

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА  
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы 68-й студенческой  
научно-технической конференции

3 мая 2012 года

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 691.32  
ББК 38.3  
А43

Редакционная коллегия:

- Э. И. Батяновский** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой  
«Технология бетона и строительные материалы»;  
**М. Г. Боргницкая** – старший преподаватель кафедры  
«Технология бетона и строительные материалы»

Рецензенты:

- В. В. Бабицкий** – д-р техн. наук, профессор кафедры  
«Технология бетона и строительные материалы»;  
**Г. Т. Широкий** – канд. техн. наук, доцент кафедры  
«Технология бетона и строительные материалы»;  
**П. И. Юхневский** – канд. хим. наук, доцент кафедры  
«Технология бетона и строительные материалы»

Сборник содержит материалы 68-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы технологии производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов.

Издание предназначено для научно-педагогических работников, студентов, магистрантов и аспирантов.

**ISBN 978-985-550-040-8**

© Белорусский национальный  
технический университет, 2012

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ашуркевич Е.В., Ильина Н.П., Новикова Д.А.</i> ДОМ БУДУЩЕГО.....	4
<i>Бортницкая А.И.</i> ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВ ЦЕМЕНТНО-ПОРИЗОВАННЫХ, АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОСЕТКОЙ, И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	9
<i>Витковский Г.О., Буринский М.С.</i> АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	14
<i>Карнилович Д.В., Пашкевич Е.Н.</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК-УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ НА КИНЕТИКУ РОСТА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА.....	17
<i>Кононович К.В., Литвин К.А.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО БЕТОНА.....	21
<i>Кучук Е.В.</i> АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА.....	24
<i>Кучук Е.В., Мартысевич Д.В.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОМОЛА КОМОВОЙ ИЗВЕСТИ.....	29
<i>Ладных И.А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ЦЕМЕНТАМ РАЗНЫХ СТРАН.....	35
<i>Старостина Я.</i> ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	40
<i>Цывилко И.Ф., Александров Р.С.</i> ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ «ОСТАТОЧНОЙ» МОРОЗОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА ЭЛЕМЕНТОВ БЛАГОУСТРОЙСТВА.....	45
<i>Якимович Г.Д.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ДОЛОМИТА.....	51

## ДОМ БУДУЩЕГО

Ашуркевич Е. В., Ильина Н. П., Новикова Д. А.  
Научный руководитель – Широкий Г. Т., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Одна из наиболее актуальных проблем современности – разумное потребление энергии. А поскольку практически половина потребления энергии приходится на жилые дома и сооружения, то одно из самых очевидных методов сбережения – строительство энергоэффективных и пассивных зданий.

Энергоэффективный или пассивный дом (passive house) – это дом с ничтожно малым потреблением энергии. В идеале он должен быть независимой энергосистемой, вообще не требующей расходов на поддержание комфортной температуры. Концепция «пассивного дома» представляет собой комплексный подход к экономичному, экологически чистому и энергосберегающему строительству зданий различного назначения.

Результатов пока удалось добиться лишь в немногих случаях. Однако пассивные дома, для которых требуется лишь около 10% обычного энергопотребления, уже получили массовое распространение.

К счастью в настоящее время пассивные дома уже рассматриваются как объекты массового строительства.

Местом «рождения» концепции пассивного дома стала Германия. В 1988 году Вольфганг Файст, основатель «Института пассивного дома» в Дармштадте, и профессор Бо Адамсон из Лундского университета (Швеция) предложили интересную схему оборудования пассивного дома. Энергетическая концепция была направлена на снижение расхода энергии в новостройках в 8-10 раз.

Первый пассивный дом был построен в 1991 году в Германии. Хотя попытки создания его были и раньше.

Существует классификация зданий на основе их уровня энергопотребления:

- «Старое здание» предполагает потребление около 300 кВт·ч/м<sup>2</sup>год энергии для отопления дома.
- «Новое здание»: потребление энергии не более 150 кВт·ч/м<sup>2</sup>год.
- «Дом низкого потребления энергии» (с 2002 г. в Европе не разрешено строительство домов более низкого стандарта): не более 60 кВт·ч/м<sup>2</sup>год.
- «Пассивный дом»: не более 15 кВт·ч/м<sup>2</sup>год.

- «Дом нулевой энергии» потребляет только ту энергию, которую сам и вырабатывает: 0 кВт·ч/м<sup>2</sup>год.

- «Дом плюс энергии»: вырабатывает больше, чем сам потребляет.

Строительство энергоэффективного дома возможно везде. Однако важно строгое соблюдение некоторых требований. Различают эти требования как микро- и макроусловия.

### ***1. Микроусловия – технические требования:***

- ***Теплоизоляция.*** Потери тепла через наружные стены и крыши составляют более чем 70% от общих теплопотерь существующих зданий. Кроме теплоизоляционной оболочки необходимо устраивать воздухопроницаемую оболочку. Очень важным является уменьшение тепловых мостов. Тепловые мосты – это участки, заполненные малотеплопроводными материалами, через которые тепловой поток (тепло) выходит из отапливаемого помещения наружу. Если теплопотери через наружные ограждения конструкции не выше принятых, то такая конструкция удовлетворяет критериям «конструирования без тепловых мостов». Благодаря конструированию без тепловых мостов повышается долговечность конструкций, и происходит экономия тепловой энергии на отопление.

- ***Герметичность.*** Через недостаточно герметичные строительные конструкции теплый, влажный воздух может выходить изнутри наружу. Поэтому наружная оболочка здания должна быть по возможности герметичной. Только благодаря герметичности оболочки могут быть предотвращены нарушения и повреждения строительных конструкций, возникающие при направлении теплого воздушного потока с водяными парами изнутри наружу.

- ***Контролируемая вентиляция.*** Задача комфортной вентиляции заключается в регулярном поступлении необходимого количества свежего воздуха в помещение. Лучше всего это осуществлять с помощью контролируемой приточно-вытяжной вентиляции. Применяя современные теплообменники (рекуператоры) можно вернуть от 75 до 95% тепла из вытяжного воздуха. Они обеспечивают также безупречное разделение потоков с удаляемым и свежим воздухом, потребляют очень мало электроэнергии и работают очень тихо. Кроме того, благодаря рекуперации тепла температура приточного воздуха практически поднимается до значения комнатной температуры. Благодаря усиленной теплоизоляционной оболочке здания и прежде всего теплым окнам возможно значительное снижение тепловой нагрузки на отопление и сокращение затрат на монтаж оборудования.

- ***Окна.*** Решающее значение для создания комфорта в помещении имеют окна. При применении качественно утепленных окон комфортные условия устанавливаются сами собой. Такие окна были специально разра-

ботаны для пассивных домов. Их называют также «теплыми окнами». Использование окон стандарта пассивного дома позволяет сократить теплотери более чем на 50%.

## **2. Макро- или внешние условия**

- **Расположение и направление здания.** Южное направление главного фасада пассивного дома обеспечивает наиболее оптимальное активное и пассивное использование солнечной энергии. Основная проблема заключается в сезонном несоответствии между количеством необходимой и поступающей солнечной энергии.

- **Компактность формы сооружения.** Геометрически компактные формы здания имеют самый низкий показатель тепловых потерь, так как большой внутренний объем помещений ограничен минимальной площадью внешней поверхности. Поэтому любые выступающие архитектурные конструкции, например, балконы, террасы, навесы, мансарды и т.п. необходимо, по возможности, избегать, так как они увеличивают ограждающую поверхность здания, при этом, почти не увеличивая внутреннего объема дома.

## **Энергоэффективное строительство в Республике Беларусь**

Как оказывается, сегодня почти 80% всего отечественного жилого фонда отапливают улицу не намного меньше, чем помещение. А энергоэффективное строительство – это возможность экономить до 90% энергии.

Беларусь первой среди стран СНГ развернула строительство энергоэффективных зданий, в которых уровень затрат тепла на отопление в 2,5–3 раза меньше по сравнению с типовыми сериями-

Первый энергоэффективный дом в республике появился в микрорайоне «Красный бор» Минска в 2007г. Его проектировали, сопровождали и курировали специалисты ГП «Институт НИПТИС им. Атаева С.С. В нём был реализован системный подход при разработке и выборе энергосберегающих технологий и решений, разработанный применительно к условиям нашей страны – климатическим, нормативным, к возможностям наших производителей, проектировщиков и строительных организаций. Прототипы дома в Красном бору существуют и строятся в областях: Гродно, Витебске, Гомеле, Новополоцке, Пинске, а также малых городах: Чаусах, Смолевичах, Логойске, Слуцке, Малорите, Орше.

### ***Преимущества энергоэффективных домов:***

- экономичность: не нужно тратить на установку сетей центрального отопления и газа, а затраты электрической энергии на отопление пассивных домов в 7-12 раз меньше, чем в кирпичных домах традиционной постройки.

- энергобезопасность, что связано с отсутствием в пассивных домах сетей газа и теплоцентралей. Нужна только вода и электроэнергия в размере 10 кВт на дом или квартиру.

- энергонезависимость: пассивные дома обладают массивными несущими стенами, плитами пола первого этажа и междуэтажными перекрытиями, что способствует хорошей аккумуляции тепла и децентрализации энергоснабжения.

- экологичность: в зданиях, построенных по данной технологии, применяются современные строительные материалы и конструкции. В пассивных домах циркулирует чистый и тёплый свежий воздух, стены и полы постоянно остаются теплыми.

**Недостатки.** Доводом против строительства пассивного дома часто называют дороговизну. Доктор В. Файст в своей книге объясняет, что первый дом, построенный в Дармштадте, действительно был на 20 % дороже аналогичного здания с примерно такими же параметрами. Но это был лишь первый дом. Те же дома, что строятся сейчас в Германии, Австрии, Франции, Швеции, Финляндии, показывают такие цифры, которые, в некотором роде, настораживают. Например, в Финляндии удорожание дома составило лишь 3 % по отношению к традиционному, и это объясняется наработанными решениями, заводскими и поточными технологиями, созданными установками.

Следующим моментом «против» выступает представление о стоимости здания, привязанное только к циклу проектирования и строительства объекта. Построенный дом передают на баланс ЖКХ или заказчику и забывают о нем. Но ведь здание живет и потребляет многие виды ресурсов: строительные в виде косметического и капитального ремонтов, энергетические ресурсы для функционирования систем.

Негативным моментом конкретно для Беларуси, к сожалению, является отсутствие оборудования отечественного производства, в частности терморегуляторов и регулирующих клапанов, балансировочных вентилей, металлополимерных труб, необходимых для устройства поквартирных систем отопления.

Большие расходы и потери энергоресурсов при постоянном росте цен на них заставляют нас задуматься о строительстве энергоэффективных жилых домов и общественных зданий. Расход энергии в пассивных домах сводится к минимуму за счет использования эффективных теплоизоляционных материалов и альтернативных источников энергии. Пассивный дом отвечает самым высоким требованиям потребителя к комфорту, стандартам экологичности, энергоэффективности.

Таким образом, энергоэффективные и пассивные дома – это дома не просто будущего, но и уже дома настоящего.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал «Архитектура и строительство» № 1 2011 год. Тема номера: «Энергосбережение»
2. Данилевский Л. Н. «Принципы проектирования и инженерное оборудование энергоэффективных жилых зданий».
3. Доклады Международной научно-технической конференции «Пассивный дом – строительные технологии XXI века» (Минск, 8 декабря 2010г.)
4. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома: [перевод с немецкого] / Инго Габриель, Хайнц Ладенер.
5. Энергоэффективность: журнал / учредители: Государственный комитет по энергосбережению и энергетическому надзору Республики Беларусь

## **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИСТОВ ЦЕМЕНТНО-ПОРИЗОВАННЫХ, АРМИРОВАННЫХ СТЕКЛОСЕТКОЙ, И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Бортницкая А.И.

Научные руководители – Галузо Г.С., к.т.н., доцент; Мордич М.М., м.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Строительная отрасль Республики Беларусь в связи с увеличением требований по энергоэффективности ограждающих конструкций и политикой государства в области снижения стоимости строительства испытывает большую потребность в плоских тонколистовых материалах отечественного производства.

Отечественным аналогом такого листового материала является лист цементно-поризованный, армированный стеклосеткой. Листы на 98% состоят из отечественных материалов:

- Цемент ПЦ 500 Д20, производства ОАО «Кричевцементношифер», г. Кричев;
- Сульфат натрия технический, производства ОАО «Химволокно», г. Могилев;
- Гиперпластификатор «Стахемент-2000», производства СООО «Стахема», г. Минск;
- Волокна КНОП, производства ОАО «БелФА», г. Жлобин;
- Стеклосетка, производства ОАО «Стекловолокно», г. Новополоцк.

Единственный не отечественный материал в составе листов – это пенообразователь ПБ-2000, производства ОАО «Ивхимпром», г. Иваново, РФ, что объясняется отсутствием пенообразователей, производимых в РБ.

Исследуемые составы листов приведены в таблице 1.

Основополагающим свойством, учитывающим работу листов цементно-поризованных в ограждающих конструкциях, является прочность на растяжение при изгибе. Прочность на растяжение при изгибе, безусловно, функционально зависит от средней плотности цементной матрицы листов и вида стеклосетки. Результаты испытаний листов цементно-поризованных на прочность на изгиб приведены в таблице 2. Графически зависимость прочности на изгиб от средней плотности представлена на рисунке 1.

Таблица 1 – Составы исследуемых листов цементно-поризованных

Средняя плотность	Расход компонентов, на 1м <sup>3</sup>					
	Вода, л	СН(2%), кг	Стажемент-2000(0,2%), л	Волокна, кг	Цемент, кг	ПБ-2000, л
D700 СН стеклосетка ССП-50	180	12x2,3	1,2	5,0	600	550
D800 СН стеклосетка ССП-50	230	14x2,3	1,4	5,0	700	520
D900 СН стеклосетка ССП-85	275	16x2,3	1,6	5,0	800	440
D1000 СН стеклосетка ССП-85	300	17x2,3	1,7	5,0	850	400
D1100 СН стеклосетка ССП-145	350	19x2,3	1,9	5,0	950	305
D1200 СН стеклосетка ССП-145	400	21x2,3	2,1	5,0	1050	220

Таблица 2 – Прочность на изгиб листов цементно-поризованных

Средняя плотность	$R_{изг.}$ , МПа				
	1	2	3	4	Среднее
D700 СН стеклосетка ССП-50	1,93	1,80	2,00	1,90	<b>1,91</b>
D800 СН стеклосетка ССП-50	2,21	2,38	2,03	-	<b>2,21</b>
D900 СН стеклосетка ССП-85	5,46	6,02	3,98	4,64	<b>5,03</b>
D1000 СН стеклосетка ССП-85	4,71	5,62	5,61	5,41	<b>5,34</b>
D1100 СН стеклосетка ССП-145	7,28	8,09	7,39	8,05	<b>7,70</b>
D1200 СН стеклосетка ССП-145	8,08	8,70	8,40	8,41	<b>8,40</b>

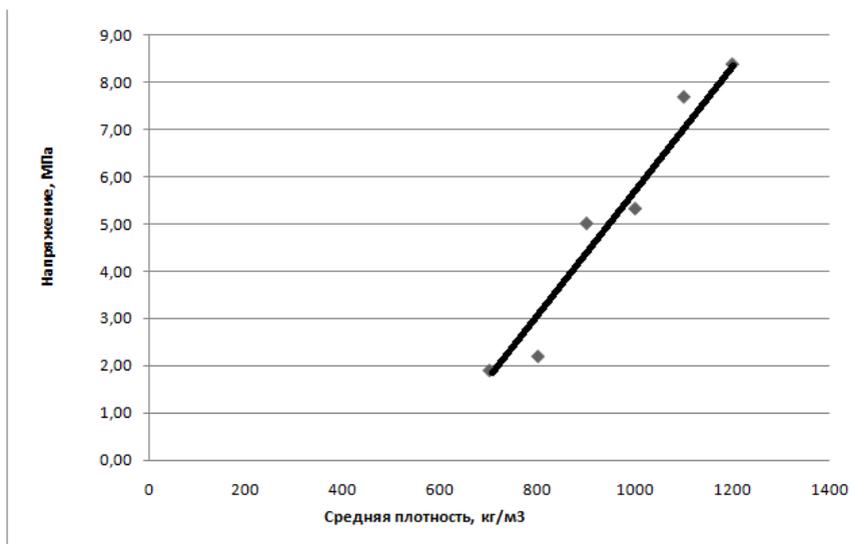


Рисунок 1 – Зависимость прочности на растяжение при изгибе от средней плотности

Анализ зависимости прочности на изгиб от средней плотности позволяет сделать следующие выводы:

1. При увеличении средней плотности на 14,3%, предел прочности при изгибе повышается на 15,7%;
2. Для листов с сеткой ССП-85 при увеличении средней плотности на 22,2% прочность на изгиб повышается на 6,4%;
3. Для листов с сеткой ССП-145 при увеличении средней плотности на 9,1% прочность на изгиб возрастает на 9,1%;

Анализ данных по прочности при изгибе листов цементно-поризованных позволяет сформировать область применения листов с определенной средней плотностью. К примеру, для обшивки санузлов не требуется повышенная прочность при изгибе, как при применении листов в качестве несъемной опалубки, следовательно, и экономический показатель стоимости листов будет ниже с уменьшением средней плотности при использовании более дешевой стеклосетки.

Однако, вне зависимости от средней плотности, листы должны обладать повышенной водостойкостью и пониженным водопоглощением. В связи с этим проведены исследования по определению кинетики водопоглощения листов цементно-поризованных и их сравнение с ЦСП и Аквапанелью (табл.3).

Таблица 3 – Водопоглощение листов цементно-поризованных

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	m <sub>c</sub> , кг	m <sub>п</sub> , кг	V <sub>м</sub> , %	V <sub>о</sub> , %
D700 СН стеклосетка ССП-50	239	468	95,82	67,07
D800 СН стеклосетка ССП-50	267	435	62,92	50,34
D900 СН стеклосетка ССП-85	318	456	43,40	39,06
D1000 СН стеклосетка ССП-85	415	545	31,33	31,33
D1100 СН стеклосетка ССП-145	511	652	27,59	30,35
D1200 СН стеклосетка ССП-145	340	421	23,82	28,59
ЦСП	152	235	54,61	65,53
Aquaranel	351	399	13,68	16,41

Анализ зависимости водопоглощения по массе от средней плотности показывает:

1. Водопоглощение существенно уменьшается с увеличением плотности материала;
2. При увеличении средней плотности с 700 кг/м<sup>3</sup> до 1200 кг/м<sup>3</sup> водопоглощение по массе снизилось в 4 раза;
3. При одинаковой плотности водопоглощение ЦСП в 1,74 раза больше, чем у ЛЦП, но у Aquaranel водопоглощение ниже в 2,29 раза, чем у ЛЦП.

Графическая зависимость водопоглощения по массе от средней плотности представлена на рисунке 2.

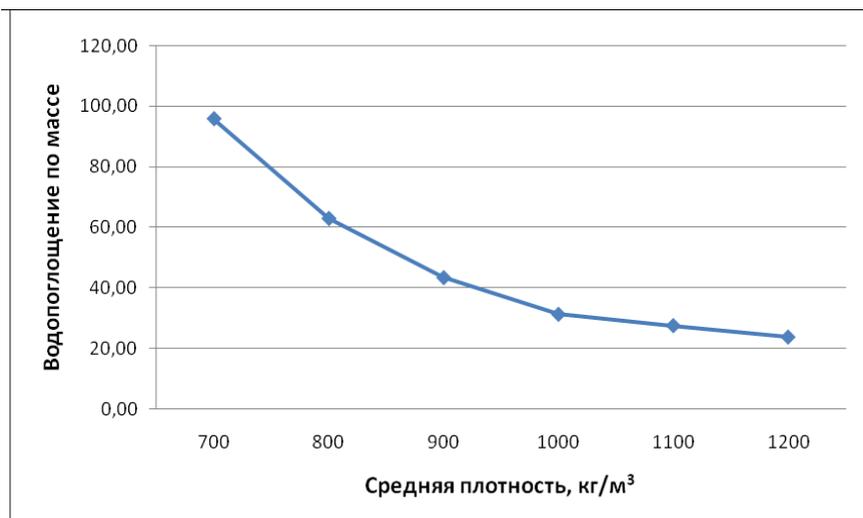


Рисунок 2 – График зависимости водопоглощения по массе от средней плотности

Также важным фактором является стоимость ЛЦП по сравнению с аналогами. Сравнительный анализ стоимости приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение стоимости ЛЦП с аналогами

Название материала	Стоимость, у.е./м <sup>2</sup>
ЛЦП	5,5
Стекломагниевый лист	12,0
ЦСП	12,0
Аквапанель	22,5
Fermacell	23,2

Область применения листов цементно-поризованных достаточно широка и позволяет применять их при:

строительстве быстровозводимых малоэтажных жилых домов;

изготовлении легких, теплоизоляционных панелей при мало- и многоэтажном строительстве;

обшивке стен, эксплуатируемых во влажных условиях (стены ванн, санузлов, бассейнов);

устройстве выравнивающего основания под укладку паркета, керамической плитки, линолеума, паркета;

устройстве сухих стяжек пола;

устройстве облицовок вентилируемых фасадов;

в качестве несъемной опалубки при монолитном устройстве стен, перекрытия, фундамента и т.д.

## АКУСТИКА ПОМЕЩЕНИЙ И АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Витковский Г.О., Буринский М.С.  
Научный руководитель – Широкий Г.Т., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Акустическими принято называть материалы, способные влиять на уровень громкости звука, уменьшать энергию звуковой волны или концентрировать её в нужном направлении. Такие материалы делятся на звукопоглощающие и звукоизолирующие. В большинстве зданий задача звукового благоустройства заключается в том, чтобы обеспечить акустический комфорт, т.е. снизить уровень внешних шумов. Очевидно, что для зданий разного назначения эти задачи существенно различаются. Так для общественных зданий необходимо обеспечить слышимость и разборчивость, в то время как в музыкальных студиях важна естественность и чистота звучания.

Задачи акустики решаются путём конструктивных и планировочных мероприятий, правильным подбором строительных материалов. Особенно это важно для стен, междуэтажных перекрытий и кровли.

Подбор материалов производится по их способности к поглощению или отражению звуковой волны. При этом важную роль в поглощении звука играет содержание воздуха в материале. Способность к звукопоглощению обусловлена пористой структурой материала и наличием большого числа открытых сообщающихся между собой пор, максимальный диаметр которых обычно не превышает 2 мм (общая пористость должна составлять не менее 75% по объёму).

Большая удельная поверхность материалов, создаваемая стенками открытых пор, позволяет преобразовывать энергию звуковых колебаний в результате потерь на трение. Значительное влияние оказывает скорость распространения звука в воздухе, которая приблизительно равна 340 м/с. Для сравнения: в воде — 1450 м/с, в твердых телах, таких как кирпичная кладка — 2000 м/с, бетон — 4000 м/с, металл — свыше 5000 м/с.

Эффективность звукопоглощающих материалов оценивается коэффициентом звукопоглощения. Он равен отношению количества поглощённой энергии к общему количеству падающей на материал энергии звуковых волн.

Распространение звука по твёрдому телу (конструкции) называется ударным шумом, на пути которого намного сложнее установить преграды. Особенно такая проблема актуальна для зданий из сборного железобетона,

имеющего щели, неплотное прилегание одной структуры к другой, а при тонких конструкциях они ещё и способны к изгибным колебаниям. Стоит отметить, что при увеличении массы улучшается и поглощение звука, т.к. такое ограждение труднее переводится в изгибное колебание под действием волнового звукового давления.

По способу использования в конструкциях, акустические материалы делятся на отделочные и прокладочные. Отделочные материалы могут использоваться внутри помещений для различных целей. Среди них: поглощение звука внутри мест с высоким уровнем шума (технические помещения, промышленные цеха), улучшение акустических качеств помещения, повышение слышимости (лекционные аудитории, зрительные залы).

Прокладочные материалы представляют преграду на пути не только у воздушного, но и у материального (механическое воздействие на конструкцию) звука. Используются как прокладки, расположенные в конструкциях стен и междуэтажных перекрытий. Или в качестве промежуточного материала, между источником шума и конструкцией (виброизоляция в виде настила под вибрирующим станком) Чаще всего для достижения наибольшего эффекта прокладочные и отделочные материалы комбинируют, используя многослойные конструкции, в которых сочетаются «жесткие» материалы, способные обеспечить звукоизоляцию и «мягкие», увеличивающие звукопоглощение. Твердые материалы, как гипсоволокно, гипсокартон и кирпич препятствуют проникновению звука, а те звуковые волны, которые они не могут отразить, тонут в «мягких» волокнистых материалах: каменной вате, стекловолокне и др.

Для создания комфортной акустической среды в помещении важно:

- эффективное комбинирование звукопоглощающих и звукоизолирующих материалов с учетом их индивидуальных особенностей и технологии применения;
- учет функционального предназначения отдельных комнат и помещений;
- владение информацией о новых технологиях и материалах, которые появляются на рынке акустической строительной среды.

Примеры наиболее часто используемых акустических материалов:

*ЗвукоИзолирующая Панельная Система (ЗИПС).* Панели представляют собой сэндвичи, состоящие из пазогребневых гипсоволокнистых листов и слоев звукопоглощающего материала из минерального сырья. Отличительной особенностью является отсутствие направляющего каркаса, крепление к стене осуществляется через виброизолирующие узлы.

*Акуфлекс* – рулонный звукоизолирующий волокнистый (обработанное полиэфирное волокно) материал, применяющийся в качестве упругого звукоизолирующего слоя в конструкциях «плавающих» полов в виде прокладки под напольные покрытия: ламинат, паркетную доску, линолеум, а

также под выравнивающей стяжкой с целью снижения уровня ударного шума под плитой перекрытия.

### **Материалы для виброизоляции и вибропоглощения**

*K-Flex ST* – листовой вибродемпфирующий упругоэластичный материал на основе вспененного каучука. Применяется для звуко- и теплоизоляции инженерного оборудования (воздуховодов, трубопроводов инженерных сетей, шумоглушителей, металлических кожухов инженерного оборудования в промышленных, общественных и жилых зданиях).

### **Отделочные акустические материалы**

*Heradesign (Герадизайн)* – акустические плиты из древесного волокна на магнезитовом вяжущем. Очень экологичный и износостойкий материал, имеющий высокие акустические свойства. Был изобретён в 1935 году. Получил распространение в таких местах как: спортивные комплексы, кино-театры, офисы, рестораны, помещения для проведения различных мероприятий.

*Rigitone (Ригитон)* – крупноформатные перфорированные звукопоглощающие листы на гипсовой основе, на тыльную сторону которых наклеено звукопроницаемое нетканое полотно. Листы устанавливаются на закрытые каркасы из потолочных профилей с соответствующими аксессуарами. В систему также входят специальная шпатлевка для швов. Применяется в помещениях с особыми требованиями к акустике: офисные помещения, школы, больницы, гостиницы, переговорные и т.п.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М., Стройиздат, 1986.
2. Ланэ М.Ю. Акустика студий. Обзорная информация ВНИИТР. Вып. 1(11). М., 1986.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК-УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ НА КИНЕТИКУ РОСТА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

Карнилович Д.В. Пашкевич Е.Н.  
Научный руководитель – Гуриненко Н.С., м.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В монолитном строительстве при бетонировании бетонных и железобетонных конструкций в ряде случаев возникает необходимость ускорить рост прочности уложенного бетона с целью сокращения сроков его выдержки перед распалубкой с последующим ускорением строительного процесса. Для этого эффективно использование электролитов – добавок-ускорителей твердения бетона.

Значительный эффект от использования добавок-ускорителей имеет место и в технологии сборного бетона и железобетона. Сокращение сроков схватывания цемента и интенсификация его твердения актуальны как для бетонов нормально-влажностного твердения, так и подвергаемых тепловлажностной обработке, причем не только для бетонов на плотных, но и на пористых заполнителях.

В заводских условиях производства сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций применение добавок-ускорителей твердения позволяет сократить время тепловлажностной обработки, что ускоряет оборачиваемость форм и тепловых агрегатов и существенно снизить энергетические затраты.

Основным критерием эффективности добавок-ускорителей твердения в соответствии с СТБ 1112 является повышение прочности бетона на 20% и более в возрасте 1 суток нормального твердения и на 30% и более в возрасте 2 суток при температуре плюс  $(5\pm 2)$  °С.

Наиболее широко в странах СНГ известна классификация, предложенная Ратиновым – Розенбергом, согласно которой добавки разделяются на четыре класса:

- 1-й – добавки, изменяющие растворимость минеральных вяжущих материалов и не вступающие с ними в химические реакции;
- 2-й – добавки, реагирующие с вяжущими с образованием труднорастворимых или малодиссоциированных комплексных соединений;
- 3-й – добавки – готовые центры кристаллизации («затравки»);

4-й – органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные к адсорбции на поверхности твердой фазы.

В качестве ускорителей твердения бетона рекомендованы к применению в соответствии с ПИ-99 к СНиП 3.09.01 [7] следующие вещества: хлорид кальция (ХК), нитрат кальция (НК), нитрит-нитрат кальция (ННК), нитрат натрия (НН<sub>1</sub>), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК), сульфат натрия (СН), тринатрий фосфат (ТНФ), полиметаллический водный концентрат (ПВК).

Из перечисленных веществ многие (ХК, ННХК, ПВК) содержат ион хлора, агрессивный по отношению к стали. В нормативах стран ЕС, США, Японии и других добавки на основе хлоридов запрещены к применению в железобетоне и в бетоне с «заделанным» металлом.

*Эффект «пептизации» цементных флокул химическими добавками.* Вследствие различных причин (наличие разноименных зарядов на поверхности частиц тонко измельченного цемента, разной дисперсности частиц, сорбции ими паров воды из воздуха, слеживания) размер условного среднего «зерна» цемента выше, чем это есть на самом деле, из-за объединения мелких частиц в агрегаты (флокулы). Заполняющий межзерновое пространство флокул цемента воздух препятствует (особенно на начальной стадии взаимодействия) включению в реакцию с водой значительной части реакционноспособной поверхности вяжущего, что снижает темп роста прочности цементного камня и бетона. Самопроизвольная дезагрегация цементных флокул под воздействием воды развивается благодаря возникновению отталкивающих (расклинивающий эффект) усилий тонких пленок жидкости при смачивании поверхности контактирующих частиц вяжущего. В результате в устье таких «трещин» формируются пленки жидкости, переходящие в монослои из ориентированных молекул воды, возникает усилие взаимного отталкивания одноименно заряженных поверхностей ее пленок («эффект Ребиндера»).

Присутствие в воде затвердения ионов ряда химических веществ, являющимися ускорителями твердения бетона, значительно повышает усилие отталкивания одноименно заряженных пленок жидкости, адсорбированной поверхностью зерен цемента, составляющих флокулу, что проявляется в интенсивности развития процесса их распада и, как следствие, сопровождается вовлечением в реакцию с водой дополнительной поверхности вяжущего, способствует росту плотности и прочности цементного камня (бетона).

*Эффект растворимости и образование новых (дополнительных) фаз.* В водной среде добавки-ускорители твердения образуют истинные растворы, распадаясь на составляющие ионы (например,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}^{++} + \text{SO}_4^{-}$ ). Обладая значительным энергетическим, и, соответственно, адсорбцион-

ным потенциалом ионы вещества добавки способны энергично проникать с молекулами воды в адсорбционные слои жидкости, в зону ее контакта с поверхностью вяжущего. Вследствие значительно большего, чем у молекул воды, собственного энергетического поля их присутствие приводит к росту сил, обеспечивающих растворение (гидратацию) ионов клинкерных минералов и интенсифицирует этот процесс, что может быть наглядно интерпретировано изменениями в схеме взаимодействия цемента с водой, как растворителем.

В свою очередь, повышение темпа растворения клинкерных минералов цемента в присутствии добавок будет способствовать ускоренному протеканию всех дальнейших процессов, приводящих к формированию коагуляционной структуры цементного теста (геля), т.е. к ускорению схватывания, формирования и упрочнения кристаллогидратной структуры, т.е. к ускорению твердения.

*Эффект добавок – готовых центров кристаллизации.* Все большее интерес проявляется к механизму воздействия на гидратирующийся и твердеющий цемент «добавок-затравок», представляющих собой тонкодисперсную твердую фазу, являющуюся подложкой, инициирующей ускорение образования новых фаз в цементном геле, т.е. снижающих энергетический порог начала образования кристаллогидратов. В результате вокруг готовых (привнесенных в виде добавки) центров кристаллизации с меньшими потерями энергии в системе цемент-вода формируются микрорекристаллы силикатов, что способствует ускоренному росту прочности бетона.

*О «механизме» действия ускорителей твердения, как комплексном явлении.* Механизм воздействия химических добавок–ускорителей твердения – на процессы гидратации, схватывания и твердения цемента представляет собой комплекс физико-химических явлений [1-5], в результате которых возрастает темп и сокращается время перехода цементного теста из вязкопластичного в камневидное состояние, повышаются плотность и прочность цементного камня и бетона в целом.

Воззрения авторов этих исследований при попытке аргументировать одно из проявлений этой совокупности возможных воздействий, например: эффект «пептизации» («химического» диспергирования флюкул цемента), или – связывание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с эффектом ускорения растворения  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ , или – реакции с алюминатами и ферритами с образованием сложных солей – соединений при повышении плотности, прочности и стойкости к воздействиям структуры цементного камня и других отдельно взятых вариантов физико-химического воздействия вещества добавки–ускорителя на кинетику взаимодействия твердеющего цемента с водой представляются нам не продуктивными.

Более рациональны представления о влиянии добавок–ускорителей твердения как о комплексном процессе, в котором сочетается множество форм воздействия. При этом преобладающий эффект связан со свойствами химического вещества конкретной добавки, что по существу показано в работах Ратинова – Розенберг [1]. Механизм воздействия химических добавок–ускорителей твердения – на процессы гидратации, схватывания и твердения цемента представляет собой комплекс физико-химических явлений, в результате которых возрастает темп и сокращается время перехода цементного теста из вязко-пластичного в камневидное состояние, повышаются плотность и прочность цементного камня и бетона в целом.

Приведенные экспериментальные данные (рисунок 1) свидетельствуют об эффекте роста прочности цементного камня (бетона) с введением в цементное тесто комплексной добавки-ускорителя (1%Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+0,25% Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> от массы цемента). Работы по исследованию данной химической добавки сейчас ведутся на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ.

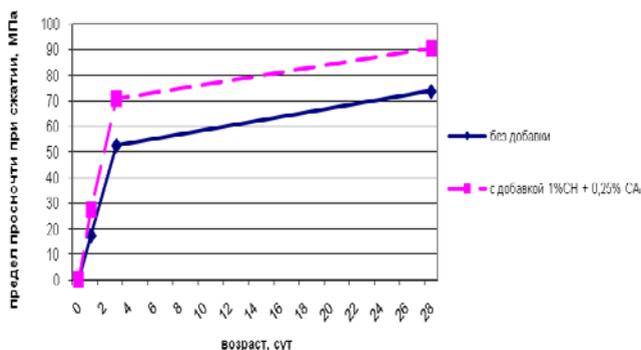


Рисунок 1 – Хранение образцов: 1-е сутки в НВУ, затем в воде

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – Москва: Стройиздат, 1989. – 188 с.
2. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – Москва: Знание, 1958. – 75 с.
3. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – Москва: Стройиздат, 1981. – 464 с.
4. Батяновский, Э.И. О механизме действия добавок-ускорителей твердения бетона / Э.И. Батяновский // Приложение к Вестнику Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – Брест: БГТУ, 2004. – С. 11–15.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВЕТОПРОЗРАЧНОГО БЕТОНА

Кононович К.В., Литвин К.А.

Научный руководитель – Широкий Г.Т., к.т.н.  
Белорусский Национальный Технический Университет  
Минск, Беларусь

История бетона насчитывает не одну тысячу лет. Ни одному зданию не обойтись и сегодня в процессе возведения без применения этой основы современного зодчества! Однако при упоминании слова «бетон» воображение рисует нечто серое, обыденное и малопривлекательное. И тем не менее такой взгляд на вещи достаточно устарел. Сегодня в строительстве активно используется много разновидностей декоративных и других бетонов, в том числе и прозрачный или, как его ещё называют, светопроводящий.

Светопрозрачный бетон – это бетон, пропускающий световые лучи с малой потерей в их интенсивности. Изобрёл такой уникальный материал венгерский архитектор Арон Ласонци в 2001 году, комбинируя фиброоптический материал с обыкновенным бетоном при попытке «осветлить» офисы, испытывающие недостаток освещения.

В настоящее время светопрозрачный бетон получают при внедрении оптических волокон небольшого размера от 2 микрометров до 2 мм в диаметре в мелкозернистый бетон. Ткань оптического волокна смешивают с составляющими бетона и выстраивают послойно. В таком бетоне всего 5% оптоволокна, а их технические характеристики те же, что и у бетона, используемого для их производства. После отвердевания, заготовки (блоки, плиты), изготовленные из светопрозрачного бетона, разрезаются поперёк оптических волокон на тонкие пластины. Технология изготовления зависит от целей проекта и нужд заказчика. "Точки" стекловолокна могут быть небрежно разбросаны по поверхности, а могут располагаться в строгом порядке и даже образовывать контуры изображений. Оптимальная светопроводимость получается при прямоугольном расположении светопроводимого волокна к поверхности плиты. Светопроводимое волокно на поверхности плит должно быть, как минимум, отшлифовано. Обработка светопрозрачного бетона может быть выполнена ручным и машинным способом, аналогично обработке как натурального, так и бетонного строительного камня.

Стекловолоконные нити проводят свет от одной до другой поверхности изделия. Стена из такого бетона, будучи достаточно прочной, прозрачна,

как абжур лампы. При этом можно увидеть даже цвет предмета, находящегося за такой стеной. Теоретически стены могут быть толщиной в несколько метров, так как волокна сохраняют светопроводимость до 20 м.

Светопрзрачный бетон имеет следующие технические характеристики: плотность – 2100-2400 кг/м<sup>3</sup>; прочность на сжатие – 50 МПа и более, на разрыв – 7 МПа; теплопроводность – 2,1 Вт/мК. Выпускается в трех цветовых вариантах: белом, сером и черном. Использование цветной подсветки позволяет многообразно менять цвет подсвеченных блоков.

Блоки и панели из полупрозрачного бетона могут быть разных размеров, моделей, рисунков и готовых к установке. Кирпичная кладка из блоков прозрачного бетона соответствует обычным требованиям к классам огнестойкости в зависимости от места использования, а стены могут быть как несущими, так и самонесущими. Настенные и напольные элементы дополнительно обрабатываются водоотталкивающим пропитывающим составом.

Настенный монтаж осуществляется на фасадных анкерах, установленных на несущих стенах или на подконструкциях. Напольный монтаж осуществляется с выравниванием боковых линий на любой основе. Кладка ведётся при помощи обычного строительного (цементного, известкового) раствора и выглядит как кирпичная кладка. Блоки могут также склеиваться между собой тонкими швами из эпоксидной смолы с наполнителем из кварцевой муки. При интегрировании светопрзрачного бетона с другими материалами могут быть получены теплоизоляционные и другие конструкции.

Применяться светопрзрачный бетон может также в архитектурно-декоративной отделке, для изготовления витрин, стоек, рекламных плит (для внутреннего и наружного применения) и массивных строительных конструкций. Однако слишком высокая цена, которая составляет порядка тысячи долларов за квадратный метр материала, обуславливает сравнительно малое распространение его в современном строительстве. Тем не менее, в Америке его активно применяют для возведения ограждений вокруг правительственных зданий, в Европе - для создания концептуальных и конкурсных архитектурных проектов. Примерами зданий с использованием светопрзрачного бетона являются: центральное здание автомобильного завода BMW в Лейпциге, парковые скамейки в Японии и др.

Светопрзрачный бетон – это не только новейшая инновационная технология в современном строительстве, но и материал для архитекторов и дизайнеров. Все это говорит о том, что научно-технический прогресс в области строительного производства развивается быстрыми темпами, разработки в этой области широко востребованы и вызывают интерес не только ученых, но и дизайнеров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.bbsp.ru/poyavilsya\\_svetoprozra4niy\\_beton.html](http://www.bbsp.ru/poyavilsya_svetoprozra4niy_beton.html)
2. <http://www.stroyport.com.ua/article.html>
3. <http://www.ultradizz.ru/architecture/219-novejshie-stroitelnye-materialy-prozrachnyj-beton/>
4. <http://www.lucem-rus.ru/>
5. <http://www.luccon.com/ru/>
6. <http://www.nanomarket.ru/gds/prozrachnyj-beton/>
7. <http://www.forma.spb.ru/archiblog/2010/08/11/biennale-beton/>
8. <http://www.labiennale.org/en/architecture/exhibition/participants/>

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВА В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

Кучук Е.В.

Научный руководитель – Дзабиева Л.Б., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Производство портландцемента связано с использованием высоких температур для получения требуемого минералогического состава и структуры клинкера. Поскольку структурообразование главного минерала клинкера – алита ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) идёт через расплавление шихты, температура последней обычно достигает 1450–1500°C. Для эффективного протекания химических реакций образования клинкерных минералов технологам необходимо также обеспечить тонкое диспергирование компонентов шихты и её высокую гомогенность, что связано с большими затратами электроэнергии. С учетом многотоннажных сырьевых масс, перерабатываемых в производстве портландцемента, становится понятной та большая доля энергоресурсов, которые используются в этой промышленности.

В среднем при обжиге цементного клинкера на тонну продукции приходится 200,8 кг условного топлива. Безусловно, высокая энергоёмкость производства цемента связана с природными свойствами сырья – высокой естественной влажностью и низкой прочностью, что и предопределило в свое время выбор мокрого способа производства, поскольку он позволяет уменьшить расходы ТЭР на диспергирование сырьевых материалов за счёт адсорбционного снижения твёрдости размалываемых в водной среде материалов.

В настоящее время в Беларуси цемент производится двумя способами: мокрым и сухим. На долю «сухой» технологии приходится около 25%. На 2006 г. мокрый способ требовал на 26 кг условного топлива больше и в 1,73 раза электроэнергии меньше по сравнению с сухим способом. Как следствие, суммарные затраты энергии (топливо + электроэнергия) по мокрому способу были несколько ниже, чем по сухому (на 4 кг условного топлива) однако затраты на единицу продукции не возобновляемого топлива здесь выше на 18 кг условного топлива. [1].

Основным технологическим топливом белорусских цементных заводов является природный газ, резервным – мазут. С ростом цен на газ необходимость решения проблемы топливозамещения на цементных заводах республики становится все более актуальной. Проведенные УП

«НИИСМ» расчеты показали, что при цене на природный газ в 210–230 USD/1 тыс. м<sup>3</sup>, стоимость 1 кг условного топлива при сжигании газа в печах окажется в два раза выше, чем при сжигании твердого топлива. [2].

Всё вышеизложенное подтверждает необходимость экономии топливно-энергетических ресурсов и разработки менее энергоёмких технологий с использованием альтернативного топлива.

Наиболее значительные резервы экономии ТЭР заключаются во вводе новых производственных мощностей (строительство современных заводов с высокопроизводительными печными и сушильнопомольными агрегатами) с постепенным выводом из строя морально и технически устаревших технологий. Важным направлением в экономии электроэнергии и топлива является рациональный подбор дробильно-помольного оборудования для приготовления сырья и помола цемента.

Растущие потребности страны в цементе удовлетворяются использованием резервов действующих мощностей и строительством новых, основанных на использовании современных технических решений и мирового опыта в области производства цемента “сухим” способом, что позволит снизить удельные нормы энергопотребления на 19,2%. [1].

Экономия ТЭР может быть осуществлена не только переходом на “сухой” способ производства, но и путём уменьшения влажности шлама при “мокроем” способе. Практика показывает, что уменьшение влажности шлама на 1% приводит к увеличению производительности печи на 1,5% и сокращает расход топлива на 1-1,5%. Так же опытные исследования и практика эксплуатации печей обжига свидетельствуют, что при снижении влажности исходного сырья на один процент, фактический расход топлива уменьшается на 3%. [3].

В тех технологических операциях, в которых нельзя сократить потребление ТЭР, необходимо предусмотреть максимальное использование вторичных газов. Как, например, во вращающихся печах обжига клинкера. В этом направлении уже ведутся разработки и существуют экспериментальные образцы отечественного производства.

К наиболее значимым мероприятиям по повышению энергоэффективности действующих технологий можно отнести использование газотурбинных установок в производстве цемента. Это касается тех технологических схем, в которых применяются дополнительные источники тепла, кроме отходящих печных газов. Так, на “БЦЗ” использование отходящих газов ГТУ с температурой 400°С на сушку сырья позволило на 90% сократить объем природного газа, расходуемого в выносных топках. Электроэнергия, вырабатываемая генератором ГТУ, практически покрывает нужды завода, а ее себестоимость в два раза ниже цены при потреблении из внешней электросети. Особое внимание уделяется снижению затрат на

технологическое топливо. Эта проблема решается путем использования на действующих и строящихся технологических линиях угля, что позволит сократить, по сравнению с использованием природного газа, затраты на топливо на 30%. В мире сегодня более 80 % цемента производится с использованием угля и топливо содержащих отходов. [4].

Целесообразность использования альтернативных видов топлива зависит от теплотворной способности этого топлива, его запасов, способах и времени доставки, капитальных затрат на модификацию технологической линии, качества выпускаемой продукции при его использовании и т.п. Безусловно, использование альтернативного топлива усложняет традиционную технологию, вносит изменения в контроль производства, связанные с особенностями состава топлива и условиями его сжигания.

Первым вариантом альтернативного топлива в условиях нашей страны является биомасса, однако необходимо, чтобы она стала конкурентоспособной. Имеющийся в республике опыт показывает, что этот вид топлива в большинстве случаев является убыточным либо малоприбыльным.

Известно, что вопрос замещения основного технологического топлива альтернативным в производстве цемента успешно реализуется в ряде промышленно развитых стран. В Беларуси эта проблема находится в стадии развития. Так, уже несколько лет проводится непрерывное сжигание отработанных шин в печи “мокрого” способа (ОАО “Красносельскстройматериалы”) и печи “сухого” способа (ПРУП “БЦЗ”), планируется организация сжигания шин в печи Кричевского цементного завода. [2]. Увеличение объема отработанных шин для сжигания в печах действующих и строящихся технологических линий обжига клинкера будет зависеть от условий их поставки. Важнейшим видом альтернативного топлива для цементного производства в Беларуси, который по перспективным объемам можно рассматривать как основной, является топливо из твердых бытовых отходов (ТБО). Предварительные расчеты показывают, что при организации переработки бытового мусора, образующегося от населения городов республики, в альтернативное из ТБО, им может быть замещено от 30% до 50% основного технологического топлива, расходуемого на обжиг клинкера цементными заводами. Эти процессы в Беларуси уже начались. [2].

Большие перспективы открываются при использовании в качестве технологического топлива его местных видов, особенно торфа. Это позволит значительно сократить долю импортного природного газа, угля и обеспечить развитие торфодобывающей промышленности.

В мировой практике для сжигания в цементных печах используются практически все виды отходов производства и жизнедеятельности человека. Большинство из них характеризуются достаточно высокой теплотворной способностью (таб.). [4].

Таблица – Теплотворная способность различных материалов

Материал	Теплотворная способность	
	кДж/кг	ккал/кг
Резина	28890	6890
Автомобильные шины	41870	9990
Куски кожи	23260	5530
Отходы нефтепродуктов	41870	9990
Полиэтилен	46150	11000
Шинный корд	39084	9330
Лощеная бумага молочных пакетов	35418	8450
Мусор из пылесоса	27289	6510

Объяснением такого многообразия сжигаемых отходов является не только низкая стоимость их использования, но и то, что цементная печь является в настоящее время самым экологически чистым агрегатом по утилизации отходов, в том числе и вредных для человека и окружающей среды.

Топливо из покрышек по теплотворной способности примерно равноценно мазуту и на 25% превосходит уголь. [4]. Компоненты, входящие в состав автопокрышек привносят необходимый оксид железа и используются при образовании клинкера, поэтому этот способ их утилизации считают самым эффективным среди всех существующих

Так как автопокрышки имеют большие габариты и массу, разработаны различные способы их подачи в печь для сжигания.

Результаты различных испытаний показали, что с точки зрения экономии форсуночного топлива и обеспечения экологической чистоты атмосферы оптимальным является замена 10% основного топлива изношенными покрышками. опыты показали, что концентрация вредных веществ в отходящих газах зависит в гораздо большей степени от организации сжигания и теплотехнического режима печи, чем от вида топлива. [4].

Вышеперечисленные факты говорят о том что, сжигание в цементных печах топливосодержащих отходов позволяет существенно уменьшить потребление дорогостоящего топлива (газ, мазут, уголь) и снизить затраты на производство цемента.

Новые технологии сжигания угля, применяемые в западных странах не только более экологичны, но и более энергоэффективны. Его использование снижает общие затраты на ТЭР. В этой связи, увеличение угля в топливном балансе белорусской цементной промышленности при использовании новых методов его сжигания является экономически обоснованным шагом, но здесь имеются как преимущества, так и недостатки. В настоящее время большинство линий переоборудуется под угольное топливо.

При использовании изношенных автомобильных шин в качестве топлива на печи обжига клинкера на БЦЗ в 2009 г. было обеспечено замещение природного газа в количестве 9732 т условного топлива. Предпринимаются также попытки замещения природного газа торфобрикетами при сжигании в топке декарбонизатора печи. Применение торфобрикетов требует использования установки по сжиганию брикетов совместно с газом и дробильной установки для размола торфобрикетов. Данное оборудование уже установлено на БЦЗ и остаётся только подобрать оптимальные режимы работы в составе технологического оборудования обжига клинкера.

Как показывает мировая практика, переработка отходов является проблемой не технической (технологии уже разработаны), а законодательной. Система утилизации отходов работает только при условии, когда расходы на нее оплачиваются тем, кто их производит.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что перевод цементных заводов Республики Беларусь с газообразного топлива на уголь и альтернативные виды топлива (отработанные автомобильные шины, ТБО) целесообразен с экономической и экологической точки зрения.

Создание альтернативной энергетики основанной на возобновляемых источниках энергии, существенно повысит энергетическую безопасность Беларуси и её конкурентоспособность на мировом рынке.

Данная статья посвящается пятидесятилетию кафедры ТБиСМ и памяти основателя кафедры – чл.-корр. АН БССР профессора Иосифа Николаевича Ахвердова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малец В., Подлузский Е. Проблемы энергосбережения в производстве строительных материалов. Архитектура и строительство, № 9, 2007 г., стр. 52-54.
2. Волоткович Д., Туровский Л. Проблемы перевода цементных заводов с природного газа на уголь и альтернативные виды топлива. Архитектура и строительство, № 9, 2007 г., стр. 56-57.
3. Научно-технические проблемы перевода производства строительных материалов на альтернативные виды топлива: Материалы IV ежегодной научно-технической конференции / Минск, 20 октября 2010 г. / редкол.: А.В. Вавилов [научный редактор] [и др.]. – Минск, 2010. – 56 с.
4. ЗАО НИЦ Гипроцемент-наука. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.giprocement.ru>

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОМОЛА КОМОВОЙ ИЗВЕСТИ

Кучук Е.В., Мартысевич Д.В.

Научный руководитель – Гурбо Н.М., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Молотая негашеная известь весьма перспективный продукт строительной отрасли, она имеет существенные преимущества по сравнению с гашеной известью: нет отходов и все компоненты извести рационально используются во время твердения; характеризуется меньшей водопотребностью; удельная поверхность обычно значительно меньше, поэтому требуемую удобоукладываемость растворной или бетонной смеси получают при пониженном количестве воды, это способствует увеличению прочности при твердении. Кроме того, негашеная известь, гидратируясь в уже уложенных в дело растворах и бетонах, связывает большое количество воды, переходящей в твёрдую фазу. Как известно, оксид кальция при переходе в гидрат связывает 32,13% воды. Всё это способствует получению растворов, бетонов и изделий на молотой негашеной извести повышенной плотности и прочности по сравнению с получаемыми на гашеной извести.

При гидратном твердении молотой негашеной извести выделяется значительное количество теплоты, поэтому изделия на такой извести при температурах ниже нуля твердеют более спокойно и имеют лучшие показатели прочности, так как окружающие условия способствуют быстрому отводу теплоты и уменьшению термических напряжений.

Применение негашеной молотой извести требуют соблюдения высокой технологической дисциплины, включающей следующие положения:

- ✓ известь должна храниться до использования не более 10–15 суток;
- ✓ водозатворение должно находиться в пределах 100–150%;
- ✓ величина удельной поверхности после помола должна быть не менее 4500 см<sup>2</sup>/г, чтобы локализовать объёмные изменения при гашении.

Вопросы тонкого измельчения извести, в особенности с добавками различной твердости, разработаны недостаточно. При выборе мельниц и схем для помола негашеной извести следует в первую очередь учитывать степень ее обжига (мягко-, средне- или сильнообожженный продукт), также наличие недожога, пережога и твердых включений, а так же показатели плотности и размалываемости материала и необходимых добавок.

Средне- и сильнообожженную известь предпочтительно измельчать, воздействуя на ее частицы ударом и истиранием, что и происходит в шаровых мельницах. Однако склонность таких частиц к агрегации, причем в тем большей степени, чем мягче обожжена известь, требует, во-первых, коротких мельниц, во-вторых, быстрого выведения тонких фракций из общей массы измельчаемого продукта и, в-третьих, уменьшения агрегации частиц.

В связи с этим в производстве молотой извести применяют обычно шаровые мельницы с отношением диаметра барабана к его длине от 1:1 до 1:2 (последнее для сильнообожженных известей), работающие по замкнутому циклу с одним или двумя сепараторами, а так же трубные многокамерные мельницы с отношением диаметра барабана к его длине от 1:5 до 1:7 работающие по открытому циклу.

Для тонкого измельчения активных мягкообожженных известей без твердых включений (недожог, кварцевые примеси и т. п.) применяют не только шаровые, но и мельницы, работающие по принципу раздавливания материала и трения. Это – валковые, роликовые, бегунковые, маятниковые и другие мельницы. В них давление на материал при измельчении создается с помощью пружин, центробежной силы или веса самих мелющих тел. Пребывание материала в этих мельницах кратковременно, и тонкие фракции его по мере измельчения быстро выносятся потоком воздуха в осадительные циклоны и фильтры. Для таких мельниц характерен пониженный расход электроэнергии на измельчение.

Совместный помол извести с добавками в шаровых мельницах, работающих по замкнутому циклу, эффективен при условии, что известь и добавка близки по показателям плотности и размалываемости. Если они значительно различаются, то более мягкий материал переизмельчается и даже нарушается требуемое соотношение между ними. В этом случае целесообразна организация раздельного помола компонентов с последующим их смешиванием. Возможен также совместный помол в шаровых мельницах, работающих по открытому циклу «на проход».

При необходимости получить известь очень тонкого помола (удельная поверхность 5000—7000 см<sup>2</sup>/г и более) применяют вибрационные мельницы. При этом известь предварительно измельчают до крупки размером не более 2 мм.

Тонкость помола характеризуют обычно по остаткам на ситах № 063 и № 008 и по величине удельной поверхности. Заводы выпускают продукт, характеризующийся остатком на сите № 008 до 2–7%. Это соответствует удельной поверхности в пределах 3500—5000 см<sup>2</sup>/г, определяемой на приборах Гипроцемента, ПСХ-2 и т.п. Мягкообожженные извести имеют, как правило, более высокие показатели удельной поверхности.

Следует отметить, что наличие в молотой негашеной извести даже относительно небольших количеств гидрата окиси кальция (более 3—5 %) уже искажает данные об удельной поверхности, определяемой с помощью указанных приборов.

При грубом помоле извести создаются условия для возникновения местных очагов перегрева материала, кипения воды и разрыхления структуры схватывающихся новообразований, что сопровождается появлением значительных растягивающих напряжений и деформаций, вызывающих снижение прочности, а иногда и разрушение твердеющего раствора или бетона. Поэтому к негашеной извести предъявляются весьма высокие требования по значениям удельной поверхности.

В соответствии с СТБ ЕН 459-1-2007 кальциевая и доломитовая известь по остатку на ситах 009 и 02 по массе должны содержать не более 7% и 2% соответственно, а для гидравлической не более 15% и 5% соответственно.

Для помола извести большое распространение получили шаровые мельницы. Принцип их действия состоит в измельчении материала ударом и частично истиранием свободно падающих мелющих тел во вращающемся барабане. Основной рабочей частью шаровой двухкамерной или многокамерной мельницы является металлический барабан, закрытый с двух сторон днищами с полыми или сплошными цапфами, которые опираются на подшипники. Внутри барабан футерован броневыми плитами из марганцовистой стали. В основном такие мельницы применяются для помола извести по открытому циклу. Барабан мельницы заполняют примерно на 1/3 его объема мелющими телами (чугунными или стальными шарами диаметром 40—130 мм либо стальными цилиндриками) и измельчаемым материалом – известью. При вращении барабана мелющие тела благодаря силе трения, возникающей под действием центробежных сил, поднимаются по стенкам барабана на некоторую высоту. Достигнув высоты, на которой силы веса преодолевают центробежные силы и вызванные ими силы трения, мелющие тела падают вниз и при ударах измельчают загруженную в мельницу известь.

При наиболее выгодной скорости вращения мельницы мелющие тела проходят часть пути прижатыми центробежной силой к футеровке мельницы, а дойдя до некоторой точки, отрываются и каскадом падают вниз, двигаясь под углом к горизонту. В этом случае помол наиболее эффективен, материал измельчается ударом, а при перекачивании шаров также истиранием.

Короткая однокамерная мельница с периферийной разгрузкой применяется для работы по замкнутому циклу. Барабан мельницы образован броневыми решетчатыми секциями, отверстия в которых расширены в направлении прохода молотого материала. Это сделано для того, чтобы

отверстия не забивались частицами извести. Броневые плиты расположены уступами. Барабан заключен в металлический кожух. Известь загружают в барабан через воронку. Барабан укреплен на валу, лежащем на подшипниках и получающем вращение от электродвигателя через редуктор. При вращении барабана известь размалывается мелющими телами — шарами, проходит через отверстия броневых секций и, скользя по стенкам кожуха, попадает в разгрузочную воронку. Чтобы обеспечить тонкий помол материала, мельницы работают в замкнутом цикле с воздушным сепаратором, в котором отделяются тонкие фракции измельченной извести, поступающие в бункер для готовой молотой извести, а крупные фракции возвращаются в мельницу для повторного помола.

Воздушный сепаратор представляет собой два конуса, вставленных один в другой. Известь, вышедшая из мельницы, по трубе поступает на тарелку, расположенную во внутреннем кожухе. Тарелка вращается со скоростью до 375 об/мин. К нижней части тарелки прикреплен ротор вентилятора, вращающийся вместе с тарелкой. Под действием центробежных сил частицы извести сбрасываются с тарелки и отлетают к стенкам кожуха. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, увлекает мелкие, более легкие частицы извести вверх, а крупные, более тяжелые частицы извести падают вниз, в воронку, откуда возвращаются на повторный помол. Мелкие частицы попадают в наружный кожух, где резко меняются направление и скорость воздушного потока; при этом известь осаждается и через коническую часть кожуха направляется в бункер готовой молотой извести. Работу воздушного сепаратора регулируют, изменяя число оборотов вентилятора и угол наклона лопаток. При этом изменяется количество и скорость движения проходящего воздуха, в результате чего соответственно изменяются количество и размеры частиц отбираемой тонкой фракции извести.

Многокамерная трубная мельница применяется для получения наибольшей степени измельчения в одном аппарате при работе по открытому циклу. Для повышения эффективности работы с возможностью измельчения в несколько стадий трубные мельницы выполняют многокамерными. Камеры разделяют между собой решётчатыми перегородками для пропуска материала и заполняют мелющими телами (шарами, цельпесами) уменьшающегося размера соответственно уменьшающейся крупности промышленного продукта. Такое распределение мелющих тел делает процесс измельчения в трубных мельницах более равномерным и менее энергоёмким, чем в шаровых и стержневых мельницах. В мельницах открытого цикла материал проходит через рабочее пространство мельницы только один раз, не классифицируется и крупные частицы не возвращаются в мельницу на домол. Частичная классификация выполняется при про-

ходе материала из одной камеры в другую. Мельницы работают обычно с коэффициентом заполнения шарами (размером 60—30 мм) в 25—30%. Степень же заполнения межшарового объема материалом достигает 45—65%.

Мельницы диаметром 1,8 м и более при измельчении среднеобожженных известей работают обычно при числе оборотов около 0,7 критического ( $w_{кр} \leq \sqrt{g/R}$ ; где R – радиус вращения мелющего тела), когда проявляется преимущественно истирающее действие шаров на материал. Однако подбор шаров по размерам, степень заполнения мельницы мелющими телами, число оборотов барабана и др. уточняются опытным путем с учетом свойств измельчаемого материала и вида мельницы.

Большое влияние на работу помольной установки оказывает также вентиляция барабана, назначение которой отводить образующееся в процессе помола тепло, предотвращать выход пыли из системы и замазывание выходных отверстий. Температура материала при помолу не должна превышать 50—75°C.

Склонность тонких частичек извести к агрегации сильно влияет на производительность мельницы. Она вредна не только потому, что вызывает налипание частичек на мелющие тела, что связано с дополнительными затратами энергии на разрушение агрегатов, но и из-за ухудшения текучести материала. Причины агрегации до сих пор недостаточно выяснены. Но в современном научном мире господствуют, в основном, две теории. Первая гласит, что это следствие взаимодействия частичек под влиянием молекулярных сил. Вторая теория утверждает, что причиной агрегации частичек извести является образование на отдельных точках их поверхности электростатических зарядов вследствие трения во время помола. Практика показала, что уже при вылёживаний извести после обжига на складах в течение нескольких дней способность ее к агрегации при помолу значительно уменьшается. По-видимому, в это время поверхностная энергия наиболее активных участков на внешней и внутренней поверхности частичек извести затрачивается на адсорбцию паров воды, а отчасти и углекислоты из воздуха. Поэтому чем ниже относительная влажность и температура воздуха, тем больше может быть длительность выдерживания извести на складах.

При измельчении извести на возникающих поверхностях также образуются активные участки со свободной поверхностной энергией, способствующей агрегации частичек. В этом случае устранению нежелательных явлений способствует введение в мельницы определенного количества воды в виде смеси ее паров с воздухом или в тонкораспыленном капельножидком состоянии. Способ подачи воды и ее количество зависят от свойств измельчаемой извести, а также от влажности и температуры окру-

жающей среды. При помолe высокоактивных мягкообожженных известей предпочитают вводить воду в мельницы в капельножидком состоянии. Подачу воды нужно точно регулировать во избежание реакции ее с окисью кальция и образования гидрата, который при содержании уже в 3–4% вызывает комкование материала. Воздействовать на активные участки частичек извести со свободной поверхностной энергией целесообразно также с помощью поверхностно-активных гидрофобных добавок, вводимых при помолe.

Адсорбция воды на поверхности частичек и появление токопроводящих растворов гидрата окиси кальция способствуют устранению зарядов возникающих по утверждению второй теории и, следовательно, ликвидируют причину агрегации.

В настоящее время причины агрегации частичек извести точно не выяснены, но не исключено, что она возникает под совместным влиянием описанных выше причин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986.–409с.
2. Сапожников, М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М.Я. Сапожников. – М.: Высшая школа, 1971.–382с.
3. Силенок, С.Г. Механическое оборудование для производства вяжущих строительных материалов / Силенок С.Г., Гризак Ю.С. и др. – М.: Машиностроение, 1969.–389с.
4. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д. Мартынов. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1981. – 324с.
5. Известь строительная: СТБ ЕН 459-1-2007

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К ЦЕМЕНТАМ РАЗНЫХ СТРАН

Ладных И.А.

Научный руководитель – Широкий Г.Т., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Современный цемент был изобретен сравнительно недавно, в 1824 году английский каменщик Д. Аспинд изобрел способ получения цемента, который состоял в обжиге известняка и глины.

В настоящее время в соответствии с ГОСТ 30515 под цементом понимается порошкообразный строительный материал, который обладает гидравлическими свойствами; состоит из клинкера и при необходимости гипса или его производных добавок.

По европейскому стандарту BS EN 197-1:2000 дается следующее определение цемента: цемент представляет собой гидравлическое вяжущее вещество, т.е., неорганический материал тонкого помола, образующий при смешивании с водой пасту, которая схватывается и отвердевает с помощью реакций и процессов гидратации, и которая после отвердевания сохраняет прочность и устойчивость даже под воздействием воды.

В данной работе приводится сравнение ГОСТ 31108-2003 и ГОСТ 30515-97, европейского стандарта BS EN 197-1:2000 и китайских стандартов GB 175-1999 и GB 175-2007 по следующим показателям:

1. Классификация цементов по вещественному составу;
2. Требования к физико-механическим свойствам цементов;
3. Требования к химическим показателям цементов.

### **Классификация цементов по вещественному составу**

Согласно ГОСТ 30515-97 классификация осуществляется по следующим показателям:

1. По назначению цементы подразделяют на:
  - общестроительные;
  - специальные.
2. По виду клинкера цементы подразделяют на основе:
  - портландцементного клинкера;
  - глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера;
  - сульфоалюминатного (-ферритного) клинкера.
3. По вещественному составу цементы подразделяют на типы, характеризующиеся различным видом и содержанием минеральных добавок. Вид

и содержание минеральных добавок регламентируют в нормативных документах на цемент конкретного вида или группу конкретной продукции.

4. По прочности на сжатие цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. В нормативных документах на цементы конкретных видов могут быть установлены дополнительные классы прочности. Для некоторых специальных видов цементов с учетом их назначения классы прочности не устанавливают.

Для цементов конкретных видов, выпускаемых по ранее утвержденным нормативным документам до их пересмотра или отмены, сохраняется подразделение цементов по прочности на сжатие по маркам.

5. По скорости твердения общестроительные цементы подразделяют на:

- нормальнотвердеющие — с нормированием прочности в возрасте 2 (7) и 28 суток;
- быстротвердеющие — с нормированием прочности в возрасте 2 суток, повышенной по сравнению с нормальнотвердеющими, и 28 суток.

6. По срокам схватывания цементы подразделяют на:

- медленносхватывающиеся — с нормируемым сроком начала схватывания более 2 ч;
- нормальносхватывающиеся — с нормируемым сроком начала схватывания от 45 мин до 2 ч;
- быстросхватывающиеся — с нормируемым сроком начала схватывания менее 45 мин.

Согласно ГОСТ 31108-2003 классификация может осуществляться по ГОСТ 30515-97 и по ГОСТ 31108-2003 (последний был гармонизирован с европейскими стандартами).

**Сравнение ГОСТ 31108-2003 и стандарта EN 197-1:2000** позволяет сделать вывод, что белорусский ГОСТ по многим пунктам совпадает с европейским стандартом, но существуют некоторые различия при описании вещественного состава цемента:

1. Согласно ГОСТ 31108-2003 выделяют 12 типов цемента, а в стандарте EN 197-1:2000 – 27 типов.

2. Так как есть существенная разница в количестве типов цемента, то и процентное содержание различных компонентов в европейском стандарте имеет более маленькие интервалы, чем в белорусском.

3. В европейском стандарте один из основных компонентов – пуццолан подразделяют на 2: натуральный и обожженный; зола-унос также может быть двух видов: кремниевая и известняковая. В белорусском стандарте такого деления не производится.

4. При гармонизации белорусского стандарта ГОСТ 31108-2003 с европейским стандартом EN 197-1:2000 было принято следующее сокраще-

ние: Ш – шлак, П – пуццолан, З – зола-унос, Г – глиежем, МК – микрокремнезем, И – известняк, К – композиционный портландцемент.

5. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ II пуццолановый портландцемент выделяют 4 типа цемента: СЕМ II/A-P, СЕМ II/B-P, СЕМ II/A-Q, СЕМ II/B-Q, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ II/A-П.

6. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ II портландцемент с добавкой золы-уноса выделяют 4 типа цемента: СЕМ II/A-V, СЕМ II/B-V, СЕМ II/A-W, СЕМ II/B-W, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ II/A-3.

7. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ II портландцемент с добавлением обожженного сланца выделяют 2 типа цемента: СЕМ II/A-T, СЕМ II/B-T, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ II/A-Г.

8. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ II портландцемент с добавкой известняка выделяют 4 типа цемента: СЕМ II/A-L, СЕМ II/B-L, СЕМ II/A-LL, СЕМ II/B-LL, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ II/A-И.

9. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ II композиционный портландцемент выделяют 2 типа цемента: СЕМ II/A-M, СЕМ II/B-M, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ II/A-К.

10. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ III шлакопортландцемент выделяют 3 типа цемента: СЕМ III/A, СЕМ III/B, СЕМ III/C, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ III/A.

11. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ IV пуццолановый цемент выделяют 2 типа цемента: СЕМ IV/A, СЕМ IV/B, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ IV/A.

12. Процентное содержание основных компонентов пуццоланового цемента в белорусском гармонизированном ГОСТе и в европейском стандарте различны: в ГОСТ 31108-2003 содержание клинкера составляет 65-79 %, в стандарте EN 197-1:2000 в аналогичном типе составляет 65-89 %. Также в ГОСТ 31108-2003 содержание пуццолана, золы-уноса, глиежа (обожженного сланца), микрокремнезема составляет 21-35 %, в стандарте EN 197-1:2000 в аналогичном типе составляет 11-35 %.

13. В европейском стандарте EN 197-1:2000 в категории СЕМ V композиционный цемент выделяют 2 типа цемента: СЕМ V/A, СЕМ V/B, а в гармонизированном белорусском ГОСТе – только один тип ЦЕМ V/A.

14. Процентное содержание основных компонентов композиционного цемента в белорусском гармонизированном ГОСТе и в европейском стан-

дарте различны: в ГОСТ 31108-2003 содержание клинкера составляет 40-78 %, в стандарте EN 197-1:2000 в аналогичном типе составляет 40-64 %. Содержание доменного шлака в ГОСТ 31108-2003 составляет 11-30 %, в стандарте EN 197-1:2000 в аналогичном типе составляет 18-30 %. Также в ГОСТ 31108-2003 содержание пуццолана, золы-уноса составляет 11-30 %, в стандарте EN 197-1:2000 в аналогичном типе составляет 18-30 %.

#### **Соответствие цемента по GB 175-1999 и ГОСТ 31108-2003:**

1. Портландцемент типа Р.П китайского стандарта GB 175-1999 соответствует по ГОСТ 31108-2003 цементу ЦЕМ I.
2. Портландцемент типа Р.0 китайского стандарта GB 175-1999 примерно соответствует по ГОСТ 31108-2003 цементу ЦЕМ II.
3. Портландцемент типа Р.1 китайского стандарта GB 175-1999 имеет соответствия в ГОСТ 31108-2003.
4. Шлакопортландцемент Р.С.А и Р.С.В китайского стандарта GB 175-2007 соответствуют по ГОСТ 31108-2003 цементу ЦЕМ III/A.
5. Композиционный портландцемент Р.С китайского стандарта GB 175-2007 соответствуют по ГОСТ 31108-2003 цементу ЦЕМ V/A.
6. Сравнение процентного содержания основных компонентов в цементе по стандартам GB 175-1999 и GB 175-2007 не представляется возможным, так как в китайском стандарте процентное содержание дается для двух и более компонентов совместно.

#### **Требования к физико-механическим свойствам**

Одной из главных характеристик цемента являются его физико-механические свойства. В этой части ГОСТ и европейский стандарт отличаются только тем, что цемент класса 22,5Н остался в ГОСТ 31108-2003.

При сравнении российского стандарта, действующего на территории Республики Беларусь и китайского стандартов следует отметить, что в китайском стандарте марки прочности выставляются для каждого вида цемента: минимальная марка – 42,5; максимальная – 62,5.

#### **Требования к химическим свойствам**

1. Требования к химическим показателям цемента по ГОСТ 31108-2003 и EN 197-1:2000 не имеют различий.
2. Требования к химическим показателям цемента по ГОСТ 31108-2003 и GB 175-1999, GB 175-2007 различаются: в китайских стандартах требования более жесткие, напр., потери при прокаливании в китайском стандарте – 3 %, в белорусском – 5 %; нерастворимый остаток в китайском стандарте – 0,75 % и менее, в ГОСТе – 5 % и т.д.

Таким образом, в каждой стране разработаны свои стандарты на цемент. Российский ГОСТ и европейские стандарты гармонизированы: ГОСТ 31108-2003 гармонизирован с европейским стандартом BS EN 197-

1:2000. Это способствует осуществлению научно-технического и экономического сотрудничества с европейскими странами.

Между ГОСТ 31108-2003 и китайскими стандартами GB 175-1999, GB 175-2007 существует разница, которая не мешает применить последние стандарты при производстве цемента на белорусском цементном заводе по китайским стандартам.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 30515-97 Цементы. Общие технические условия.
2. ГОСТ 31108-2003 Цементы. Общие технические условия.
3. BS EN 197-1:2000 Цемент. Часть 1: Состав, спецификации и критерии соответствия цементов.
4. GB 175-1999 Цемент.
5. GB 175-2007 Цемент.

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Старостина Я.

Научный руководитель – Красулина Л.В., к.т.н.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

### **Изменение свойств материалов после облучения дозой радиации.**

Вокруг всех источников ионизирующих излучений создается биологическая защита для снижения потоков радиации до уровней, допускаемых санитарными нормами. Потоки излучений, падающие на защиту, на все конструкции и элементы установки, размещаемые в пределах защиты, весьма велики. Хорошей защитой от радиоактивных излучений являются экраны из тяжёлых металлов, в частности свинца и свинцовых материалов.

В результате длительного воздействия (годы, десятки лет) излучений на материалы их свойства меняются, и часто в нежелательном направлении.

В данной научной работе мы сообщим, об изменении интересующих свойств материалов и определим также, от чего зависят изменения свойств материалов при облучении их интегральным потоком или дозой радиации определенного энергетического спектра. Кроме того, мы определим, что же происходит с материалами после их облучения, а именно как происходит изменение размеров, увеличение плотности, увеличение предела прочности и многих других свойств. А также отметим влияние структуры материала на его радиационные деформации.

### **Металлы. Низко - и среднелегированные стали**

Специальные теплоустойчивые и жаропрочные стали используются для изготовления труб пароперегревателей, паропроводов и коллекторов, энергетических установок, работающих при температурах до 620° С.

Широко представлены данные по влиянию облучения на низкоуглеродистые теплоустойчивые и жаропрочные стали (молибденовые, никелевые, марганцевые, хромистые, никельмолибденомарганцевые), которые применяют для изготовления корпусов высокого давления реакторов.

### **Неметаллы**

**Минералы** - естественное сырье, из которого получают все известные конструкционные материалы.

При производстве некоторых материалов (керамика, бетон и др.) минералы используются без нарушения их кристаллической структуры, поэто-

му значительный интерес представляет информация о стабильности их свойств после облучения.

1. Минералы класса силикатов после облучения интегральным потоком нейтронов  $10 \text{ нейтрон/см}^2$  начинают изменять свойства. Степень изменения после облучения зависит от строения кристаллов и содержания  $\text{SiO}_2$ .

2. Минералы класса окислов в результате облучения нейтронами меняют свойства аналогично минералам класса силикатов, однако имеющиеся данные показывают, что при сопоставимых интегральных потоках нейтронов изменения в окислах существенно меньше, чем в силикатах.

3. Большой радиационной стойкостью обладают минералы с симметричной структурой, координационного и каркасного строения, класса окислов.

**Горные породы** – это естественные образования, состоящие обычно из нескольких минералов и обладающие характерными химическим и минералогическим составом, структурой и текстурой. Анализ полученных данных показывает, что в результате облучения интегральными потоками нейтронов все материалы, за исключением хромита, распухают – имеют положительные радиационные деформации.

Полученные данные следует рассматривать применительно к классам главных породообразующих минералов каждой данной породы: силикатам (гранит, базальт, песчаник, шамот), окислам (хромит, гематит) и карбонатам (известняк).

Большинство минералов, определяющих составы горных пород, после облучения изменяют свои свойства, однако эти изменения у разных минералов происходят в разной степени. Наибольшие изменения при облучении происходят с минералами класса силикатов, меньшие — с минералами класса окислов.

Горные породы в своем составе содержат минералы класса силикатов, окислов или карбонатов, поэтому вид и степень радиационных изменений, происходящих при облучении в горных породах, зависят от их минералогического состава.

Горные породы являются поликристаллическими, в ряде случаев полифазными и гетерогенными материалами, что при облучении приводит к анизотропии радиационных изменений по объему материала, поэтому величина радиационных изменений в горных породах в значительной степени зависит от их структуры, текстуры и особенно от степени кристаллизации.

### **Бетоны**

**Бетон** — многокомпонентный поликристаллический и полифазный материал, состоящий из вяжущего крупного и мелкого заполнителя. В качестве вяжущего на практике подавляющее распространение получил портландцемент. Мелким заполнителем служит естественный (речной или гор-

ный) песок, а также песок, получаемый дроблением тех или иных горных пород. Для приготовления крупного заполнителя обычных бетонов применяют магматические (гранит, диорит, габбро, базальт, и др.) и осадочные (известняк, песчаник) горные породы. В защитных бетонах в качестве заполнителя иногда используют метаморфические горные породы (серпентин), металлические руды (гематит, магнетит, хромит), а также искусственные материалы (шамот, карбид бора).

Бетоны на портландцементе и жидком стекле с заполнителями из десяти различных материалов (шамот, песчаник, серпентин, хромит, песок окский, борат кальция, гематит, гранит, кварц) и нескольких технологических составов облучались в экспериментальных каналах реактора БР-5 и АМ. Исследование влияния облучения интегральными потоками нейтронов до  $2 \cdot 10^{21}$  нейтрон/см<sup>2</sup> на бетоны с заполнителями из кварца, гранита, песчаника, серпентина, шамота, гематита и хромита показало, что все они изменяют свои свойства, за исключением раствора на хромите. В результате облучения все бетоны, за исключением хромитовых, увеличили свои линейные размеры. Сопоставление объемных радиационных деформаций заполнителей и выполненных на них бетонов после облучения равными интегральными потоками нейтронов показывает, что величина радиационных деформаций составов находится в сложной зависимости от вида заполнителя, его количества и крупности.

Прочность и деформативность бетонов после облучения изменяются. В результате облучения кристаллы минералов, применяемые в качестве заполнителей, имеют положительные радиационные деформации, которые служат причиной расширения бетонов. Расширение заполнителя приводит к структурным изменениям бетона. При малом количестве заполнителя расширение заполнителя может привести к уплотнению цементного камня и некоторому увеличению прочности состава.

#### **Бетон для защиты от радиации.**

Особо тяжелый бетон для защиты от ионизирующих излучений, включающий серу, модифицирующую добавку, наполнитель и заполнитель, отличается тем, что в качестве наполнителя содержит ферроборовый шлак, в качестве модифицирующей добавки - смесь парафина и сажи в соотношении 1:1 и дополнительно в качестве армирующей добавки асбестовое.

Основным материалом для одновременной защиты от  $\gamma$ - и нейтронного излучения являются особо тяжелые и гидратные бетоны. Поскольку гидраты, задерживающие поток нейтронов, содержатся в цементном камне, то основное назначение тяжелых заполнителей — поглощение  $\gamma$ -лучей.

В качестве заполнителей применяются барит, железные руды, металлолом, магнетит, или магнитный железняк, гематитовые руды.

Лимонит, или бурый железняк, содержит гидроксид железа, т. е. может быть средством защиты как от  $\gamma$  - лучей, так и от нейтронов.

Для получения особо тяжелых бетонов плотностью 5000 ... 7000 кг/м<sup>3</sup> применяют чугун в виде дроби, крошки и скрапа (крупного лома), а также в виде обрезков, отходов от штамповки, дробленой стружки.

Необходимо учитывать воздействие нейтронного излучения на свойства заполнителей. Во-первых, поглощение нейтронов ядрами атомов возможно вторичное  $\gamma$  - излучение. Это особенно характерно для железа. Поэтому железный лом и руды не всегда могут быть использованы. В этом отношении предпочтителен барит, не дающий вторичного  $\gamma$  - излучения. Во-вторых, нейтроны при столкновении с ядрами атомов могут нарушить их равновесное положение в кристаллической решетке.

При выборе заполнителя тяжелого бетона, используемого, например, для радиационной защиты и строительства атомных электростанций, решающее значение имеет вид радиационного излучения. Так, для защиты от  $\gamma$  - излучения следует применять бетон самой высокой плотности. Поэтому в качестве заполнителей используют, прежде всего, барит, магнетит и фосфористое железо. Для защиты от нейтронного излучения, наоборот, больше подходит бетон, содержащий легкие элементы, лучше всего в виде водородсодержащих соединений. В этом случае наиболее приемлемым заполнителем является лимонит. Применение ферроборового шлака, содержащего бор, позволяет значительно повысить прочность и защитные свойства особо тяжелого бетона к нейтронному излучению.

Собственная прочность заполнителей, используемых для тяжелого бетона, должна быть выше прочности на сжатие требуемой от бетона. Они не должны содержать вредных примесей, например органических загрязнений, угля, серы и т.д.

### **Выводы**

1. Цементный камень является радиационностойким материалом, имеющим отрицательные радиационные деформации.
2. Радиационные деформации бетонов зависят от радиационной деформативности заполнителя, его гранулометрии, количества, а также интегрального потока нейтронов.
3. Прочность и деформативность бетонов после облучения зависят от собственных радиационных деформаций, количества, гранулометрии и текстуры заполнителя.
4. В результате облучения температурная деформативность и теплопроводность бетонов снижаются.
5. С ростом интегрального потока нейтронов снижаются температурные напряжения, параллельно с этим растут радиационные деформации материала и, следовательно, зависящие от них напряжения.

6. Уменьшение теплопроводности бетона при облучении приведет к увеличению температуры в защите со стороны источника радиации, что может увеличить отжиг радиационных дефектов.

При проектировании любых приборов, агрегатов и устройств, узлы и элементы которых в процессе эксплуатации подвергаются ионизирующему облучению, необходимо применять материалы, которые при облучении их потоком определенного вида излучения сохраняют физико-технические, теплофизические и диэлектрические свойства в заданных пределах.

Одним из наиболее распространенных материалов для защиты от  $\gamma$ -лучей является свинец. С точки зрения минимального веса защитных экранов выгоднее всего выбирать материал большей плотности с большим атомным весом. Конечно, хорошими материалами, помимо свинца, являются также тяжелые вещества: уран, торий, висмут, вольфрам, золото, платина, ртуть. В тех случаях, когда вес и компактность не играют существенной роли, как например, в стационарных защитных стенках, используются строительные материалы: бетон, кирпич, железобетон, дерево. Для защитных экранов из местных строительных материалов применяют металлы, бетоны, растворы, грунты, природные и искусственные каменные и керамические материалы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Радиационная стойкость материалов: справочник/ В.Б.Дубровский, П.А.Лавданский [и др. ]; под общ.ред. Дубровский В.Б. – Москва, 1973.
2. Радиация вокруг нас / Ю.М.Божин, 2011.
3. Uranium 2007. Resources. Production and Demand// CECO.2008

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ «ОСТАТОЧНОЙ» МОРОЗОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА ЭЛЕМЕНТОВ БЛАГОУСТРОЙСТВА**

Цывилько И.Ф., Александров Р.С.  
Научный руководитель – Бондарович А.И.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Для оценки морозостойкости бетона (кроме стандартных и ускоренных методов ее определения) существуют немногочисленные предложения в виде математических зависимостей для теоретического расчета ее значений. Методики определения состояния бетона в эксплуатируемых покрытиях (например, тротуаров) отсутствуют. Вместе с тем, оценка фактического состояния бетона, определение его «остаточной» морозостойкости и долговечности покрытий позволяет системно планировать их эксплуатацию и ремонт.

Обобщая разнообразные гипотезы [1-9], включая основы теории миграции влаги в пористых телах [6,7], констатируем, что механизм нарушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, чрезвычайно сложен. Он представляет собой сочетание разнообразных деструктивных факторов, разрушающее действие которых в реальных условиях эксплуатации «твердых» покрытий дополняются механическими нагрузками на бетон: сжатие, изгиб, ударные воздействия, истирание и пр. Поэтому оценка и прогнозирование морозостойкости бетона (в частности, элементов благоустройства) представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Для ее решения в научно-технической литературе представлены немногочисленные предложения, наиболее значимыми из которых являются методика Г.И. Горчакова [1]; более сложное по математическим зависимостям и методике предложение, составившее основу структурно-механического метода ускоренного ГОСТ 10060.4-95 определения морозостойкости бетона (проверка этого метода, выполненная в БНТУ, в сравнительных испытаниях с ГОСТ 10060.0...2-95 показала серьезный уровень расхождения данных, составивший в некоторых случаях величину до 50 %); в РУП БелНИИС разрабатывается метод, сочетающий аналитический расчет (включает более 20 формул) и измерение деформаций предварительно замороженного образца бетона в период его оттаивания (по существу этот метод (с рядом изменений) основывается на результатах работ Горчакова

ва Г.И., выполненных в 50...60-ых годах прошлого века, на базе которых в ГОСТ 10060.3-95 зафиксирована методика дилатометрического метода ускоренного определения морозостойкости при одноразовом замораживании образцов бетона и фиксации их деформаций по ходу процесса); методика и математическая зависимость, отражающая взаимосвязь морозостойкости с составом бетона, качеством цемента, степенью его гидратации (в зависимости от условий твердения) и с рядом других факторов, для оценки морозостойкости бетона на стадии изготовления изделий (конструкций), обоснованная в работах В.В. Бабицкого [10].

Как следует из изложенного, все эти предложения позволяют сориентироваться в оценке вероятной морозостойкости бетона, как исходного материала, но не обеспечивают возможности контроля морозостойкости и долговечности эксплуатируемых изделий.

*Методика оценки и прогнозирования долговечности бетона* элементов благоустройства, основные положения которой изложены в настоящем материале, разработана кафедрой технологии бетона и строительных материалов и ее научно-исследовательской и испытательной лабораторией бетонов и строительных материалов. Она предназначена для контроля состояния бетона эксплуатируемых тротуарных покрытий, оценки и прогноза их «остаточной» долговечности и включает следующие основные положения и выполняемые операции.

*Оценивают фактическое состояние бетона* элементов благоустройства (покрытий) включая: а) установление вида бетона (мелкозернистый или с крупным заполнителем); б) выделение контролируемых участков покрытия; в) определение влажности бетона элементов благоустройства контролируемых участков (диэлькометрический метод или высушивание); г) определение скорости ультразвука в бетоне элементов благоустройства контролируемых участков; д) визуальную оценку состояния рабочей поверхности элементов благоустройства контролируемых участков и фиксацию данных о состоянии бетона элементов благоустройства.

*Используя установленные величины* средних значений влажности бетона ( $W_{mi}$ , %) и скорости ультразвука ( $V_{yzi}$ ), полученные по результатам обследования контролируемых участков покрытия, и данные рис. 1 и 2 (приведены для мелкозернистого бетона; разработаны и для бетона со щебнем), для каждого контролируемого участка определяют область вероятных значений скорости ультразвука и стадию, на которой находится бетон по состоянию его структуры.

*Прогнозирование ожидаемой долговечности бетона* осуществляют с учетом его «остаточной» морозостойкости ( $F_{ocm}$ ) и среднестатистических данных о ежегодном количестве циклов попеременного замораживания-оттаивания бетона элементов благоустройства при их эксплуатации.

Для этого по изложенной методике оценивают состояние бетона контролируемого участка (участков) покрытия и определяют величину  $N_{фактi}$ . По величине  $N_{фактi}$  каждого контролируемого участка покрытия определяют стандартизованную «остаточную» морозостойкость бетона « $F_{остi}$ », как разницу между нормируемым ее значением для бетона плит тротуаров или камней бортовых, принимаемым по данной методике «F250», или фактическим (документально должным образом подтвержденным) данным по морозостойкости.

Оценивают стандартизованную остаточную морозостойкость бетона  $i$ -го контролируемого участка по зависимости:  $F_{остi} = 250 - N_{фактi}$ , циклов.

Ожидаемая долговечность бетона ( $D_i$ ), оцениваемая стандартными циклами испытаний бетона дорожных покрытий по базовому методу ГОСТ 10060.2-95, будет соответствовать величине остаточного количества циклов, т.е.  $F_{остi}$ . Для оценки вероятной ожидаемой долговечности ( $D_i^e$ ) эксплуатации покрытий целесообразно исходить не из стандартных 250 циклов испытаний, а из 400 циклов (после которых бетон мелкозернистый ( $W_m^{нач} < 5\%$ ) согласно полученным в настоящих исследованиях данным сохраняет прочность на сжатие на уровне  $\geq 30$  МПа, а бетон ( $W_m^{нач} < 4,5\%$ ) со щебнем  $\geq 35$  МПа при потерях массы не более 5 %) и расчет остаточной морозостойкости бетона ведут по зависимости:  $F_{остi}^e = 400 - N_{фактi}$ , циклов.

Для дальнейших расчетов по данной методике вводим понятие «приведенных циклов» ( $N_{пр}$ ), определяя их среднегодовое количество для климатической зоны Беларуси, равным:  $N_{пр}^{год} = 12,5 \dots 25$ , циклам испытаний по базовому для бетонов дорожных покрытий методу по ГОСТ 10060.2 - 95.

В расчетах для бетона на стадии I (упрочения и стабильности структуры) принимают:  $N_{пр}^{год} = 12,5$  циклов, для покрытий пешеходных тротуаров, эксплуатируемых без транспортных и иных механических нагрузок;  $N_{пр}^{год} = 25$  циклам, для бетона на стадии II (разуплотнения структуры), в также для покрытий, например, с регулярным движением транспорта, при регулярной уборке снега и льда скалыванием (ударные нагрузки); допускается устанавливать промежуточные значения в зависимости от фактической интенсивности механических воздействий, включая движение транспортных средств.

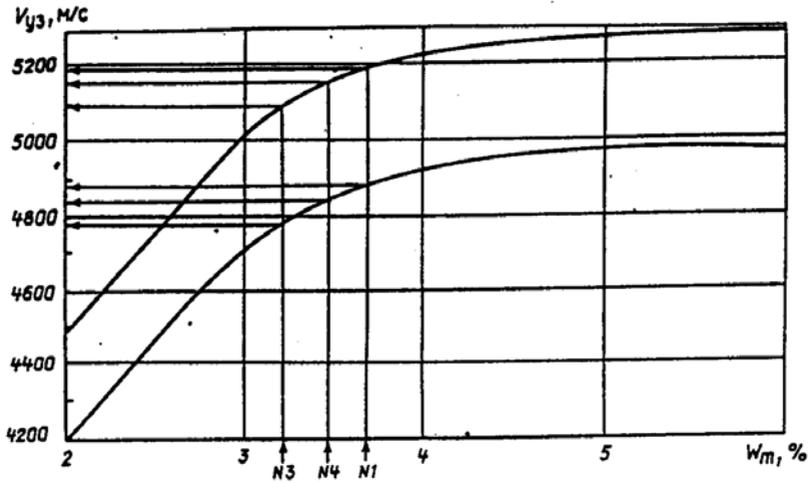


Рисунок 1 – Область вероятных значений скорости ультразвука ( $V_{uzi}$ , м/с) мелкозернистого бетона средней плотностью  $\rho_0 \approx 2250...2300 \text{ кг/м}^3$  в зависимости от влажности ( $W_{mi}$ , %) на стадии упрочения и стабильности структуры (стадия I)

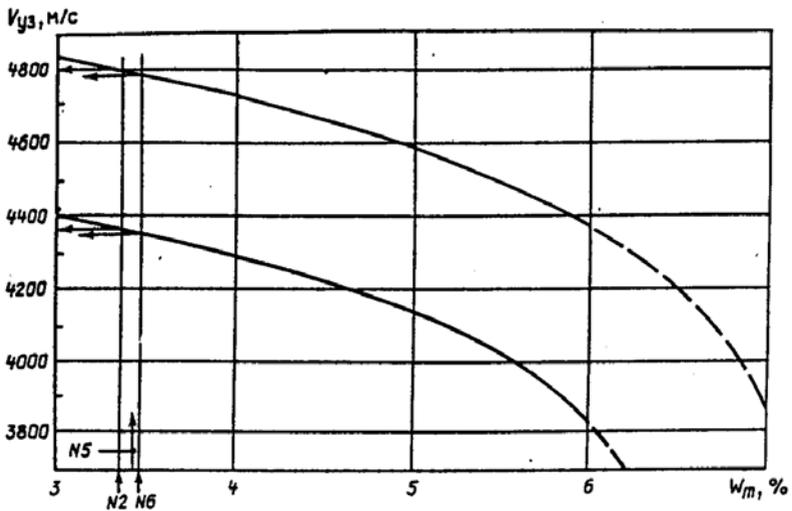


Рисунок 2 – Область вероятных значений скорости ультразвука ( $V_{uzi}$ , м/с) мелкозернистого бетона средней плотностью  $\rho_0 \approx 2250...2300 \text{ кг/м}^3$  в зависимости от влажности ( $W_{mi}$ , %) на стадии разуплотнения структуры (стадия II)

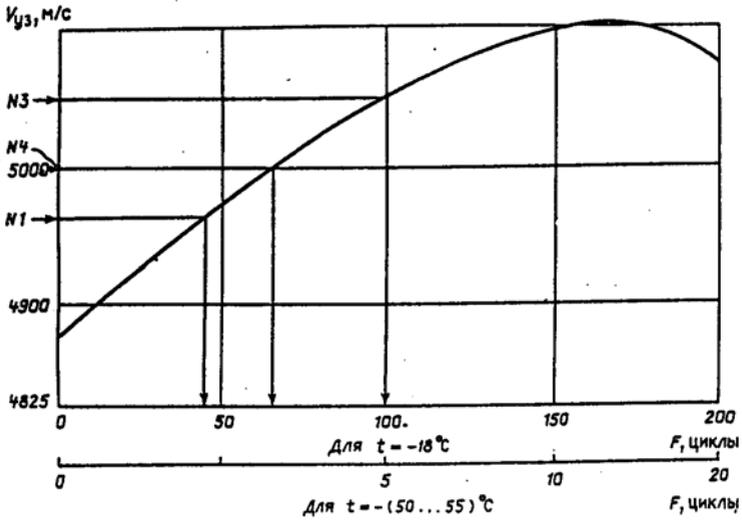


Рисунок 3 – Зависимость «скорость ультразвука – морозостойкость (циклы) для мелкозернистого бетона на стадии уплотнения и стабильности структуры (стадия I)

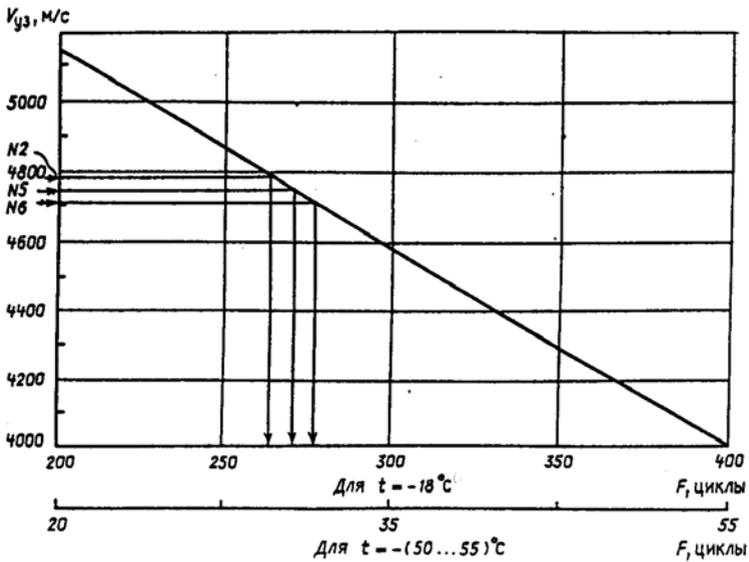


Рисунок 4 – Зависимость «скорость ультразвука – морозостойкость (циклы) для мелкозернистого бетона на стадии разуплотнения структуры (стадия II)

Ожидаемую долговечность бетона ( $D_i$ , год), оценивают по приведенным циклам и рассчитывают по зависимостям

$$D_i \sim F_{ост} / N_{пр}^{год}, \text{ год,}$$

или

$$D_i^e \sim F_{ост}^e / N_{пр}^{год}, \text{ год.}$$

*Анализ полученных результатов обследования покрытия* выполняется после обработки данных замеров по отдельным контролируемым участкам, осуществления оценки фактического состояния бетона и расчета (при необходимости) вероятной долговечности бетона элементов благоустройства обследуемого покрытия или его участков с учетом конкретных эксплуатационных условий, включая наличие или отсутствие механических нагрузок. Дается оценка состояния покрытия в целом или его отдельных участков. При необходимости планируются мероприятия и сроки по ремонту покрытия и объемам ремонта.

Апробация предложенной методики оценки состояния и прогноза долговечности эксплуатируемых тротуарных покрытий методики неразрушающего контроля, выполненная в шести различных местах г. Минска (промежуточные данные оценки состояния бетона приведены на рис. 1...4), подтвердила возможность ее использования с заявленной целью. Методика позволяет также осуществлять системный (периодический) контроль «текущего» состояния бетона элементов покрытий в процессе эксплуатации с целью отслеживания изменений в его качестве (развитие деградации) и прогноза (разработки плана) ремонтов и замены покрытий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965.
2. Москвин В.М., Подвальный А.М. Морозостойкость бетона в напряженном состоянии. Бетон и железобетон, 1960, № 2.
3. Шестоперов С.В. и др. Цементный бетон в дорожном строительстве. – М.: Дориздат, 1950.
4. Стольников В.В. Исследования по гидротехническому бетону. – М.: - Л.: Госэнергоиздат. 1953.
5. Бабицкий В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: Дис. докт. технич. наук: БНТУ. – Минск, 2005.

## ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ ИЗ ДОЛОМИТА

Якимович Г.Д.

Научный руководитель – Гурбо Н.М., к.т.н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Доломит – порообразующий минерал класса карбонатов  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Истинная плотность доломита  $2,85 \dots 1,95 \text{ г/см}^3$ . Твёрдость – средняя.

Применение тонкодисперсного доломита при изготовлении бетонов позволяет сократить расход цемента в низкомарочных бетонах, в композициях с легким заполнителем, а также повышает подвижность бетонных смесей при применении высокоподвижных и самоуплотняемых бетонных смесей.

В дорожном строительстве минеральный порошок является важной активной структурной составной частью асфальтобетона, адсорбируя на себя большую часть битума, тем самым придает асфальтобетону необходимые свойства (механическую прочность, способность к упругим и пластическим деформациям), что улучшает качество дорожного покрытия, увеличивает срок его. Тонкодисперсные фракции доломитовой муки, рекомендованы также к использованию в качестве наполнителя для резинотехнической продукции, линолеума и кровельных материалов, взамен дорогостоящего мела, талька и талькомагнезита.

На доломит тонкодисперсный, предназначенный для применения в качестве неактивной минеральной добавки при изготовлении бетонов и строительных растворов распространяется СТБ 2060-2010. В зависимости от тонкости помола доломит подразделяют на марки: ДТ-1 (тонкость помола доломита сравнима с тонкостью помола цемента) и ДТ-2 (тонкость помола доломита выше тонкости помола цемента).

Важными характеристиками качества доломитового порошка также являются тонкость помола и коэффициент гидрофильности. Степень измельчения должна быть такой, чтобы при мокром расसेве порошок полностью проходил через сито с отверстиями  $1,25 \text{ мм}$ , а содержание частиц мельче  $0,071 \text{ мм}$  было не менее  $70 \%$  по массе

**Измельчение доломита.** По крупности измельченного продукта различают: дробление (грубое среднее и мелкое) и помол (грубый, средний, тонкий и сверхтонкий). Измельчение осуществляется под действием внешних сил, преодолевающих силы взаимного сцепления частиц матери-

ала. При дроблении куски твердого материала сначала подвергаются объемной деформации, а затем разрушаются по ослабленным зонам-дефектам (макро- и микротрещинам) с образованием новых поверхностей.

Измельчение способствует: улучшению однородности смесей (напр., производство СК); ускорению и повышению глубины протекания гетерогенных химических реакций; повышению интенсивности сочетаемых с ним других технологических процессов; улучшению физико-механических свойств и структуры материалов и изделий.

Измельчение – весьма энергоемкий процесс. С увеличением степени измельчения возрастает расход энергии на измельчение. Затраты энергии находятся в зависимости от: неоднородности строения, наличия трещин, разнообразия форм. При разрушении куска породы на несколько кусков необходимо совершить работу. Для описания этой работы при помолу служит гипотеза Риттингера, согласно которой работа дробления пропорциональна величине вновь образованной при измельчении поверхности. Гипотеза Риттингера применима для приближенного определения полной работы только при дроблении с большими степенями измельчения, так как ею учитывается лишь работа образования новых поверхностей.

Измельчение может осуществляться периодически либо непрерывно. Периодический процесс применяют при небольших масштабах производства, так как он малоэкономичен, сопровождается сильным нагреванием. Непрерывный процесс осуществляют по открытому или закрытому циклу. Наилучшие показатели по качеству продукта, производительности измельчителя и энергетическим затратам достигаются в случае измельчения в замкнутом цикле с непрерывным отбором тонкой фракции. Тонкий помол производят, как правило, в замкнутом цикле "измельчение - классификация". В нем материал с размерами кусков больше допустимого предела многократно возвращается в машину на доизмельчение, а целевая фракция отбирается в результате последующей классификации.

В мельнице с открытым циклом помола тонкоизмельченные частицы могут налипать на стенки и мелющие тела мельницы, образуя мягкую и упругую подушку, затрудняющую процесс помола. В мельницах закрытого типа измельченные тонкие зерна немедленно удаляются, вследствие чего значительно улучшаются условия помола, и уменьшается расход энергии.

Для помола доломита применяют несколько типов мельниц: трубные и шаровые мельницы, ударно-центробежные мельницы, вибрационные мельницы и маятниковые мельницы.

**Сырьевые трубные мельницы** предназначены для помола сырья с одновременной его подсушкой при работе по замкнутому циклу. Тонкость помола сырьевых материалов составляет 2800—3000 см<sup>2</sup>/г, мощность раз-

личных исполнений от 200 до 3150 кВт, производительность 9-145 т/ч, крупность исходного материала не более 25 мм. Трубная мельница состоит из загрузочной части, барабана, разгрузочной части, двух коренных подшипников, привода и системы жидкой смазки. Из загрузочной части сырьё поступает в барабан мельницы, внутренняя поверхность которого разделена на две камеры: камеру подсушки и камеру помола. Первая камера футерована каблучковыми самосортирующими плитами, вторая – конусо-ступенчатыми плитами или специальной резиновой футеровкой. Газы из сушильной камеры, проходя через размольную камеру, подхватывают измельченный материал и через разгрузочную цапфу и газоподъемник выносят его в проходной сепаратор. Разгрузка молотого материала осуществляется в торцевой части мельницы. Трубные мельницы сравнительно просты по конструкции, удобны в эксплуатации, обеспечивают высокую степень измельчения, поддаются автоматизации. Однако они имеют существенные недостатки: малы скорости воздействия мелющих тел на материал, в работе измельчения участвует только часть мелющих тел; рабочее пространство барабана используется всего на 35–45%; высокий удельный расход электроэнергии (35–40 кВт ч/т цемента); значительный износ мелющих тел и футеровки (1–1,2 кг/т цементного клинкера); большая металлоемкость, высокий шум при работе.

**Шаровые мельницы** предназначены для помола материалов средней твердости. Тонкость помола сырьевых материалов составляет 0,002–0,4 мм, мощность различных исполнений мельниц от 45 до 475 кВт, производительность 0,5–29 т/ч, крупность питания не более 25–50 мм. Мельница состоит из барабана, загрузочной части, разгрузочной части, роликоопора, кожуха разгрузки, привода и воронки разгрузочной. Барабан мельницы футеруется стальной футеровкой, причем каждая плита крепится одним болтом. Мельница комплектуется комбинированным питателем или питателем барабанного типа. Торцовые стенки барабана – ребристые, тарельчатые с углом наклона 10°, футерованы фасонными плитами из стали Г13Л. Внутренний пояс футеровки со стороны загрузки имеет форму усеченного конуса-отражателя, направленного внутрь барабана, что улучшает перемешивание и отбрасывание материала к середине барабана.

Как вариант шаровой можно использовать **ударно-центробежную мельницу – классификатор «ТрибокINETИКА-1000»**. Данный помольный агрегат состоит из мельницы «ТрибокINETИКА-1000», воздушно-проходного сепаратора «КАСКАД-М4» и загрузочного винтового конвейера. Материал, подлежащий измельчению, поступает в корпус мельницы, заполненный шарами. Элеватор захватывает мелющие тела и вместе с материалом подает их на вращающийся ротор-ускоритель. Рабочая смесь, состоящая из кусков, зерен, частиц, шаров, цельных и т.д.,

попадает в центр ротора и равномерно распределяется по разгонным лопастям. Тонкие частицы подхватываются воздушным потоком и выводятся из помольной камеры. Крупные же частицы вместе с мелющими телами проваливаются в нижнюю часть корпуса мельницы, и цикл повторяется. Тем самым обеспечивается процесс классификации материала, а тонкость помола регулируется настройками воздушно-проходного классификатора и пылевого вентилятора.

Измельчение доломита может также осуществляться в **вибрационных мельницах** – инерционных и гирационных (эксцентрикковые). В инерционных мельницах вибрация корпуса вызывается центробежными силами инерции, возникающими при вращении дебаланса. В гирационных мельницах корпус мельницы монтируется на эксцентриковом валу и при вращении последнего совершает круговые качания. Тонкость помола сырьевых материалов составляет 0.01-0.02 мм, мощность различных исполнений мельниц от 30 до 315 кВт, производительность 0.3-5,2 т/ч, крупность питания не более 2-5 мм. Вибрационная мельница состоит из помольного барабана с загрузочным патрубком, соединенным с вибровозбудителем, состоящим из вибратора, эластичной муфты и двигателя. Внутри камеры установлена перфорированная труба, соединенная с выгрузочным устройством. Барабан загружается шарами диаметром 10-50 мм примерно на 60-70 % объема. В корпусе на подшипниках качения установлен дебалансовый вал. Он приводится во вращение от электродвигателя, соединенного с валом гибкой муфтой. При вращении дебалансного вала с частотой, колеблющейся в пределах 20–50 и более в секунду, корпус мельницы с шарами и материалом приводится в качательное движение по эллиптической траектории. При этом шары оказывают интенсивное воздействие на материал и измельчают его. В тех случаях, когда вибрационные мельницы предназначаются для сверхтонкого измельчения, например при получении готового продукта с частицами размером менее 1–10 мкм, эффективность их в 5–30 раз выше эффективности шаровых мельниц при значительно меньшем удельном расходе мощности.

**Мельницы маятниковые** предназначены для измельчения сырья различного происхождения, удельного веса и влажности, со средним уровнем твердости. Они имеют высокую производительность и позволяют получить прекрасное качество выходящего материала. Тонкость помола сырьевых материалов составляет 0.045-0.2мм, мощность различных исполнений мельниц от 118 до 475 кВт, производительность 3-55 т/ч, крупность питания не более 30-40 мм. Помол осуществляется посредством маятников больших размеров, которые вращаясь под напором центробежной силы, оказывают сильное давление на направляющую, закрепленную на основании мельницы. После помола, измельченный материал поступает в верх-

ную часть мельницы вместе с потоком воздуха, создаваемым вентилятором или специальным аспирационным фильтром. Далее производится классификация материала при помощи сепаратора, встроенного в верхнюю часть мельницы и откалиброванного в соответствии с требуемой гранулометрией.

**Выбор мельницы.** При выборе типа мельницы руководствуются главным образом требованиями к крупности продукта измельчения, также большую роль играют энергозатраты.

Исходя из приведенных в статье характеристик, в качестве оптимального варианта для помола доломита можно рекомендовать маятниковую мельницу (на примере модели MOLOMAX 4/230 Air). Данная мельница имеет мощность 475 кВт и позволяет измельчить материал с крупностью до 30 мм до 0.045-0.2 мм при производительности до 55 т/ч.

По сравнению с ней вибрационные мельницы более требовательны к крупности исходного сырья. Шаровые и ударно-центробежные мельницы в основном менее требовательны к сырью, но уступают как по производительности, так и по энергопотреблению.

Мельница MOLOMAX 4/230 Air уступает в производительности трубным мельницам, но имеет лучшее соотношение производительность/энергопотребление, что позволяет при использовании данной мельницы на производстве снизить затраты на электроэнергию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – Москва: “Машиностроение”, 1981.
  2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – Москва: “Химия”, 1973
  3. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – Москва: “Высшая школа”, 1971.
  4. Сапожников М.Я., Дроздов Н.Е. Справочник по оборудованию заводов строительных материалов. – Москва, 1970.
- СТБ 2060-2010. Доломит тонкодисперсионный для бетонов и строительных растворов. Технические условия.

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА  
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Материалы 68-й студенческой  
научно-технической конференции

3 мая 2012 года

Технический редактор *О.В. Песенько*

Подписано в печать 21.09.2012. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,54. Тираж 50. Заказ 1121.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.