, определяется по СНиП 11-3-79; для пенопласта, газосиликата (пеногипса) и керамзитобетона соответственно равен 0,05; 0,23 и 0,26 (мг/(м·ч, Па) при весовой влажности $W = 0,6$ долей единицы;

ρ_w – средняя плотность образцов материала в кг/м³ во влажном состоянии (см. задание 1).

Результаты испытаний

Опытные данные и результаты вычислений заносятся в табл. 13.4. Сопоставляют результаты испытаний (влажность, плотность, пористость) образцов, проводят анализ полученных данных и делают вывод о влиянии влажности на теплопроводность ТИМ.

Т а б л и ц а 13.4

Результаты измерений и теплофизические характеристики ТИМ
во влажном состоянии

№ пп	Показатели, обозначения и единицы измерения	Образцы материала								
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Влажность образца в момент испытания W , %									
2	Температура среды испытания в начальный момент времени R_0 в условных единицах									
3	Температура среды испытания R_i в фиксированный отсчет времени τ_i , соответственно при: $\tau_0 = 0$ мин $\tau_1 = 2$ мин $\tau_2 = 2,5$ мин $\tau_3 = 3$ мин $\tau_4 = 4$ мин $\tau_5 = 5$ мин $\tau_6 = 6$ мин									
4	Фиксированные измерения температуры в условных единицах ($1/3 \sum \Delta R_i \cdot 1000$)									
5	Теплопроводность λ , Вт/(м·°С)									
6	Среднее значение теплопроводности λ , Вт/(м·°С)									

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

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. Как определить влажность ТИМ?
4. По какой формуле рассчитывают пористость строительных материалов?
5. Какой принцип положен в основу определения теплопроводности прибором ИТ-1?
6. В каких единицах измеряется теплопроводность?
7. Где целесообразно использовать ТИМ, и в чем их преимущества?

Л и т е р а т у р а

1. Д о м о к е е в А.Г. Строительные материалы. – М.: Высш. школа, 1989.
2. Г о р л о в Ю.П., М е р к и н А.П., У с т е н к о А.А. Технология теплоизоляционных материалов. – М.: Стройиздат, 1980.
3. Г о р ч а к о в Г.И., Б а ж е н о в Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1998.
4. СНиП БНБ 2.01.01-93. Строительная теплотехника.

Л а б о р а т о р н а я р а б о т а № 1 4

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Цель работы

1. Изучить влияние термической обработки и пластической деформации на механические и деформативные характеристики арматурной стали.
2. Определить твердость металлов.
3. Выполнить технологические испытания (на изгиб) стержневой арматуры.

14.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие металлы относятся к черным?
2. В чем основное отличие чугуна от стали?
3. Где применяются в строительстве черные металлы?
4. Какие металлы относятся к цветным?
5. Какие сплавы на основе цветных металлов широко применяются в строительной практике?
6. Какие механические показатели определяются для строительных металлов?
7. Как разделяют стали по составу (количеству углерода)?
8. Как разделяют арматуру по технологии изготовления?
9. Каким образом получают легированные стали?
10. Какие напряжения возникают в рабочей арматуре железобетонных изгибаемых конструкций?

14.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение влияния термической обработки на механические свойства арматурной стали.

Задание 2. Определение влияния пластической деформации на деформативные свойства арматурной стали.

Задание 3. Определение твердости металлов.

Задание 4. Проведение технологических испытаний арматурной стали.

14.3. Общие сведения о строительных металлах

Металлы – это вещества, которые обладают высокой прочностью, пластичностью, упругостью, электро- и теплопроводностью, ковкостью, свариваемостью, а также металлическим блеском.

Металлы разделяют на черные и цветные. К **черным** относятся железо и сплавы на его основе – стали, содержащие до 2,14 % углерода, и чугуны с содержанием углерода более 2,14 %. К **цветным** относятся алюминий, медь, цинк, свинец, магний и титан, 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** (из них низкоуглеродистые содержат углерода менее 0,25 %, среднеуглеродистые – 0,25...0,65 %, высокоуглеродистые – 0,65...2,14 % и небольшое количество примесей – кремния, марганца, серы, фосфора и др.) и **легированные** (содержат определенное количество легирующих добавок, улучшающих их эксплуатационные свойства).

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.

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-1 и горячекатаную периодического профиля классов А-II, А-III, А-IV, А-V, А-VI. В табл. 14.1 приведены механические характеристики указанной арматуры.

Т а б л и ц а 14.1

Механические характеристики стержневой арматурной стали

Класс	Вид	Марка	Диаметр d_n мм	Предел текучести, МПа, не менее	Временное сопротивление, МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее	Испытание на изгиб в холодном состоянии, угол загиба, град.
1	2	3	4	5	6	7	8
А-1	круглая гладкая	Ст3 18Г2С	6...40 40...80	235	373	25	180° C = 0,5d
А-II	периодического профиля	Ст5 18Г2С	10...40 10...80	294	490	19	180° C = 3d

Окончание табл. 14.1

1	2	3	4	5	6	7	8
A ₀ -II	то же	10ГТ	10...32	294	441	24	180° C= Id
A-III	периодического профиля	25Г2С 35ГС	6...40	392	590	14	90° C= 3d
A-IV	то же	20ХГ2Ц 80С	10...22 10...18	590	883	6	45° C= 5d
A-V	то же	23Х2Г2Т	10...22	785	1030	7	45°
A-VI	то же	23Х2Г2АЮ 22Х2Г2Р 20Х2Г2СР	10...22	980	1230	6	45° C= 5d

Сортамент стержневой арматуры построен по номинальным диаметрам стержней d_n . Для стержней гладкого профиля он равен фактическому диаметру d_f , для стержней периодического профиля – диаметру одинакового с ним по площади поперечного сечения гладкого стержня.

Холодотянутая проволочная арматура по форме сечения выпускается круглой гладкой классов В-1 и В-II и периодического профиля – холодносплюснутая В_p-1 и В_p-II. Буква «р» в обозначении указывает, что проволока рифленая. В табл. 14.2 приведены механические характеристики проволочной арматуры.

Т а б л и ц а 14.2

Механические характеристики стальной арматурной проволоки

Класс	Диаметр, мм	Предел текучести, МПа	Временное сопротивление при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Число перегибов (при диаметре валика 20 мм)	Угол загиба, град.; С – диаметр валика, мм; d – диаметр проволоки, мм
1	2	3	4	5	6	7
В-1	3; 4; 5	не нормируется	550...850	не нормируется	4	-
В _p -1	3; 4; 5	то же	525...550	то же	4	-

1	2	3	4	5	6	7
В-II	3...8	1137...1489	1400... 1900	4...6	5...9	180°C; C = 5d
Вр-II	3...8	1040...1440	1300... 1800	4...6	3...4	180°C; C = 5d

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, временного сопротивления, относительного удлинения при разрыве, а также на загиб в холодном состоянии.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Известно, что в процессе термической обработки железоуглеродистого сплава изменяются его структура и механические свойства. Этот процесс состоит из нагрева до определенной температуры, выдержки при этой температуре и охлаждения с заданной скоростью. При этом происходят фазовые превращения стали, изменяются ее структура и физико-механические свойства.

За счет улучшения структуры металла при термической обработке повышаются его механические характеристики. Это позволяет увеличить расчетные сопротивления (допускаемые напряжения), повысить надежность и долговечность железобетонной конструкции.

В зависимости от требований к изделиям из стали применяют 4 вида термической обработки: отжиг, нормализацию, закалку и отпуск, которые отличаются температурой нагрева, длительностью выдержки при этой температуре и скоростью охлаждения по окончании выдержки.

В строительной практике для улучшения механических характеристик арматурной стали чаще всего применяют закалку. *Закалкой*

называется процесс нагрева стали на 30...50°C выше критических точек A_{c3} доэвтектоидной стали и A_{c1} заэвтектоидной стали при данной температуре и последующее быстрое охлаждение. Этот метод будет использован при выполнении данной задачи.

На рис. 14.1 приведен температурный интервал закалки и отпуска стали.

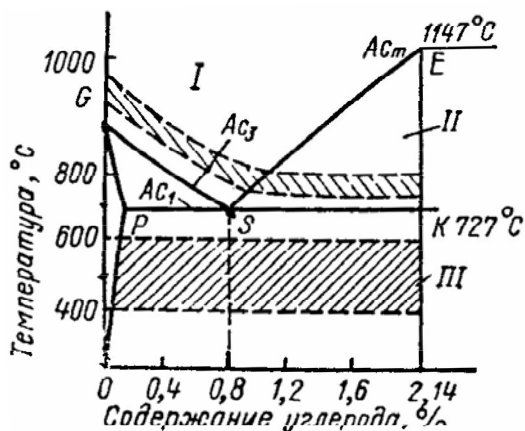


Рис. 14.1. Температурный интервал закалки и отпуска стали:
I - закалка полная; II - закалка неполная; III – высокий отпуск

Доэвтектоидные стали, содержащие 0,02...0,8 % углерода, при нагревании на 30...50°C выше критических точек A_{c3} приобретают структуру **аустенита**. Затем при непрерывном быстром охлаждении аустенит превращается в **мартенсит**, который имеет более высокую твердость и прочность. Высокая твердость мартенсита достигается за счет атомов углерода, которые внедряются в решетку α -железа.

При закалке заэвтектоидных сталей, содержащих 0,8...2,14 % углерода, их нагревают на 30...50°C выше критических точек A_{c1} , соответствующих температуре 727°C. В этом случае образуется аустенит и в стали остается некоторое количество вторичного цемента. Охлажденная сталь состоит из мартенсита и частиц карбидов, которые имеют высокую твердость. В итоге закаленная заэвтектоидная сталь имеет высокую твердость.

Приборы и материалы

1. Электрическая муфельная печь с нагревом до температуры 900...1000°C с регулятором температуры.
2. Ванна с водой ($T = 18...20^{\circ}\text{C}$) для охлаждения образцов.
3. Штангенциркуль.
4. Разрывная испытательная машина марки Р-10.
5. Индикаторный деформометр.
6. Образцы низкоуглеродистой арматурной стали диаметром 10 мм и длиной 200 мм.

Методика испытаний

По диаграмме рис. 14.1 в зависимости от содержания в стали углерода определяют максимальную заданную температуру нагрева опытных образцов. Она должна быть на 30...50°C выше критической A_{c3} для сталей, содержащих 0,02...0,8 % углерода, и на столько же выше A_{c1} для сталей, содержащих 0,8...2,14 % углерода.

Образцы арматурной стали помещают в муфельную печь, нагревают до максимальной температуры и выдерживают при этой температуре в течение 5, 10 и 15 минут (по одному образцу на каждое время выдержки). Затем их извлекают из печи и помещают на 30 мин в ванну с водой. В последующем их медленно охлаждают на воздухе до температуры 20...25°C.

Затем на образцы, подвергнутые нагреванию, и контрольные, не подвергнутые действию температуры, с помощью кернов наносят риски. Разметку делают на длине, несколько большей расчетной, равной 100 мм (рис. 14.2).

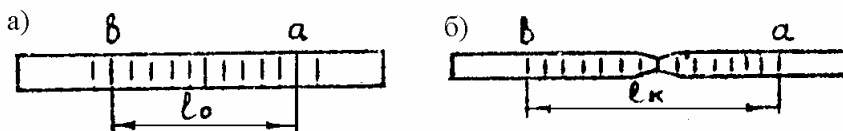


Рис. 14.2. Общий вид образцов до испытания (а) и после испытания (б)

На образце закрепляют индикаторный деформометр на базе измерения 100 мм. Образец устанавливают в испытательную машину и закрепляют в зажимах.

Дают предварительную нагрузку, равную по шкале силоизмерителя 1000 Н, снимают отсчет по шкале индикатора, и затем увеличивают нагрузку этапами, равными приблизительно 0,1 от предполагаемой разрушающей. Отсчеты снимают на каждом этапе до нагрузки, соответствующей пределу текучести испытываемой стали. Физический предел текучести фиксируется по интенсивному увеличению деформаций образца при практически не возрастающей нагрузке. Затем нагрузку увеличивают до разрыва образца.

После испытания части образца тщательно складывают вместе, располагая их по прямой линии. От места разрыва в одну сторону откладывают $n/2$ интервалов и ставят точку a . Участок от места разрыва до первой метки при этом считается как целый интервал. Затем от отметки a откладывают в сторону места разрыва n интервалов и ставят точку b (рис. 14.2 б). Отрезок ab и будет конечной расчетной длиной l_k , полученной после разрыва образца.

Физический предел текучести вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_y = \frac{F}{A_0}, \text{ МПа}, \quad (14.1)$$

где F – осевая растягивающая нагрузка в Н, соответствующая началу интенсивного деформирования образца;

A_0 – площадь поперечного сечения образца до его испытания, мм².

Временное сопротивление (предел прочности) вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_u = \frac{F_{\max}}{A_0}, \text{ МПа}, \quad (14.2)$$

где F_{\max} – максимальная нагрузка на образец в Н.

Величину относительного удлинения после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 % по формуле

$$\delta = \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_o}{\varepsilon_o} \cdot 100, \%, \quad (14.3)$$

где ε_k и ε_o – соответственно конечная и расчетная длина образца в мм.

Величину относительного сужения после разрыва арматурной стали вычисляют с округлением до 1 % по формуле

$$\psi_r = \frac{(A_o - A_k)}{A_o} \cdot 100, \%, \quad (14.4)$$

где A_k – конечная площадь образца в мм² в месте разрыва.

Для определения A_k после испытания образца на разрыв измеряют минимальный диаметр d_k в двух взаимно перпендикулярных направлениях и принимают среднее арифметическое из двух значений.

Результаты испытаний

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 14.3.

Т а б л и ц а 14.3

Результаты измерений и механические характеристики арматурной стали

№ пп	Показатели, обозначения и единицы измерения	Образцы		
		кон- троль- ные	подвергнутые	
			на- греву	пластическо- му деформи- рованию
1	2	3	4	5
1	Диаметр образца: до испытания d_o , мм после испытания на разрыв d_k , мм			
2	Площадь поперечного сечения образца: начальная A_o , мм ² после испытания на разрыв A_k , мм ²			

1	2	3	4	5
3	Расчетная длина образца: начальная l_0 , мм конечная l_k , мм			
4	Нагрузка на образец: соответствующая пределу текучести F_T , Н максимальная F_{max} , Н			
5	Предел текучести σ_y , МПа			
6	Временное сопротивление σ_u , МПа			
7	Относительное удлинение после разрыва δ , %			
8	Относительное сужение после разрыва ψ_T , %			

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Если на образец низкоуглеродистой стали дать растягивающие напряжения, которые будут равны или несколько превышать физический предел текучести, и затем снять их, то получатся остаточные деформации металла (рис. 14.3).

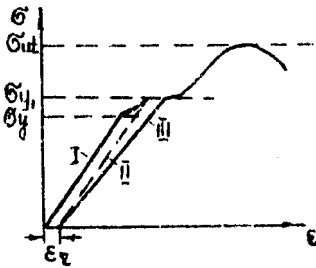


Рис. 14.3. Диаграммы « $\sigma - \epsilon$ » арматурной низкоуглеродистой стали:
I – первоначальное нагружение; II – разгрузка;
III – нагружение после разгрузки

Пластические остаточные деформации металла происходят за счет сдвигов по кристаллографическим плоскостям – плоскостям скольжения. Если при сжатии каждая элементарная частица металла сплющивается, то при растяжении она вытягивается. При деформации в холодном со-

стоянии механические свойства металла непрерывно изменяются: увеличиваются твердость, прочность и хрупкость, уменьшаются пластичность и вязкость.

Приборы и материалы

1. Разрывная испытательная машина марки Р-10.
2. Индикаторный деформометр.
3. Образцы низкоуглеродистой арматурной стали диаметром 10 мм и длиной 200 мм.

Методика испытаний

Испытаниям подлежат 3 контрольных и 3 основных образца арматурной стали.

Вначале контрольный образец арматурной стали устанавливают в зажимы разрывной машины и закрепляют в них. На образце крепят индикаторный деформометр с базой измерения 100 мм. Затем плавно увеличивают нагрузку до разрыва образца и фиксируют ее максимальную величину в момент разрыва.

Испытание основных образцов проводят аналогично контрольным, но при достижении нагрузки, соответствующей пределу текучести, делают выдержку 2...3 мин при этой нагрузке, а затем уменьшают ее до нуля. Фиксируют остаточные деформации и снова, плавно нагружая, определяют повторно предел текучести и предел прочности.

Результаты испытаний

Вычисляют физический предел текучести, временное сопротивление, величины относительного удлинения и относительного сужения контрольных и основных арматурных образцов по формулам (14.1), (14.2), (14.3) и (14.4).

Опытные данные и результаты вычислений заносят в табл. 14.3 из задания № 1. Сопоставляют результаты (предел текучести, временное сопротивление, относительное сужение и удлинение) контрольных образцов и подвергнутых пластическому деформированию, проводят анализ полученных данных и делают вывод о влиянии пластического деформирования на указанные характеристики.

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ

Твердостью металла называется способность сопротивляться прониканию в его поверхность другого, более твердого тела определенной формы и размеров. По этой характеристике оценивают качество металла в деталях и изделиях.

Для определения твердости используют методы вдавливания: метод Бринелля, метод Виккерса и метод Роквелла.

Метод Бринелля (ГОСТ 9012)

Сущность метода заключается в том, что в поверхность испытуемого образца (изделия) статической нагрузкой вдавливают стальной закаленный шарик. Нагрузку прикладывают перпендикулярно поверхности образца в течение определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка. По размеру полученного отпечатка судят о твердости металла. Схема испытания приведена на рис. 14.4.

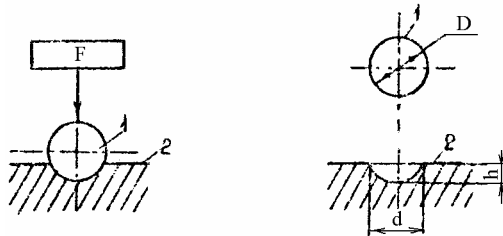


Рис. 14.4. Схема определения твердости металлов по Бринеллю:
1 – шарик; 2 – металл

Приборы и материалы

1. Прибор твердомер ТШ.
2. Стальные шарики с номинальными диаметрами 2; 2,5; 5 и 10 мм.
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 окислов пленки. Образец во время испытаний не должен прогибаться и смещаться. Диаметры стальных шариков, которые вдавливают в испытываемый образец, устанавливают в зависимости от прилагаемой нагрузки. При диаметре 2,5 мм нагрузка на стальной шарик составляет 615 и 1840 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 нагрузок, зависящих от величины коэффициента K и диаметра шарика D (табл. 1 ГОСТ 9012).

Толщина образца выбирается такой, чтобы на его противоположной стороне после испытания не было следов деформации.

Подготовленный образец закрепляют на столике, плотно прижимают к шариковому наконечнику, прилагая усилие 1 кН. Затем указательную стрелку измерительного прибора устанавливают на нулевое деление и приступают к испытанию. Включают прибор и плавно увеличивают нагрузку до максимальной величины.

Продолжительность выдержки под нагрузкой должна быть для черных металлов – от 10 до 15 с, для цветных металлов и сплавов – от 10 до 180 с в зависимости от материала и его твердости (она обычно указывается в нормативных документах на металлические изделия).

Диаметр отпечатка, который получается на образце после снятия нагрузки, измеряют отсчетным микроскопом с ценой деления 0,05 мм и полем зрения не менее 6,5 мм. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 4 d , расстояние от центра отпечатка до края образца – не менее 2,5 d . Для металлов с твердостью менее 3,5 НВ эти расстояния должны быть соответственно 6 d и 3 d .

Измерения проводят в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За окончательный результат берут среднее арифметическое. Значение измеренного диаметра отпечатка должно находиться в пределах

$$0,2 D < d < 0,6 D, \quad (14.5)$$

где D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр отпечатка, мм.

Если это условие не выполняется, испытание считается недействительным, и его повторяют снова.

Твердость по Бринеллю выражают числом твердости, которое вычисляют по формуле

$$HB = \frac{0,102F}{A} = \frac{0,102F}{\pi 95 \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \dots, \quad (14.6)$$

где F – нагрузка в Н;
 A – площадь отпечатка, мм²;
 D – диаметр шарика, мм;
 d – диаметр отпечатка, мм.

На практике чаще всего пользуются расчетными таблицами, приведенными в ГОСТ 9012 (прил. 3), где по диаметру отпечатка, диаметру шарика и величине нагрузки находят число твердости HB.

Твердость по Бринеллю при условиях испытания $D = 10$ мм, $F = 3000$ кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой от 10 до 15 с обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HB, например: 185 HB.

При других условиях испытания после букв HB указываются условия испытания в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки под нагрузкой. Например: 250 HB 5/750/20, где число 250 означает твердость по Бринеллю, определенную с применением шарика $D = 5$ мм при нагрузке 750 кгс и продолжительности выдержки под нагрузкой 20 с.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 14.4.

Т а б л и ц а 14.4

Результаты испытаний твердости по Бринеллю

Наименование материала	Толщина образца, мм	Диаметр, мм		Величина нагрузки, Н (кгс)	Значение твердости
		шарика	отпечатка		

Заключение

Сделать заключение по результатам испытаний.

Метод Роквелла (ГОСТ 9013)

Сущность метода определения твердости по Роквеллу заключается во вдавливании в металл алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального шарика диаметром 1,588 мм. Используют прибор ТК, аналогичный прибору ТШ для определения твердости по Бринеллю.

Схема определения твердости по Роквеллу приведена на рис. 14.5.

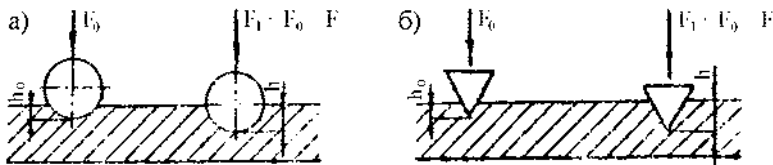


Рис. 14.5. Схема определения твердости по Роквеллу:
а – шариком; б – алмазным конусом

Шарик или алмаз вдавливают в образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: вначале – предварительной $F_0 = 100$ Н и затем – общей F , равной сумме предварительной и основной F_1 . Основная нагрузка F_1 составляет 600, 1000 и 1500 Н. Вдавливание шарика или конуса продолжается 5...6 с. Глубина вдавливания h определяется с помощью установленного на приборе индикатора, имеющего 3 шкалы – А, В и С, соответствующих различным условиям испытаний. Так, шкалы А и С служат для испытания алмазным конусом при основной нагрузке 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 НРА или НРС; при испытании стальным шариком – НРВ, например: НРВ 110.

Метод Виккерса (ГОСТ 299-75)

Сущность метода состоит в том, что с помощью прибора – твердомера марки ТП – в образец металла вдавливается алмазная четы-

рехгранная пирамида с углом при вершине $\alpha = 136^\circ\text{C}$. Затем по длине диагонали полученного отпечатка определяют твердость по таблицам, приведенным в ГОСТ 299-75, или вычисляют ее по формуле

$$\text{НВ} = 0,1854 \cdot \frac{F}{d^2}, \text{ Н/мм}^2, \quad (14.7)$$

где F – нагрузка в Н;

d – диагональ отпечатка, мм.

Нагрузка может быть от 149 до 1980 Н, продолжительность ее действия – 10...25 с. Для закаленных стальных изделий она составляет 490 Н.

Задание 4. ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Технологические испытания проводят для того, чтобы определить способность арматурной стали воспринимать деформации без появления в ней трещин, надрывов и расслоений, принимая при этом заданную форму в холодном состоянии. Величину нагрузки, действующей на образец, не учитывают, а определяют полученные дефекты.

Для арматурной стали при этих испытаниях проводят испытание стержневой арматуры на изгиб и арматурной проволоки на перегиб.

Испытания арматурной стали на холодный изгиб необходимы, 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. Пресс гидравлический.
2. Образцы арматурной стали и проволоки.
3. Катковые опоры и оправки толщиной 5; 10; 30 и 50 мм.

Методика испытаний

Схема *испытания на загиб образца* арматурной стали представлена на рис. 14.6.

На нижнюю плиту гидравлического пресса устанавливают две катковые опоры (ролики). Ролики насажены на ось или могут лежать в цилиндрической выточке в верхней части опор. Ширина оправки и опор – больше ширины образца. Толщину оправки принимают равной двум диаметрам испытываемого образца. Длину образца находят по формуле

$$L = 5d + 150 \text{ мм}, \quad (14.8)$$

где d – диаметр прутка, мм.

В зависимости от угла и способа изгиба испытания проводят:

- 1) до заданного угла;
- 2) до параллельности сторон;
- 3) до соприкосновения сторон (на изгиб вплотную).

Испытание на изгиб до заданного угла выполняют следующим образом.

Образец кладут на ролики опор, раздвинутые на расстояние $C = 2,1d$, где C – толщина оправки. Продольная ось образца должна быть перпендикулярна оси изгиба. Оправку помещают в середине испытываемого образца (рис. 14.6 а). Нагрузку на образец плавно увеличивают до тех пор, пока угол изгиба не достигнет заданной величины – 45 или 90° (рис. 14.6 б).

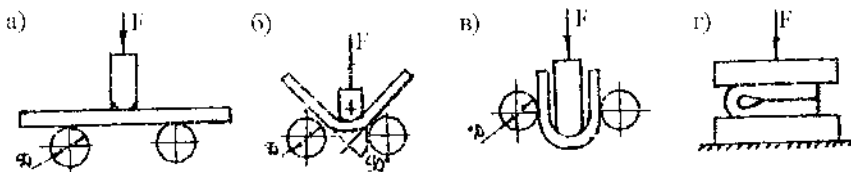


Рис. 14.6. Схемы испытания на изгиб

Испытание на изгиб до параллельности сторон (на угол 180°) проводят после предварительного изгиба до угла не менее 150° по схеме, описанной выше. После этого образец догибают на прессе до параллельности его сторон. Между сторонами образца помещают прокладку, толщина которой равна толщине оправки (рис. 14.6 в).

Испытание на изгиб вплотную (до соприкосновения сторон). Схема этих испытаний приведена на рис. 14.6 г. Предварительно

образец изгибают на угол не менее 150° . Затем догибают стороны образца до их плотного соприкосновения.

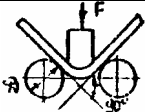
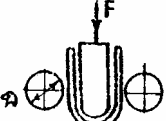
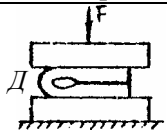
Во всех указанных испытаниях нагрузку увеличивают плавно до заданного угла изгиба. Затем образец снимают и осматривают. Если на образце в зоне изгиба не появились трещины, надрывы, расслоения и изломы, то сталь считается выдержавшей испытание на холодный изгиб. Схему и результаты испытаний заносят в табл. 14.5.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 14.5.

Т а б л и ц а 14.5

Схема испытаний арматурной стали на изгиб

№ пп	Наименование испытаний	Схема испытаний	Характер поверхности образца после испытаний
1	Испытание до заданного угла $\alpha =$		
2	То же до параллельности сторон		
3	То же до соприкосновения сторон		

Заключение

Сделать анализ результатов испытаний с кратким теоретическим обоснованием изменений свойств металлов при термической обработке и пластическом деформировании.

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 влияет пластическая деформация арматурной стали на ее предел текучести?
7. Какие существуют методы определения твердости металлов?
8. В чем сущность метода определения твердости по Бринеллю?
9. С какой целью проводят технологические испытания арматурной стали?
10. В чем сущность испытания арматурной стали на изгиб?

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов. – М.: Высш. школа, 1984. – 167 с.
2. Ч е р т о к Б.Е. Лабораторные работы по технологии металлов и конструкционным материалам. – М.: Машиностроение, 1969. – 120 с.
3. ГОСТ 12004-84. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение.
4. ГОСТ 14019-80. Металлы и сплавы. Методы испытания на изгиб.
5. ГОСТ 1579-80. Проволока. Метод испытания на перегиб.
6. ГОСТ 9012-59. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
7. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.

Лабораторная работа № 15

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Цель работы

1. Ознакомиться с коллекцией современных полимерных материалов, применяемых для полов, отделки стен и изготовления оконных и дверных блоков.
2. Ознакомиться с приборами, оборудованием и методиками определения физико-механических свойств полимерных материалов.
3. Определить основные характерные физико-механические показатели современных полимерных материалов для устройства полов, отделки стен и материалов из ПВХ для изготовления оконных и дверных блоков.
4. Сделать анализ полученных результатов и заключение по выполненным испытаниям.

15.1. Вопросы для подготовки к лабораторной работе

1. Что представляют собой полимеры?
2. Какие полимеры относятся к природным и какие – к синтетическим?
3. Что является сырьем для получения синтетических полимеров?
4. Как получают полимеры?
5. Какие полимеры относятся к полимеризационным?
6. Какие полимеры относятся к поликонденсационным?
7. Что представляет собой пластмасса?
8. Основные компоненты пластмасс и их назначение.
9. Какие материалы на основе полимеров применяют для устройства полов?
10. Какие полимерные материалы применяют для внутренней отделки стен?
11. Какие полимерные материалы применяют для наружной отделки стен?
12. Какие полимерные материалы применяют для изготовления оконных и дверных блоков?

15.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение массы 1 м² площади полимерных материалов для полов.

Задание 2. Определение гибкости поливинилхлоридных материалов.

Задание 3. Определение истираемости материалов для покрытия полов.

Задание 4. Определение деформативности при вдавливании и восстанавливаемости полимерных материалов.

Задание 5. Определение прочности при растяжении и разрыве и относительного удлинения при разрыве ПВХ-профиля.

15.3. Общие сведения

Полимерами называются 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, поливинилхлорид, полиизобутилен, полистирол, полиакрилаты, а поликонденсацией - фенолформальдегидные, эпoxidные, полиэфирные и другие полимеры.

Материалы, получаемые на основе полимеров или полимерных композитов, называются **пластмассами**. Основным компонентом пластмасс являются полимеры, от типа и качества которых зависят физические, механические и технологические свойства пластмасс. Полимер в них является основным и обязательным компонентом, выполняя роль связующего вещества аналогично цементу в бетоне. В зависимости от содержания полимера и его структуры пластмассы подразделяются на **ненаполненные**, - т. е. микроскопически однородные, состоящие из полимера и специальных добавок, и **наполненные** - т. е. неоднородные, состоящие из полимера и наполнителей, распределенных в полимере и скрепленных им.

Помимо наполнителей в состав пластмасс могут входить пластификаторы, стабилизаторы, красители, газо- и пенообразователи, растворители, отвердители и другие вещества.

Примерами ненаполненных пластмасс являются органическое стекло, 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 – 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 др.

К полимерным материалам для устройства полов относятся линолеумы (без основы, одно- и двухслойные, 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.

Задания

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 в г вычисляют по формуле

$$M = m \cdot 100, \quad (15.1)$$

где m – масса образца, г;
100 – количество образцов в 1 м^2 .

Приборы и материалы

1. Весы лабораторные с наибольшим пределом взвешивания до 500 г.
2. 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 м^2 площади полимерных материалов для полов проводят на образцах квадратной формы с размерами сторон (100 ± 1) мм, вырезанных из отобранного для испытаний материала. Образцы помещают на чашку весов и взвешивают.

Результаты испытаний

Массу 1 м^2 площади материала вычисляют по формуле (15.1). Результаты испытаний записывают в табл. 15.1. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение 3-х параллельных испытаний одного вида материала для полов.

Т а б л и ц а 15.1

Результаты определения 1 м^2 площади материалов для полов

№ пп	Наименование материала	Образцы	Масса образца, г	Масса 1 м^2	
				частное	среднее
1	2	3	4	5	6
1	Линолеум однослойный	1			
		2			
		3			
2	Линолеум многослойный	1			
		2			
		3			

1	2	3	4	5	6
3	Линолеум на теплоизоляционной основе	1 2 3			
4	Ворсонит	1 2 3			

Заключение

Сравнить между собой массу 1 м^2 испытанных материалов, 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, поставляемых в бухтах, определяют на 3-х образцах длиной 150 мм. Образцы огибают накатыванием вокруг цилиндра диаметром 30 мм (для мягких) и 60 мм (для жестких) погонажных 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. 15.2.

Т а б л и ц а 15.2

№ пп	Наименование материала	Диаметр цилиндра, мм	Время испытаний, с	Результаты осмотра образцов
1	Поливинилхлоридная плитка			
2	Профиль погонажный ПВХ мягкий			
3	То же полужесткий			

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

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 нагрузке в 10 Н. По окончании испытания держатель с образцом вынимают из патрона машины, очищают от пыли и взвешивают.

Истираемость линолеума по уменьшению толщины в мкм вычисляют по формуле

$$\Delta h = \frac{m_1 - m_2}{\rho \cdot S} \cdot K \cdot 10^4, \quad (15.2)$$

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 в см² равна площади образца и рассчитывается по формуле

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (15.3)$$

где D – диаметр образца, см.

Далее рассчитывают коэффициент износа линолеума, характеризующий его износостойкость:

$$Z = \frac{\Delta h}{h}, \quad (15.4)$$

где h – толщина до испытания на истираемость, мкм.

За результат испытания принимают среднее арифметическое трех параллельных определений.

Результаты испытаний

Исходные данные и результаты обработки выполненных испытаний по определению истираемости заносят в табл. 15.3.

Т а б л и ц а 15.3

Истираемость полимерных материалов для полов

Показатели	Единицы измерения	Наименование материалов		
		3	4	5
1	2	3	4	5
Масса образца: до испытания после испытания	г г			
Средняя плотность материала	г/см ³			
Площадь образца	см ²			
Толщина материала	мм			
Истираемость	мкм			
Коэффициент износа линолеума				
Требования по ГОСТ по истираемости				

Заключение

Сравнить опытные данные по истираемости с требованиями ГОСТ. Сделать выводы.

Задание 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАТИВНОСТИ ПРИ ВДАВЛИВАНИИ И ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Деформативность рулонных и плиточных материалов для полов, профилей пластмассовых для оконных и дверных блоков, 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 20х20 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. Затем шарик индентора передают усилие в 10 Н. По истечении 60 с фиксируют новое положение стрелки индикатора n_1 . После этого нагрузку 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 в мм при вдавливании вычисляют по формуле

$$h_a = (n_1 - n_0), \quad (15.5)$$

где n_0 – отсчет по индикатору до нагружения;

n_1 – отсчет по индикатору после нагружения.

Восстанавливаемость в % определяют по формуле

$$E = \frac{n_1 - n_2}{h_a} \cdot 100, \quad (15.6)$$

где n_1 – отсчет по индикатору после нагружения;

n_2 – отсчет по индикатору после снятия нагрузки;

h_a – абсолютная деформация, мм.

За результаты испытаний принимают среднее арифметическое значение 3-х параллельных определений показателей.

Результаты испытаний

Результаты испытаний и вычислений абсолютных деформаций при вдавливании и восстанавливаемости деформаций заносят в табл. 15.4.

Результаты определения абсолютных и восстановленных деформаций

Показатели	Единица измерения	Наименование материала		
Отсчет по индикатору: до приложения нагрузки p_0 после приложения нагрузки p_1 после снятия нагрузки p_2	мм мм мм			
Абсолютная деформация при вдавливании h_a : полученная нормируемая	мм мм			
Восстанавливаемость E : полученная нормируемая	% %			

Заключение

Сравнить полученные значения абсолютной деформации при вдавливании и восстанавливаемости с требованиями нормативных документов. Сделать выводы.

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 (ГОСТ 11262).

Значения прочности при растяжении в МПа вычисляют по формуле

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0}, \quad (15.7)$$

где F_{pm} – максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;
 A_0 – начальное поперечное сечение образца, мм².

Прочность при разрыве в МПа вычисляют по формуле

$$\sigma_{pp} = \frac{F_{pp}}{A_0}, \quad (15.8)$$

где F_{pp} – нагрузка, при которой образец разрушился, Н.

Относительное удлинение при разрыве

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} \cdot 100, \quad (15.9)$$

где Δl_p – изменение расчетной длины образца в момент разрыва, мм;

l_0 – начальная расчетная длина образца, мм.

Приборы и материалы

1. Машина испытательная на растяжение.
2. Штангенциркуль.
3. Линейка.
4. Образцы (тип 2) из ПВХ для изготовления оконных и дверных блоков.

Методика испытаний

Для проведения испытания готовят пять образцов, форма и размеры которых указаны на рис. 15.1 и в табл. 15.5.

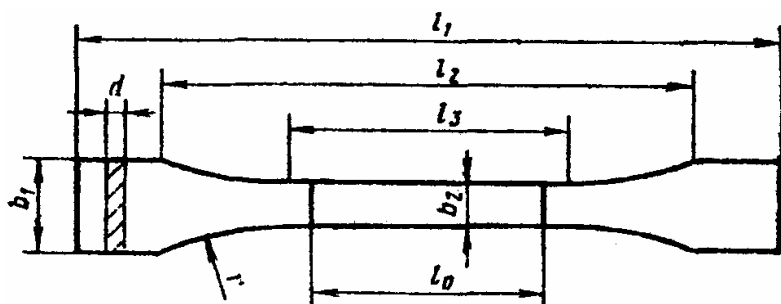


Рис. 15.1. Форма и размеры образцов из ПВХ для испытания на растяжение

Т а б л и ц а 15.5

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	115 ± 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

Испытания проводят в следующей последовательности. В соответствии с рис. 15.1 и 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 величин, по которому устанавливают поперечное сечение образца A_0 . Образцы закрепляют в зажимах испытательной машины таким образом, чтобы продольные оси захватов и ось образца совпадали между собой, а также с 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 (15.7)...(15.9).

Результаты испытаний

Результаты выполненных испытаний по определению предела прочности при растяжении, прочности и относительного удлинения при разрыве заносят в табл. 15.6.

Т а б л и ц а 15.6

Результаты испытаний при растяжении ПВХ

Определения	Значения показателей							
	частные					среднее		
	1	2	3	4	5	опытное	требуемое	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Начальное поперечное сечение образца, мм Нагрузка: максимальная 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 СТБ. Сделать выводы.

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?
13. Какие компоненты в пластмассах влияют на величину относительного удлинения при разрыве?

Л и т е р а т у р а

1. М и к у л ь с к и й В.Г., Г о р ч а к о в Г.И., К о з л о в В.В. и др. Строительные материалы. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1996. – 488 с.
2. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
3. ГОСТ 11529-86. Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля.
4. ГОСТ 15139-69. Пластмассы. Метод определения плотности.
5. ГОСТ 16475-81. Плитки поливинилхлоридные для полов. Технические условия.

Лабораторная работа № 16

ИСПЫТАНИЕ НЕФТЯНОГО БИТУМА

Цель работы

1. Ознакомиться с методикой определения основных показателей качества битума.
2. Приобрести необходимые навыки при испытании важнейших битумных материалов.

16.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие органические вяжущие вещества Вы знаете?
2. Основные свойства органических вяжущих.
3. Положительные свойства битумов.
4. Отрицательные свойства битумов.
5. Какие имеются способы улучшения качества битума?
6. Какое влияние на свойства битума оказывают смолы, масла, парафины?
7. Какие свойства битума используют при получении на его основе кровельных и гидроизоляционных материалов?
8. Какие свойства битумов используют при получении на их основе лакокрасочных составов?
9. Способы повышения прочности и термостойкости битумов.
10. Какие материалы и изделия получают на основе битумов? Их применение в строительстве.

16.2. 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.

16.3. 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:

- 1) гидрофобность;
- 2) атмосферостойкость;
- 3) растворимость в органических растворителях;
- 4) аморфность строения;
- 5) повышенная деформативность;
- 6) способность размягчаться при нагревании до 80...170°C вплоть до полного плавления и объединения с каменными или другими строительными материалами;
- 7) способность вновь затвердевать при понижении температуры до 20...25°C и ниже или испарении растворителя;
- 8) адгезия (прилипание) к поверхности каменных, деревянных и металлических материалов, зависящая от природы материала и содержания поверхностно-активных полярных компонентов; характеризуется прочностью сцепления при отрыве одного минерала 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 и древесными дегтями.

Наиболее широкое применение в строительстве получили каменноугольные дегти, обладающие более высокими строительными свойствами, чем другие дегти.

Дегтевые материалы применяют ограниченно, так как большинство из них служат сырьем для получения различных 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», становятся хрупкими и малопрочными, обладают неприятным запахом и выде-

ляют вредные для здоровья вещества.

Битумные вяжущие материалы, получаемые при переработке нефти, могут быть как природными, так и искусственными.

Природные битумы (твердые и вязкие) образовались из нефти в верхних слоях земной коры в результате испарения летучих фракций, под влиянием окислительных процессов и полимеризации. Природные битумы иногда встречаются в виде залежей, состоящих почти из чистого битума с небольшим количеством минеральных примесей, но чаще содержатся в осадочных горных породах – песках, песчаниках, карбонатных породах (известняках, доломитах), глинистых грунтах. Такие породы называются *асфальтовыми*, или *битуминозными*.

Природные битумы отличаются высокой атмосферостойкостью и хорошим прилипанием к поверхности каменных материалов, но из-за дефицитности и высокой стоимости в строительстве применяются ограниченно. Их используют, главным образом, в химической и лакокрасочной промышленности.

Нефтяные битумы получают из нефти путем обработки остатков, образующихся при ее фракционной перегонке. В зависимости от способа производства различают остаточные, окисленные и крекинговые нефтяные битумы.

Битумы – сложная смесь высокомолекулярных углеводородов и их неметаллических производных (соединений углеродов с кислородом, серой, азотом). Элементарный химический состав всех битумов достаточно близок. В них – 70...87 % углерода (С), до 15 % водорода (Н), до 10 % кислорода (О), 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. Такими группами являются:

- 1) твердая часть;
- 2) смолы;
- 3) масла.

Твердая часть битума – это высокомолекулярные углеводороды и их производные с молекулярной массой 1000...5000, плотностью 1, объединенные под общим названием *«асфальтены»*. В ас-

фальтенах содержатся:

- 1) *карбены*, растворимые в CCl_4 ;
- 2) *карбоиды*, не растворимые 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. Придают битумам вязущие 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.

Асфальтены – твердые неплавкие соединения с плотностью более единицы ($\rho > 1$) и молекулярной массой 1000...5000 и более. Некоторые из них растворимы в маслянистых и смолистых фракциях, другие (карбены и карбоиды, содержащие свободный углерод) нерастворимы. Асфальтены придают битуму твердость и теплоустойчивость. При длительном его нагревании в присутствии воздуха масла и смолы переходят в асфальтены. Чрезмерно большое количество асфальтенов в битуме может образоваться также под действием солнечной радиации, что вызывает постепенное разрушение (старение) битума.

Асфальтогенные 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.

Битумы характеризуются 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 битумы 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 большинства агрессивных газов;

обладают аморфным строением; их пористость практически равна нулю.

Недостатки битума – горючесть и малый интервал температур, в котором они находятся в виде твердого, но не хрупкого вещества. При понижении температуры до $-10\dots-20^{\circ}\text{C}$ битумы становятся хрупкими, а при температуре выше $+50\dots60^{\circ}\text{C}$ начинают течь. Чтобы увеличить интервал рабочих температур битума, к нему добавляют резину (сплавляют с ней) синтетический каучук и полимеры.

Битумы применяются для приготовления мастик, лаков и красок.

По назначению нефтяные битумы делятся на: строительные (ГОСТ 6617 ТУ), кровельные (ГОСТ 9548 ТУ) и дорожные (ГОСТ 22245 ТУ), по свойствам – на марки.

Основными свойствами, определяющими качество твердых и полутвердых битумов и деление их на марки, являются: вязкость (твердость), температура размягчения и растяжимость, для жидких битумов – вязкость и фракционный состав (содержание летучих масел).

Насыщение материалов водой отрицательно влияет на многие их свойства: увеличивает теплопроводность, 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, не давать трещин во время эксплуатации, быть легкой, не занимать большого объема. Всем этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют материалы на основе битума и дегтя.

Кровельные и гидроизоляционные материалы на основе битумов делятся на рулонные, листовые и штучные изделия; обмазочные материалы – на мастики, эмульсии и пасты; по виду вяжущих – на битумные, дегтевые, гудрокамовые, 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, металлической фольги, асбестового картона. *Безосновные материалы* получают в виде полотнищ заданной толщины прокаткой на каландрах термомеханически обработанных смесей из органического вяжущего, по-

рошкового 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 с основой – кровельным картоном, пропитанным мягким нефтяным битумом, с обеих сторон покрытый тугоплавким битумом; лицевая поверхность кровельного рубероида имеет различного вида посыпки;

2) рубероид с эластичным покровным слоем (РЭМ-350), модифицированным специальными полимерами или резинобитумным вяжущим; используется в районах с низкой температурой эксплуатации;

3) наплавляемый рубероид с более толстым покровным слоем (0,6...2 мм) с обеих сторон из тугоплавкого битума; при его применении отпадает необходимость в кровельной мастике, так как его наклеивают расплавлением нижнего покровного слоя пламенем горелки;

4) толь кровельный покровный – материал, аналогичный рубероиду, но с кровельным картоном, пропитанным и покрытым не битумом, а каменноугольным дегтем и слоем минеральной посыпки на поверхности.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ (ТВЕРДОСТИ) БИТУМА (ПО ГОСТ 11501)

Вязкость – свойство материала оказывать сопротивление перемещению частиц под воздействием внешних сил. 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 ГОСТ 11501.

Вязкость (точнее, текучесть) у твердых и полутвердых битумов определяется *условным показателем* – глубиной проникания (погружения) иглы в битум (пенетрацией) при определенной нагрузке, температуре и времени погружения. О ней судят по глубине проникания в битум иглы пенетromетра под нагрузкой 1 Н (100 гс) в течение 5 с при температуре 25°С. Вязкость выражают в градусах, причем 1° соответствует глубине проникания иглы 0,1 мм.

Приборы и материалы

1. Пенетрометр с иглой по ГОСТ 1440.
2. 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 мм.
3. Баня водяная вместимостью не менее 10 дм³ (для термостатирования).
4. Термометр ртутный стеклянный по ГОСТ 400 с ценой деления 0,1 °С.
5. Кристаллизатор – стеклянный сосуд по ГОСТ 25336.
6. Секундомер механический.
7. Сито с металлической сеткой № 07.
8. Тoluол, бензин или другой растворитель.

Методика испытаний

Глубину проникания иглы в битум определяют на приборе пенетromетре (рис. 16.1) следующим образом. 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 его была не более чем на 5 мм ниже верхнего края чашки, и выдержи-

вают при температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 60...75 мин. После этого чашку с битумом помещают в ванну с водой, нагретой до 25°C , 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 $+0,5^\circ\text{C}$.

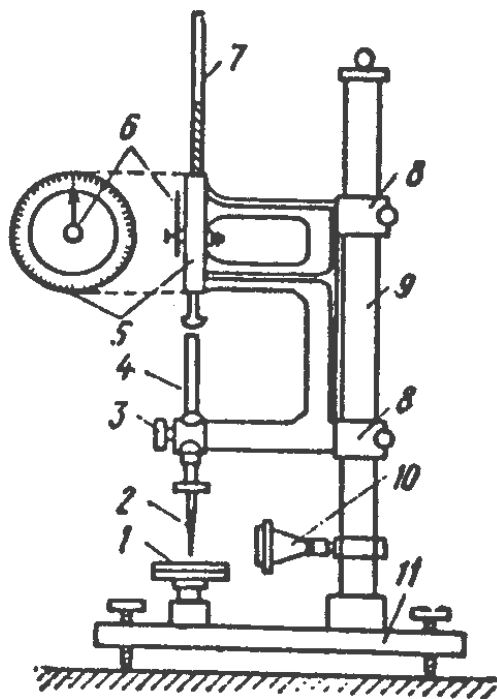


Рис. 16.1. Пенетромтр:

1 – круг со шкалой; 2 – кремальера; 3 – плунжер; 4 – кнопка; 5 – зеркало;
6 – столик; 7 – винт

Через 60...75 мин чашку с битумом помещают в плоскодонный сосуд вместимостью не менее 1 л (кристаллизатор), наполненный водой, имеющей температуру 25°C . Сосуд устанавливают на столик пенетромтра, подводят острые иглы к поверхности битума (при этом игла должна слегка касаться битума, но не входить в него). Кремальеру (контактную рейку) доводят до верхней площадки стержня с иглой, 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, 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.

Результаты испытаний

Результаты измерений заносят в табл. 16.1.

Прибор _____
 Масса стержня с иглой _____ г
 Выдержка битума на воздухе _____ ч
 Выдержка в воде, нагретой до 25°C, _____ ч
 Время погружения иглы _____ с
 Температура воды во время испытания _____ °C

Т а б л и ц а 16.1

Результаты определения вязкости битума

Порядок измерения	Показания стрелки на лимбе (шкале) пенетрометра 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			

Заключение

По твердости (глубине проникания иглы) битум _____ марки _____.

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТЯЖИМОСТИ БИТУМА (ПО ГОСТ 11505)

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, гидроизоляционных покрытий, кровель). Поэтому при прочих равных показателях предпочтение отдается битумам с большей растяжимостью.

При определении растяжимости измеряют предельные деформации битумных образцов – восьмерок, растягиваемых с постоянной скоростью 5 см в минуту при $t = 25^{\circ}\text{C}$ на дуктилометре.

Так же, как вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, их группового состава и структуры. Растяжимость возрастает, как правило, при увеличении содержания смол, а также с повышением температуры.

Растяжимость (дуктильность) битумов определяется согласно ГОСТ 11505-75 на приборе дуктилометре (рис. 16.2), представляющем собой металлический ящик, по всей длине которого проходит червячный винт с насаженными салазками, передвигающимися по винту при помощи электродвигателя. Дуктилометр снабжен шкалой – линейкой, по которой скользит указатель, закрепленный на салазках.

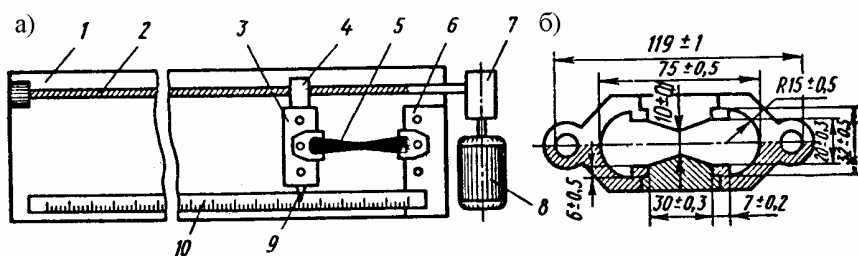


Рис. 16.2. Определение растяжимости битума на дуктилометре с формой:
а – дуктилометр; б – разборная форма; 1 – ящик; 2 – винт; 3 – салазки; 4 – гайка;
5 – образец битума; 6 – неподвижная опора; 7 – редуктор; 8 – электродвигатель;
9 – стрелка; 10 – линейка

Приборы и материалы

1. Дуктилометр.
2. Формы латунные для битума – «восьмерки».
3. Термометр ртутный стеклянный по ГОСТ 400-80 с ценой деления 0,1 °С.
4. Нож для срезания битума с прямым лезвием.
5. Сито с металлической сеткой № 07.
6. Пластинка полированная металлическая или термостойкая стеклянная.
7. Тальк.
8. Глицерин.
9. Спирт этиловый по ГОСТ 18300-87.

Методика испытаний

Битум, подготовленный к испытанию, расплавляют, перемешивают и тонкой струей наливают в сборные формы с небольшим избытком. Перед заливкой внутренние поверхности форм смазывают смесью талька с глицерином (состав 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 его избыток 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: $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$; ее слой 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 его салазках; затем отнимают боковые части формы, включают двигатель прибора и наблюдают за растяжением битума. Скорость растяжения должна быть 5 см в 1 мин. Длину нити битума (в см), отмеченную указателем в момент ее разрыва, принимают за показатель растяжимости битума. Испытание проводят три раза; за окончательный результат принимают среднее арифметическое трех параллельных определений. Расхождения между ними не должны превышать 10 % от среднего арифметического сравниваемых результатов.

Результаты испытаний

Прибор _____
Выдержка битума в воде, нагретой до 25°C, _____ ч
Выдержка форм с битумом на воздухе _____ ч
Температура воды во время опыта _____ °C
Скорость растяжения образца _____ см/мин

Результаты испытаний записывают в табл. 16.2.

Т а б л и ц а 16.2

Результаты определения растяжимости битума

Показатели	Единица измерения	№ образца			Среднее
		1	2	3	
Удлинение образца при разрыве					

Заключение

Сделать выводы по результатам испытаний.

По растяжимости битум _____
марки _____ .

Зарисовать схему опыта.

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ БИТУМА

Температурой размягчения битума условно считают температуру, при которой битум переходит из твердого состояния в пластичное, приобретая подвижность.

Температуру размягчения битума, согласно ГОСТ 11506-73, определяют 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 в течение 30 мин при $t = (25 \pm 10)^\circ\text{C}$ избыток битума среза-

ют нагретым ножом вровень с краями колец. Кольца с битумом устанавливают горизонтально в отверстия на подвеске прибора. Термометр вставляют в среднее отверстие верхнего диска так, чтобы ртутный шарик его был на уровне кольца.

Свойства битумов тесно взаимосвязаны. 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.

Приборы и материалы

1. Аппарат для определения температуры размягчения битума.
2. Пластинка полированная металлическая или термостойкая стеклянная.
3. Баня или стеклянный стакан из термостойкого стекла диаметром не менее 90 мм и высотой не менее 120 мм.
4. Термометр ртутный стеклянный по ГОСТ 400-80 с ценой деления 0,1 °С.
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

Прибор с кольцами ставят в стакан, наполненный холодной водой с температурой 5 °С. Через 10 мин прибор вынимают из стакана, на каждое кольцо в центре поверхности битума кладут стальной шарик диаметром 9,55 мм и массой 3,55 г и помещают прибор в тот же стакан. Стакан с прибором нагревают так, чтобы скорость подъема температуры составляла 5°С/мин. При нагревании битум размягчается, и стальной шарик вместе с битумом проходит сквозь отверстие кольца. Температура, при которой вдавливаемый шариком

битум коснется нижнего контрольного диска прибора, принимают за температуру размягчения.

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают по приведенной ниже форме.

Прибор _____
Выдержка форм с битумом на воздухе _____ мин
Выдержка битума в воде температурой 5°C _____ мин
Скорость подъема температуры _____ °С/мин
Температура размягчения, _____ °С
образец № 1 _____ °С
образец № 2 _____ °С
среднее значение _____ °С

Заключение

Схему опыта зарисовать в лабораторный журнал.

Полученные результаты испытаний битума сравнить с требованиями ГОСТа и сделать вывод о марке битума.

По совокупности требований ГОСТ 11506-73 испытанный битум относится к марке _____

Пригоден для _____

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Какой материал называется 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?
9. Чем обусловлена та или иная вязкость битума?
10. Почему определение вязкости и растяжимости битума необходимо проводить при $t = 25^{\circ}\text{C}$?
11. Как определить растяжимость битума?
12. Как и на каком приборе определяется растяжимость битума?
13. Для каких материалов на основе битумов важен показатель растяжимости?
14. Как определить температуру размягчения битума?
15. Как определить пенетрацию битума?
16. Методика определения температуры размягчения битума. Когда при эксплуатации важен этот показатель?
17. Как и на каком приборе определяется вязкость битума?
18. Методика определения твердости битума. От чего зависит этот показатель?
19. Какие марки строительных битумов Вы знаете?
20. Что обозначают буквы и цифры в марке материала БН 90/10, БНК 45/180?
21. Адгезионные свойства битумов.
22. Какие вещества называются органическими вяжущими и чем они отличаются от неорганических вяжущих веществ?
23. Какими свойствами обладают битумы?
24. Чем отличается битум от дегтя?
25. Из чего и как изготавливают толь?
26. Области применения битумов разных марок.

Л и т е р а т у р а

1. П о п о в К.Н., К а д д о М.Б., К у л ь к о в О.В. Оценка качества строительных материалов: Учеб. пособие. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1999. – 24 с.
2. П о п о в Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. – М.: Высш. школа, 1984. – 165 с.
3. М е л е ш к о М.П. Испытания дорожно-строительных материалов. – Мн., изд-во «Дизайн ПРО», 1999. – С. 112.
4. ГОСТ 6617. Битумы нефтяные строительные. Технические условия.

5. ГОСТ 9548. Битумы нефтяные кровельные. Технические условия.
6. ГОСТ 22245. Битумы нефтяные дорожные. Технические условия.
7. ГОСТ 11501. Битумы нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.
8. ГОСТ 11505. Битумы нефтяные. Метод определения растяжимости.
9. ГОСТ 11505. Битумы нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу и шару.

Лабораторная работа № 17

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы

Ознакомиться с методиками оценки качества воды.

17.1. Вопросы для подготовки к выполнению лабораторной работы

1. Какие примеси могут находиться в воде?
2. Чего не должна содержать вода для бетонов и растворов?
3. Допускается ли применение технических и природных вод, загрязненных стоками?
4. Какая вода может применяться для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки бетона?
5. Допускается ли к применению вода при наличии на ее поверхности следов нефтепродуктов, масел и жиров?
6. Какую роль играет вода при приготовлении бетонной смеси?
7. Какие последствия вызывают вредные примеси в воде, используемой для приготовления бетонов и растворов?

17.2. Задания к лабораторной работе

Задание 1. Определение водородного показателя (рН) и концентрации (активности) ионов водорода.

Задание 2. Определение содержания сульфатов по ГОСТ 4389.

Задание 3. Определение содержания хлоридов (хлорид-иона Cl^{-1}).

17.3. Общие сведения

В природной воде всегда содержатся различные примеси, которые могут быть отнесены к трем группам:

1) вещества, которые, растворяясь в воде, образуют истинные растворы (растворимые в воде соли и газы);

2) различные гуминовые кислоты, кремнекислоты и другие вещества, образующие коллоидные растворы;

3) вещества, находящиеся в форме механических примесей (частицы глины, песка, водорослей, остатки животных организмов и т. д.).

Вода подземных источников – артезианских колодцев, родников – характеризуется прозрачностью, бесцветностью, большим содержанием минеральных солей и жесткостью (т. е. присутствием в ней растворенных солей кальция и магния, вызывающих осаждение твердого осадка (накипи) на стенках теплообменных аппаратов).

Речная вода характеризуется значительным содержанием взвешенных веществ, наличием большого количества органических веществ, малой жесткостью.

Для приготовления бетонных и растворных смесей и поливки твердеющего бетона применяют питьевую воду или природную, не содержащую вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента и способствующих коррозии арматуры.

Для приготовления бетонных и растворных смесей, поливки твердеющего бетона и промывки заполнителей может применяться вода следующих видов:

- 1) питьевая, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 2874;
- 2) вода после промывки оборудования по приготовлению и транспортированию бетонных и растворных смесей;
- 3) поверхностная и грунтовая;

4) техническая, не содержащая вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению цемента.

Согласно СТБ 1114-98 «Вода для бетонов и растворов», не допускается к применению вода при наличии на ее поверхности следов нефтепродуктов, масел и жиров. Окраска воды должна находиться в пределах от бесцветной до желтоватой.

Содержание в воде растворимых солей, сульфат-ионов (SO_4^{-2}), хлорид-ионов (Cl^{-1}) и взвешенных частиц в зависимости от ее назначения не должно превышать величин, указанных в табл. 17.1.

Т а б л и ц а 17.1

Показатели химического состава воды, пригодной для затворения бетонной смеси и поливки наружных поверхностей бетонных конструкций

Показатели качества	Предварительно напряженные железобетонные конструкции	Железобетонные конструкции с ненапряженной арматурой	Бетонные армированные конструкции
Предельное содержание, мг/л:			
растворимых солей	3000	5000	10000
сульфат-ионов (SO_4^{-2})	2000	2000	2000
хлорид-ионов (Cl^{-1})	600	2000	4000
взвешенных частиц	200	200	300
pH не менее	4	4	4

Морскую воду разрешается применять, если общее содержание солей в ней не превышает 2 %, а также в случаях, когда на поверхности бетонных изделий и конструкций допускается появление выцветов (высолов).

Морскую воду нельзя применять для конструкций, предназначенных для эксплуатации в жарком климате и подвергающихся периодическому увлажнению и высыханию, а также для внутренних конструкций зданий.

Пригодность воды для затворения бетонных или растворных смесей устанавливают химическим анализом, а также сравнительными испытаниями на прочность бетонных или растворных образ-

цов в 28-суточном возрасте, изготовленных на данной и на чистой питьевой воде.

Задания

Задание 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ (рН) И КОНЦЕНТРАЦИИ (АКТИВНОСТИ) ИОНОВ ВОДОРОДА

Водородный показатель (рН) – это величина, характеризующая концентрацию (активность) ионов водорода в растворах, численно равная отрицательному десятичному логарифму этой концентрации (активности), выраженной в молях на литр.

Например, при $[H^+] = 10^{-2}$ моль/л $pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-2} = 2$; при $[H^+] = 10^{-11}$ моль/л $pH = 11$.

Таким образом,

при $pH = 7$ среда – нейтральная;

при $pH < 7$ – кислая;

при $pH > 7$ – щелочная.

Водородный показатель рН в природных водах зависит от:

- 1) соотношения количества ионов угольной кислоты HCO_3^{-1} и CO_3^{-2} ;
- 2) гидролиза солей;
- 3) содержания карбоновых кислот в водах, богатых гуминовыми кислотами, сложной смесью органических веществ разного состава, свойств и строения.

Для большинства природных вод рН колеблется в пределах 6,5...8,5. Величина рН определяет агрессивные свойства воды по отношению к бетону и стальной арматуре.

1. Определение приближенного значения рН

Приборы и материалы

1. Универсальный индикатор или индикаторная бумага.
2. Вода в пробирках различных видов:
 - 1) дистиллированная;
 - 2) водопроводная питьевая;
 - 3) сточная;
 - 4) речная;
 - 5) болотная.

Методика испытаний

Приближенное значение рН может быть определено с помощью универсального индикатора или индикаторной бумаги.

В пробирку наливают 5 мл испытуемой нефiltrованной воды, прибавляют 0,3 мл или 3 капли универсального индикатора; жидкости перемешивают встряхиванием и сравнивают цвет раствора с цветами серии пробирок, содержащих буферные растворы с разным значением рН, или со шкалой.

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл.17.2.

Т а б л и ц а 17.2

Результаты определения водородного показателя рН

Вода	рН
Дистиллированная	
Водопроводная	
Сточная	
Речная	
Болотная	

2. Потенциометрический метод определения рН с помощью рН-метра

Приборы и материалы

1. Прибор рН-метр.
2. Стекланные стаканы с пробой воды для испытания и нейтральной водой (дистиллированной).

Методика испытаний

Иногда красящие органические вещества, встречающиеся в природных водах, не только изменяют тон и интенсивность окраски

индикатора и этим уменьшают точность определения, но и поглощают индикатор, делая определение невозможным. В этом случае прибегают к потенциометрическому определению рН, которое выполняется согласно инструкции к рН-метру.

Водородный показатель (рН) определяют с помощью рН-метров любых марок со стеклянными электродами с диапазоном от 0 до 14 рН и погрешностью измерений, не превышающей 0,1 рН. Для определения берут от 10 до 50 мл воды в стеклянном стакане емкостью от 50 до 100 мл.

Результаты испытаний

Результаты испытаний записывают по приведенной ниже форме.

Метод _____

Прибор _____

Результаты определения: рН= _____

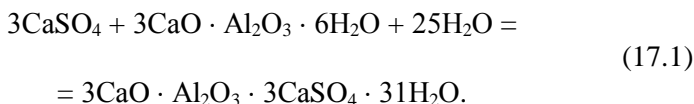
рН нейтральной (дистиллированной) воды _____

рН воды для затворения бетонной смеси и поливки твердеющего бетона должно быть _____

Вывод о пригодности воды по данному показателю для приготовления и поливки бетона _____

Задание 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СУЛЬФАТОВ ПО ГОСТ 4389

Сульфатно-хлоридные минерализованные воды встречаются весьма часто. В зависимости от наличия в них ионов SO_4^{-2} и Cl^{-1} коррозия бетона протекает по-разному. Его разрушение при сульфатной агрессии связано с образованием из гидратированного трехкальциевого алюмината (C_3A) и гипса устойчивого в определенных условиях комплексного соединения – гидросульфоалюмината кальция – по реакции



Это соединение имеет значительно больший объем, чем исходные объемы его компонентов, что приводит к разрушению бетона вследствие возникающих в цементном камне внутренних напряжений.

Содержание сульфат-ионов (SO_4^{-2}) в воде, используемой при изготовлении нижеперечисленных конструкций и растворов, не должно превышать 2000 мг/л:

1) предварительно-напряженных железобетонных конструкций и нагнетаемых растворов;

2) бетонных и железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой;

3) строительных штукатурных растворов и растворов для армированной каменной кладки;

4) бетонных неармированных конструкций и строительных растворов для неармированной каменной кладки.

Для промывки заполнителей и поливки наружных поверхностей бетонных и железобетонных конструкций содержание ионов SO_4^{-2} не должно превышать 2700 мг/л.

Приборы и материалы

1. 10-процентный раствор HCl .

2. 5-процентный раствор BaCl_2 .

3. Электроплитка.

4. Вода в пробирках объемом не менее 500 л:

1) водопроводная;

2) речная;

3) болотная;

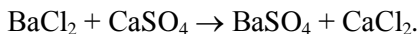
4) сточная.

Методика испытаний

Определение содержания сульфатов основано на осаждении в кислой среде хлористым барием ионов SO_4^{-2} в виде сернокислого бария.

К 5 мл исследуемой воды в пробирке прибавляют 1...2 капли 10-процентного раствора HCl , 3...5 капель 5-процентного раствора хлористого бария ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и нагревают.

В присутствии сульфат-ионов SO_4^{-2} выпадает белый мелкокристаллический осадок или появляется муть:



Примерное содержание ионов SO_4^{-2} определяется согласно табл. 17.3.

Т а б л и ц а 17.3

Примерное содержание SO_4^{-2} ионов

Осадок или муть	Содержание SO_4^{-2} , мг/л
Слабая муть, появляющаяся через несколько минут	1,0...10,0
Слабая муть, появляющаяся сразу	10,0...100,00
Сильная муть	100,0...500,0
Большой осадок, быстро оседающий на дно	> 500,0

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 17.4.

Т а б л и ц а 17.4

Результаты определения содержания SO_4^{-2}

Вода	Содержание SO_4^{-2} , мг/л
Водопроводная	
Речная	
Болотная	
Сточная	

Заключение

Описать реакции при определении содержания сульфатов, сделать вывод: _____

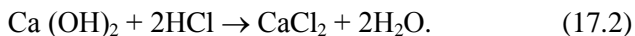
Допустимое содержание ионов SO_4^{-2} в воде для приготовления бетона по СТБ 1114 _____

Вывод о пригодности воды для приготовления и поливки бетона

Задание 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРИДОВ (ХЛОРИД-ИОНА Cl^{-1})

Общекислотная коррозия цементного камня происходит при действии растворов любых кислот, имеющих значение водородного показателя $\text{pH} < 7$. Свободные кислоты встречаются в сточных водах промышленных предприятий, могут проникать в почву и разрушать бетонные фундаменты, коллекторы и другие подземные сооружения. Кислота образуется также из сернистого газа, выходящего из топок. В атмосфере промышленных предприятий, кроме SO_2 , могут содержаться ангидриды других кислот, а также хлор и хлористый водород. При растворении его во влаге, адсорбированной на поверхности железобетонных конструкций, образуется соляная кислота.

Кислота вступает в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция, при этом образуются растворимые соли (например, CaCl_2):



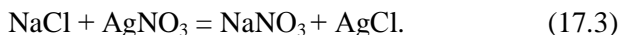
Кроме того, кислоты могут разрушать и силикаты кальция. Бетон на портландцементе защищают от непосредственного действия кислот с помощью защитных слоев из кислотостойких материалов.

Приборы и материалы

1. Колбы конические вместимостью 250 мл.
2. Натрий хлористый (NaCl).
3. Пробирки.
4. Азотная кислота (HNO_3).
5. Вода испытываемая объемом не менее 250 мл.
6. Серебро азотнокислое (AgNO_3).

Методика испытаний

Испытания проводят согласно ГОСТ 4245. Содержащиеся в воде ионы хлора переводят в хлористое серебро, нерастворимое в нейтральной и слабощелочной среде, а также в азотной кислоте (HNO₃):



Для определения наличия ионов Cl⁻¹ к 5 мл исследуемой воды прибавляют 1...2 капли 2 %-ного раствора HNO₃ (азотной кислоты) и 3...5 капель 10 %-ного раствора азотнокислого серебра.

Примерное содержание хлор-ионов определяют по осадку или мути в соответствии с требованиями табл. 17.5.

Т а б л и ц а 17.5

Характеристика осадка или мути в воде

№ пп	Характеристика осадка или мути	Содержание Cl ⁻¹ , мг/л
1	Опалесценция или слабая муть	1...10
2	Сильная муть	10...50
3	Образуются хлопья, осаждающиеся не сразу	50...100
4	Белый объемистый осадок	более 100

Результаты испытаний

Результаты испытаний заносят в табл. 17.6.

Т а б л и ц а 17.6

Определение содержания ионов Cl⁻¹

Вода	Наличие ионов хлора
Водопроводная Речная Болотная Сточная	

Заключение

Написать реакцию определения содержания хлоридов в воде.

Сравнив полученные при испытании результаты с требованиями СТБ 1114, сделать вывод о пригодности воды для приготовления (затворения) бетонных и растворных смесей и поливки бетона:

Пригодна, непригодна (нужное подчеркнуть)

На основании результатов выполненной работы и их анализа дать заключение о преимущественном применении той или иной воды для затворения и поливки бетона.

Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы

1. Может ли применяться речная вода для приготовления бетонных и растворных смесей?
2. Как определить пригодность воды для затворения растворных и бетонных смесей?
3. Какова должна быть величина водородного показателя (рН) для бетонных и железобетонных конструкций?
4. Как приближенно определить значение рН?
5. Какой минерал портландцемента подвержен сульфатной коррозии?
6. Требования к воде для затворения смеси и ухода за бетоном.
7. Как можно определить содержание сульфатов в воде?
8. Какое изменение внешнего вида воды говорит о наличии в ней сульфатов (ионов SO_4^{-2})?
9. Почему соляная кислота (HCl) может разрушить бетон?
10. Как определить содержание хлоридов (хлорид-иона Cl^{-1}) в воде?

Л и т е р а т у р а

1. Д о м о к е е в А.Г. Строительные материалы. – М.: Высш. школа, 1989.
2. СТБ 1114-98. Вода для бетонов и растворов.
3. ГОСТ 2874. Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.
4. ГОСТ 4389. Вода питьевая. Метод определения содержания сульфатов.
5. ГОСТ 4245. Вода питьевая. Метод определения содержания хлоридов.

Тематика НИРС

Тема 1. ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Цель работы – исследовать изменение ударной прочности гипсовых материалов в зависимости от марки гипсового вяжущего, технологии изготовления (литьевая и фильтрпрессовая) и сравнить с данными по природным каменным материалам.

Содержание работы: изготовить образцы по литьевой технологии из гипсового вяжущего марок ГЗ...Г7 нормальной консистенции. Определить ударную прочность на копре Педжа образцов, твердеющих в воздушно-сухих условиях, а также высушенных до постоянной массы, через 2 часа, 1 и 3 суток. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.

Материалы: гипсовое вяжущее марок ГЗ...Г7.

Опытные образцы: цилиндры диаметром и высотой 25 мм (методику испытаний см. в лаб. работе № 1).

Оборудование: копер Педжа.

Тема 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ И МАТЕРИАЛОВ ИЗ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Цель работы – изучить изменение предела прочности при сжатии вдоль волокон древесины и древесностружечной плиты в зависимости от их влажностного состояния.

Содержание работы: изготовить образцы из древесины хвойной и лиственной породы и древесностружечной плиты, поместить в эксикаторы с различной относительной влажностью, определить влажность образцов экспресс-методом, испытать образцы на сжатие, проанализировать полученные результаты.

Материалы: образцы из сосны, березы и древесностружечной плиты.

Образцы: призмы 20х20х30 мм.

Оборудование: эксикаторы, прибор для определения влажности экспресс-методом, гидравлический пресс.

Тема 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ И ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ КИРПИЧА И КАМНЕЙ.

Цель работы – определить зависимость теплозащитных свойств новых видов керамических и силикатных кирпичей и камней от их средней плотности.

Содержание работы: определить среднюю плотность 5...7-ми новых видов керамических и силикатных кирпичей и камней, оценить их теплопроводность в кирпичной кладке (по данным лабораторных и натурных исследований, имеющихся в лаборатории) и рассчитать ориентировочно требуемую толщину наружной стены из этих материалов.

Материалы: кирпич пустотелый (25...40 % пустотности), керамические и силикатные кирпич и камни (методику выполнения работы см. в лаб. работе № 3).

Тема 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ И СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Цель работы – изучить водопоглощение новых видов керамического и силикатного кирпича и камней и сделать прогнозирование их морозостойкости по величине коэффициента насыщения.

Содержание работы: определить структурные свойства (среднюю и истинную плотность), водопоглощение по массе и объему и найти коэффициент насыщения новых видов керамического и силикатного кирпича.

Материалы: новые виды пустотелого кирпича пластического и полусухого изготовления; силикатный пустотелый кирпич и камни (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 3).

Тема 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СРОКОВ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВОГО ТЕСТА И ВОДОСТОЙКОСТЬ ГИПСОВОГО КАМНЯ.

Цель работы – выявить зависимость сроков схватывания гипсового теста от вида и количества введенной добавки.

Содержание работы: определить сроки схватывания гипсового теста, применяя добавки, ускоряющие и замедляющие сроки схватывания.

Материалы: гипсовое вяжущее нормальных сроков твердения и медленнотвердеющее; добавки, ускоряющие и замедляющие сроки схватывания (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 5).

Тема 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОЗДУШНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИЗВЕСТИ, ВЫПУСКАЕМОЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.

Цель работы – выявить зависимость температуры и времени гашения от активности воздушной извести 4...5-ти предприятий РБ, изготавливающих известь.

Содержание работы: определить суммарное содержание активных СаО+MgO в кальциевой извести различных предприятий, выпускающих известь; определить температуру и время ее гашения, проанализировать результаты и сделать выводы (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 6).

Тема 7. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК И УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И ИНТЕНСИВНОСТЬ ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ.

Цель работы – изучить и выявить влияние новых видов добавок пластифицирующего и ускоряющего действия на сроки схватывания цемента и интенсивность твердения бездобавочного цементного камня.

Содержание работы: определить водопотребность, начало и конец схватывания бездобавочного цемента белорусского цементного завода, применяя 2...3 вида современных пластифицирующих и ускоряющих добавок. Изготовить образцы-балочки и определить интенсивность твердения цементного камня неразрушающим резонансным методом (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 7).

Тема 8. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ МЕЛКИХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ИХ СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

Цель работы – выявить закономерности изменения насыпной плотности и пустотности кварцевого и аглопоритового песка при изменении влажности от нуля до 60 %.

Содержание работы: определить насыпную плотность, плотность зерен и межзерновую пустотность двух видов мелких заполнителей – кварцевого и аглопоритового песка при различной влажности: 0, 5, 10, 20, 40, 60 % (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 8).

Тема 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОРИСТЫХ КРУПНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ.

Цель работы – выявить зависимость прочности легкого бетона от прочности крупного пористого заполнителя.

Содержание работы: определить предел прочности в цилиндре керамзитового гравия и аглопоритового щебня фр. 5...10 и 10...20, изготовить легкий бетон марок 200 и 300 по прочности на сжатие, определить их прочность в возрасте 28 суток и проанализировать результаты по прочности бетона в зависимости от прочности заполнителей (методика выполнения работы приведена в лабораторных работах № 9 и № 10).

Тема 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДА КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА.

Цель работы – оценить влияние вида крупного заполнителя на упругие свойства тяжелого бетона.

Содержание работы: изготовить образцы тяжелого бетона на природном гравии и гранитном щебне и пористом крупном заполнителе – керамзите и аглопорите (бетон класса В марки 200). Определить модуль упругости (ультразвуковым методом) и прочность на сжатие. Проанализировать полученные результаты и оценить влияние заполнителя на деформативность (жесткость) конструкций из тяжелого и легкого бетона.

Материалы, опытные образцы, приборы – щебень гранитный и аглопоритовый, гравий природный и керамзитовый; мелкий заполнитель – кварцевый песок; портландцемент марки 400. Подвижность бетонной смеси – 1...2 см осадка стандартного конуса. Образцы-кубы с ребром 100 мм. Прибор ультразвуковой импульсный УК-10М (методика испытаний приведена в лаб. практикуме «Методы испытаний»).

Тема 11. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ И СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Цель работы – установить зависимость коэффициента теплопроводности современных эффективных теплоизоляционных материалов от их пористости и влажности.

Содержание работы: определить среднюю плотность, рассчитать пористость твердых плит из минеральных, стекловатных и пенополистирольных плит, применяемых для утепления наружных стен зданий. Определить коэффициент теплопроводности указанных материалов в сухом состоянии и при влажности 3,5...15% и рассчитать термическое сопротивление наружной стены в зависимости от влажности утеплителя. Проанализировать полученные результаты (методика выполнения работы приведена в лаб. работе № 11).

Тема 12. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА АРМАТУРНОЙ СТАЛИ.

Цель работы – выявить закономерность изменения механических свойств и деформативных характеристик в зависимости от термической обработки стали.

Содержание работы: определить предел текучести, временное сопротивление при растяжении, модуль упругости и относительное удлинение арматурной гладкой стали диаметром 10 мм на контрольных образцах и подвергнутых термической обработке, а также пластическому деформированию. Проанализировать полученные результаты и установить зависимость изменения физико-механических и деформативных свойств от температуры, термической обработки и напряжения пластического деформирования (методика испытаний и опытные образцы приведены в лаб. работе № 14).

Тема 13. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАЗРЫВЕ И МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА.

Цель работы – выявить влияние скорости нагружения и температуры окружающей среды в помещении на прочность при разрыве и модуль упругости поливинилхлорида.

Содержание работы: определить предел прочности при разрыве и модуль упругости при растяжении поливинилхлорида, применяемого для изготовления профилей окон и дверей, при температуре окружающей среды в помещении, равной $(15\pm 2)^\circ\text{C}$; $(25\pm 2)^\circ\text{C}$; $(30\pm 2)^\circ\text{C}$, а также при скорости нагружения, в 2 раза меньшей требуемой при температуре окружающей среды $(25\pm 2)^\circ\text{C}$. Проанализировать полученные результаты и сделать заключение по влиянию температуры окружающей среды и скорости нагружения на прочность при разрыве и модуль упругости поливинилхлорида (материалы, опытные образцы и методика испытаний приведены в лаб. работе № 15, задание № 15).

Задачи

Задача № 1

Рассчитать предел прочности при сжатии цилиндрического образца из природного камня. Размеры образца: высота и диаметр – 100 мм; разрушающее усилие – 780 кН.

Задача № 2

Образец-куб из цементно-песчаного раствора с размером ребра 70,7 мм и массой 720 г после 1000 оборотов круга при испытании на истираемость имеет массу 660 г. Определить истираемость цементно-песчаного раствора.

Задача № 3

Истираемость материала $I = 0,8 \text{ г/см}^2$; площадь истирания $A = 25 \text{ см}^2$; масса образца до истирания – 253 г. Определить массу материала после испытания.

Задача № 4

Образец природного камня в виде цилиндра диаметром $O = 40 \text{ мм}$ и высотой $h = 65 \text{ мм}$ испытывается на удар на лабораторном копре Педжа. Масса падающего груза (бабы) $m = 2 \text{ кг}$. Разру-

шение камня произошло при 9-м ударе бабы. Рассчитать ударную прочность камня.

З а д а ч а № 5

Испытанию на истираемость подвергли образец из известняка площадью 50 см^2 . Масса образца после испытания – 596 г, истираемость – $1,2 \text{ г/см}^2$. Определить массу образца до испытания.

З а д а ч а № 6

Испытанию на истираемость подвергли образец-куб из гранита размером $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$. Какой оказалась величина истираемости I , если масса образца до испытания – 954,5 г, после – 952,0 г.

З а д а ч а № 7

Кубический образец каменного материала с размером ребра $a = 100 \text{ мм}$ имеет в воздушно-сухом состоянии массу $m = 2,2 \text{ кг}$. Определить ориентировочно теплопроводность и наименование материала.

З а д а ч а № 8

Определить среднюю плотность каменного образца неправильной формы, если его масса на воздухе $m_c = 100 \text{ г}$, в воде $m_b = 55 \text{ г}$. До определения массы в воде образец парафинировали. Масса парафинированного образца $m_n = 101,1 \text{ г}$. Плотность парафина $\rho_n = 0,92 \text{ г/см}^3$.

З а д а ч а № 9

Определить коэффициент насыщения пор кирпича размерами $250 \times 120 \times 65 \text{ мм}$ с плотностью вещества (истинной плотностью) $\rho_n = 2,6 \text{ г/см}^3$ и массой в сухом состоянии $m_{\text{сух}} = 3,5 \text{ кг}$, если после его выдерживания в воде масса насыщенного водой кирпича оказалась равной $m_{\text{нас}} = 4 \text{ кг}$.

З а д а ч а № 1 0

Водопоглощение керамического кирпича по массе – 16 %, средняя плотность материала – $1,74 \text{ г/см}^3$, пористость – 35 %. Определить коэффициент водонасыщения и дать заключение о морозостойкости кирпича.

З а д а ч а № 1 1

Рассчитать предел прочности при изгибе одинарного керамического кирпича и определить его марку по этому показателю (СТБ 1160-99), если известно, что при разрушении показание манометра прессы составляло 3 атм, а площадь поршня прессы равна 100 см^2 .

З а д а ч а № 1 2

Определить предел прочности при изгибе кирпича керамического утолщенного. Разрушающее усилие $F = 1730 \text{ Н}$. Для решения задачи использовать СТБ 1160.

З а д а ч а № 1 3

Рассчитать предел прочности при сжатии силикатного кирпича. Разрушающее усилие $F = 195 \text{ кН}$. Для решения задачи использовать СТБ 1228.

З а д а ч а № 1 4

Определить коэффициент насыщения пор керамического кирпича размерами $250 \times 120 \times 88 \text{ мм}$ и массой в сухом состоянии $m_{\text{сух}} = 3,5 \text{ кг}$, если после выдерживания в воде масса кирпича оказалась равной $m_{\text{нас}} = 4 \text{ кг}$. Плотность вещества кирпича (истинная плотность) $\rho = 2,6 \text{ г/см}^3$.

З а д а ч а № 1 5

Какое количество обыкновенного керамического кирпича можно приготовить из $5,0 \text{ кг}$ глины с влажностью $W = 8 \%$, потерями при

прокаливании $\Pi = 10 \%$? Плотность (средняя плотность) полученного из этой глины утолщенного кирпича $\rho_0 = 1600 \text{ кг/м}^3$.

З а д а ч а № 1 6

Гидравлический пресс имеет два диапазона измерения: 50 т (500 кН) и 100 т (1000 кН). Подобрать шкалу для испытания на сжатие бетонных кубических образцов размерами 15x15x15 см. Проектная марка бетона – М 300, $R = 30 \text{ МПа}$ (300 кгс/см^2).

З а д а ч а № 1 7

Подобрать мощность гидравлического пресса, достаточную для испытания на изгиб бетонной балочки квадратным сечением 150x150 мм и пролетом $\ell = 500 \text{ мм}$, опирающейся на две опоры. Испытание производится одним сосредоточенным усилием (F) в середине пролета. Возможная величина предела прочности на растяжение при изгибе $R_{\text{изг}} = 8,0 \text{ МПа}$.

З а д а ч а № 1 8

Гидравлический пресс имеет шкалы на 500, 1500 и 3000 Н (максимальные усилия, развиваемые этим прессом). Подобрать шкалу для испытания на сжатие бетона после 28 суток твердения в образцах-кубах с ребром 150 мм. Проектная марка бетона М400, $R = 40 \text{ МПа}$. Класс бетона $B = R_{\text{сж}} \cdot 0,788 = 40 \cdot 0,788 = 31,52 \text{ МПа}$, что соответствует классу В 30.

З а д а ч а № 1 9

При испытании на сжатие вдоль волокон образца древесины размером 20x20x30 мм разрушающее усилие составляет 15600 Н. Определить предел прочности при сжатии вдоль волокон.

З а д а ч а № 2 0

Определить предел прочности при изгибе древесины. Разрушающее усилие $F = 1420 \text{ Н}$. Размеры образца – стандартные.

З а д а ч а № 2 1

Деревянный образец-брусек сечением 20x20 мм и длиной $\ell = 300$ мм лежит на двух опорах, расстояние между которыми – 2400 мм. По середине бруса приложено усилие 2,5 кН, что привело к излому бруска. Вычислить предел прочности древесины при изгибе.

З а д а ч а № 2 2

Сосновый брусок имеет размеры 25x30x400 мм при влажности $W = 21\%$. Как изменяются размеры бруска после полного высушивания, а затем – увлажнения до предела насыщения? Коэффициент усушки сосны $K_y = 0,44$.

З а д а ч а № 2 3

Рассчитать, какое давление на 1 см^2 основания окажут кирпичные столбы высотой 8 м, если плотность кирпича – $2,6 \text{ г/см}^3$, пористость – 25 %, средняя плотность кладочного раствора – $2,1 \text{ г/см}^3$ (при 10 % его содержания от массы кладки), пустотность кладки – 18 %.

З а д а ч а № 2 4

Определить расход глины (по массе и объему), необходимый для изготовления 1000 шт. одинарного кирпича при следующих данных: средняя плотность кирпича – $1,6 \text{ г/см}^3$, средняя плотность сырой глины в карьере – $1,5 \text{ г/см}^3$, ее влажность – 12 %, потери при прокаливании при обжиге сырца в печи ($P_{\text{пн}}$) – 6 % от массы сухой глины.

З а д а ч а № 2 5

Определить предел прочности материала при сжатии путем раздавливания кубика с размером ребра 10 см на гидравлическом прессе с диаметром поршня 130 мм. Показание манометра при разрушении образца – 230 атм ($1 \text{ атм} = 1,0332 \text{ кгс/см}^2 = 0,1013 \text{ МПа}$).

Задача № 2 6

Определить, какой предельной высоты должна быть подпорная стена одинакового сечения по высоте из бутового камня, если допустимое давление на грунт основания стены – $1,9 \text{ кгс/см}^2$ ($1,863 \text{ МН/м}^2$).

Задача № 2 7

Определить истинную плотность (плотность вещества материала) смеси каменных материалов, состав которой: песчаник с истинной плотностью $2,6 \text{ г/см}^3$ – 60 %, известняк с истинной плотностью $2,80 \text{ г/см}^3$ – 40 %.

Задача № 2 8

Определить водопоглощение по массе камня (в процентах), которое в 2,7 раза меньше водопоглощения по объему, если известно, что коэффициент водонасыщения камня равен 0,65, а его истинная плотность (плотность вещества камня) – $3,1 \text{ г/см}^3$.

Задача № 2 9

Определить абсолютный объем 1 м^3 щебня с насыпной плотностью 1400 кг/м^3 , если щебень содержит 30 % зерен известняка с истинной плотностью $2,80 \text{ г/см}^3$ и 70 % зерен песчаника с истинной плотностью $2,50 \text{ г/см}^3$.

Задача № 3 0

Водонасыщение материала по объему составляет 1,0 %, пористость – 25 %, истинная плотность (плотность вещества) – $3,0 \text{ г/см}^3$. Определить среднюю плотность материала и водонасыщение по массе.

Задача № 3 1

Определить потребный объем бункера для щебня, полученного после дробления 400 м^3 рваного камня. Плотность каменного мате-

риала – $2,6 \text{ т/м}^3$, пустотность рваного камня – 30 %, щебня – 40 %; потери при дроблении – 2 % от массы рваного камня.

З а д а ч а № 3 2

Каменный материал с влажностью 2 % имеет среднюю плотность 1400 кг/м^3 . При насыщении материала водой под давлением его средняя плотность равна 1600 кг/м^3 . Определить открытую пористость материала.

З а д а ч а № 3 3

Масса сухого образца известняка – 80 г, после водопоглощения его масса составила 85 г; истинная плотность известняка – $2,80 \text{ г/см}^3$. Определить водонасыщение по объему, а также пористость, если известно, что водопоглощение по массе известняка меньше, чем по объему, в 2 раза.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Студентам запрещается самовольно включать и выключать гидравлический пресс.

2. При проведении испытаний цилиндр с пробой крупного заполнителя и пуансоном необходимо устанавливать на нижнюю плиту гидравлического пресса строго по центру, чтобы избежать перекоса при сжатии.

3. Перед включением привода насоса гидравлического пресса верхняя плита должна быть подведена вплотную к пуансону. Скорость приложения нагрузки на прессе необходимо регулировать в соответствии с указаниями стандартов. После достижения на прессе требуемой нагрузки или заданного погружения пуансона в цилиндр привод насоса гидравлического пресса следует немедленно отключить, а кран гидравлической системы открыть для снятия нагрузки.

4. При сушке песка надлежит строго соблюдать правила работы с электронагревательными приборами в соответствии с Инструкцией и проводимым в лаборатории инструктажем. Студентам запрещается самовольно включать или выключать электроприборы.

5. При оценке окраски щелочного раствора органическими примесями песка запрещается брать в руки стеклянные цилиндры с пробками, установленные только для обзора.

6. При работе с таким электрооборудованием, как сушильный шкаф, электронный влагомер, следует соблюдать следующие правила техники безопасности: не разрешается самовольно включать и выключать приборы; нельзя оставлять приборы включенными по окончании работы; в случае перерыва в подаче тока приборы должны быть выключены.

7. При проведении испытаний образцов древесины под прессом разрешается работать только с ведома преподавателя и после обучения работе на прессе. Запрещается поднимать поршень выше положенного по инструкции и держать пресс длительное время под нагрузкой.

8. При работе с муфельной печью не разрешается самовольно включать и выключать ее, оставлять включенной после работы; в случае перерыва в подаче тока прибор должен быть выключен.

9. Проводить испытания арматурной стали на испытательной разрывной машине должен только учебно-вспомогательный персонал, имеющий навыки работы и соблюдающий все правила техники безопасности при работе на гидравлических машинах.

10. При работе с прибором ИТ-1 не разрешается самовольно включать и выключать его; нельзя оставлять прибор включенным после окончания измерений, проводить последующие измерения ранее чем через 30...40 мин.

С о д е р ж а н и е

В в е д е н и е.....	3
Лабораторная работа № 1. ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.....	4
Лабораторная работа № 2. ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	28
Лабораторная работа № 3. ДРЕВЕСИНА.....	52
Лабораторная работа № 4. ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО И СИЛИКАТНОГО КИРПИЧЕЙ.....	79
Лабораторная работа № 5. ГИПСОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	109
Лабораторная работа № 6. ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ.....	138
Лабораторная работа № 7. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ.....	153
Лабораторная работа № 8. МЕЛКИЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ.....	175
Лабораторная работа № 9. КРУПНЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ БЕТОНА.....	195
Лабораторная работа № 10. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ.....	217
Лабораторная работа № 11. ИСПЫТАНИЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА.....	245
Лабораторная работа № 12. СТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР.....	266
Лабораторная работа № 13. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	289
Лабораторная работа № 14. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЛЫ.....	303
Лабораторная работа № 15. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	322

Лабораторная работа № 1 6.	
ИСПЫТАНИЕ НЕФТЯНОГО БИТУМА.	337
Лабораторная работа № 1 7.	
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ СМЕСЕЙ.	352
Тематика НИРС.	363
Задачи.	368
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.	374

Учебное издание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Лабораторные работы (практикум)

Составители: ГАЛУЗО Геннадий Сергеевич
ЗМАЧИНСКИЙ Александр Эмильевич
ШИРОКИЙ Геннадий Титович

Редактор Т.А.Палилова
Компьютерная верстка Л.М.Чернышевич

Подписано в печать 15.10.2003.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 23,8. Уч.-изд. л. 17,3. Тираж 500. Заказ 257.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.