

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы 67-й студенческой
научно-технической конференции

06 мая 2011 г.

Минск
БНТУ
2011

УДК 691.32

ББК 38.3

А 43

Редакционная коллегия:

Э.И. Батяновский – д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой «Технология бетона и строительные материалы»;

М.Г. Бортницкая – ст. преп. 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 67-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.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Александров Р.С.</i> Минералогический состав, свойства и технологические особенности портландцементов для производства асбестоцементных изделий.....	5
<i>Бегменов Б.</i> Влияние добавок электролитов на прочность бетона.....	10
<i>Бондаренко Т.П.</i> Актуальность и эффективность применения альтернативных возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь.....	12
<i>Бортницкая А.И.</i> Физико-механические свойства бетона строительных конструкций, защищенного системой «Кальматрон».....	17
<i>Бортницкая А.И.</i> Исследование однородности керамзитопенобетона, применяемого при монолитном изготовлении ограждающих конструкций в несъемной опалубке.....	21
<i>Брухан Т.А., Гусь О.В.</i> В мире керамической плитки.....	25
<i>Державцев С.С.</i> О роли стерической составляющей в механизме пластификации цементных систем.....	30
<i>Дубовик Н.С.</i> Получение высокопрочного и высококачественного песка стабильного модуля крупности.....	33
<i>Жеребцова Е.В.</i> Машины для сортировки каменных материалов.....	36
<i>Китаева Т.Н., Клочко С.А.</i> Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева.....	40
<i>Ковалёв В.И. Каминский И.Н.</i> Добавки к бетону. Сульфат натрия.....	45
<i>Костеневич А.Л.</i> Логистика в маркетинговой стратегии строительного предприятия....	50
<i>Кучук Е.В.</i> Изучение технологических особенностей производства плиток керамических для полов на линии FMP – 2950/109,2.....	54
<i>Лобов А.Ю, Проценко И.С.</i> Состояние развития и перспективы использования неметаллической композитной арматуры.....	59

<i>Мацкевич Т.С., Хожовец Е.Б.</i>	
Карбонизация защитного слоя бетона.....	66
<i>Недвецкий Е.С.</i>	
Стеновые блоки из неавтоклавного газобетона.....	70
<i>Пашкевич Е.Н.</i>	
Пенополистирол и его применение в качестве теплоизоляции.....	74
<i>Приходько В.В.</i>	
Акриловый камень.....	79
<i>Савосько А.П., Третьяк Е.Г.</i>	
Эффективность применения углеродных нанотрубок в высокопрочном бетоне.....	83
<i>Савчик О.М., Савватимов А.Д., Эйсмонт Д.Г.</i>	
Защита строительных материалов от ионизирующего излучения.....	87
<i>Сапрончик М.Н., Демешкевич Е.Н.</i>	
Анализ структурных и технологических особенностей паркетных напольных покрытий.....	93
<i>Сермяжко Д.А., Кузькина Е.Е.</i>	
Добавки к бетонам.....	98
<i>Смычник А. Н., Романюк Л. Б.</i>	
Влияние качества уплотнения и условий твердения на физико-технические характеристики бетона.....	103
<i>Чалов Д.Л., Слепухо В.Н.</i>	
Исследование применения фибробетона при строительстве в Беларуси.....	108
<i>Якимович Г.Д.</i>	
Высокопрочный бетон.....	112

Минералогический состав, свойства и технологические особенности портландцементов для производства асбестоцементных изделий

Александров Р.С.

Научный руководитель – Дзабиева Л.Б.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Асбестоцемент представляет собой композиционный материал, состоящий из цементного камня, объемно армированного асбестовым волокном; его физико-механические и эксплуатационные показатели определяются свойствами обоих компонентов – асбеста и портландцемента. Для асбестоцементных изделий характерно высокое сопротивление разрыву, изгибу и сжатию, высокая морозостойкость и водонепроницаемость, под влиянием влаги они не корродируют, поэтому могут применяться без окраски. Недостатками асбестоцементных изделий являются малое сопротивление удару и короблению. [1, 4].

Асбест – природный волокнистый материал, обладающий способностью расщепляться на тонкие и прочные волокна. Диаметр отдельного волокна асбеста 30 – 40 мкм, практически же асбест распушивают в среднем до 0,02 мм, т.е. каждое такое волокно-конгломерат большого количества элементарных волокон. Волокнистое строение проявляется наиболее полно у хризотил-асбеста, механическая прочность при растяжении его элементарного недеформированного волокна составляет около 3000 МПа. Но т.к. при распушке волокна асбеста подвергаются сжимающим, ударным, сминающим, истирающим воздействиям, их прочность снижается до 600 – 800 МПа, что, тем не менее, соответствует прочности высококачественной стальной проволоки.

Волокна хризотил-асбеста обладают высокой адсорбционной способностью. Технологически важно, что они хорошо адсорбируют воду и легко образуют с ней суспензию; в смеси с портландцементом и водой они адсорбируют и хорошо удерживают на своей поверхности продукты гидратации портландцемента, связывающие в единый монолит волокна асбеста. Хризотил-асбест достаточно щелочеустойчив, что обеспечивает его сохранность в твердеющем цементном камне и монолитность асбестоцементной композиции.

Особенно ценно, что как показали исследования, проводимые в Институте медицины труда Национальной академии наук Украины, волокна хризотил-асбеста благодаря малой длине имеют короткий период выведения из легких человека – всего 14 дней и поэтому не регистрируются канцер-регистром как вызывающие онкозаболевание. А вот амфибол-асбест

действительно опасен: его длинные волокна «выводятся» из легких больше, чем за год. Поэтому решением Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) использование амфиболов запрещено по всему миру.

Асбестоцементные изделия формируются из асбестоцементных суспензий с небольшим содержанием твердой фазы, отношение $T : Ж$ равно $0,06 - 0,20$. Суспензия должна иметь хорошую фильтруемость, т.к. технология включает этапы: отфильтровывание твердой фазы из суспензии на сетчатом цилиндре, ее дальнейшее обезвоживание и уплотнение, твердение при повышенной влажности и температуре. Поэтому к портландцементам для производства асбестоцементных изделий (шиферным) предъявляются сложные и противоречивые требования [1], технологический комментарий к которым и является темой доклада.

Гидратироваться шиферный портландцемент должен быстро, накапливая продукты гидратации, но схватывание его идет сравнительно медленно, учитывая избыток воды в формовочной массе. С другой стороны, в последующие сроки такой цемент должен интенсивно набирать прочность, обеспечивая переход полуфабриката в готовую продукцию в соответствии с особенностями технологического процесса.

Чтобы обеспечить хорошую фильтруемость суспензии необходимо, чтобы цемент имел невысокую дисперсность, чтобы зерна цемента не были очень мелкими, задерживались на пространственном каркасе из асбестового волокна, образующегося на техническом сукне, а не уносились с водой, отделяемой на сетчатых цилиндрах. Слишком тонкий помол цемента затруднит процесс обезвоживания и уплотнения цементного камня, так как повысит водоудерживающую способность цемента. В то же время тонкоизмельченный портландцемент лучше связывается с волокнами асбеста, имеющими «ворсинки», в узлах которых задерживаются дисперсные частицы и быстрее гидратируется. Поэтому требования по тонкости помола к шиферным цементам очень жесткие. Она нормируется обычно по удельной поверхности $S_{уд}$ и должна быть не менее 2200 и не более 3200 $см^2/г$ [1, 2, 4]. Меньшие значения $S_{уд}$ рекомендуются для листовых изделий, повышенные – для асбестоцементных труб. Это приблизительно соответствует остатку на сите 0,08 от 8 до 12%, т.е. ограничивается количество тонких (<5 мкм) и крупных (60 – 80 мкм) фракций.

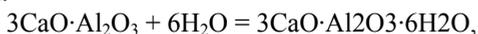
По той же причине – повышение водоудерживающей способности – не допускается в этих цементах введение активных минеральных добавок осадочного происхождения.

В связи с технологическими особенностями производства асбестоцементных изделий к шиферным цементам предъявляются также специальные требования химического и минералогического характера. Портландцемент изготавливают на основе клинкера нормированного (Н) состава.

Расчетное количество трехкальциевого силиката C_3S в клинкере должно быть не менее 52% (следовательно, коэффициент насыщения сырьевой смеси для получения клинкера должен быть повышенным), содержание трехкальциевого алюмината C_3A обычно находится в пределах 3 – 8%, свободного CaO не более 1%, а MgO не более 5%, SO_3 1,5 – 3,5%, R_2O (в пересчете на Na_2O) не более 1% [2]. Для производства изделий способом экструзии быстрорастворимого R_2O должно содержаться не более 0,3% (при использовании в качестве пластификатора метилцеллюлозы).

Высокое содержание алита повышает адгезию цемента к асбесту. Теоретическая химическая формула хризотил-асбеста $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – он является гидросиликатом магния, а алит после гидратации дает гидросиликат кальция – $2CaO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O$, т.е. обладает химическим сродством к нему. Повышенная химическая адгезия алита к асбесту ускоряет процесс обезвоживания и увеличивает плотность полуфабриката. В итоге повышенные содержания в клинкере трехкальциевого силиката ускоряет процесс гидратации портландцемента и повышает прочность изделий.

Присутствие в клинкере повышенных количеств $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A) ухудшает фильтрационные свойства асбестоцементной массы и снижает этим производительность формовочных машин. И хотя C_3A способствует быстрой гидратации цемента, он связывает при этом большое количество воды по реакции:



формируя рыхлые, объемные структуры высокодисперсных гидроалюминатов (причем очень быстро), препятствующие отделению воды при фильтрации гидромассы на сетчатых цилиндрах. Этим объясняются требования по ограничению верхнего предела содержания C_3A в клинкере, превышение которого приводит также к снижению прочности и морозостойкости асбестоцементных изделий. Положительное действие гипса заключается в формировании вместо этих структур крупнокристаллического гидросульфата алюмината кальция. Рекомендуемое соотношение между содержанием в шиферном портландцементе C_3A , SO_3 и его удельной поверхностью представлено в таблице.

Как видно, дозировка гипсового камня связана с содержанием C_3A в клинкере и возрастает при его увеличении.

Таблица

Содержание, %		Удельная поверхность, cm^2/g		
C_3A	SO_3	Листовые изделия	Трубы при содержании в шихте асбеста, %	
			до 30	более 30
3-6	1,5-2	2600-2800	3000±200	2800±200
6,1-8	2-2,5	2200-2600	2800±200	2600±200

Свободный оксид кальция в цементе не должен превышать 1%, в противном случае цемент может проявить при твердении неравномерность изменения объема, что приведет к трещинообразованию изделий; те же последствия может иметь превышение содержания сверх оптимального (до 5%) оксида магния, поскольку в этом случае он будет присутствовать в виде периклаза и также характеризоваться запоздалым гашением, которое сопровождается объемными деформациями и деструкцией изделий. В итоге содержание повышенных количеств CaO и MgO в портландцементе снижает прочность асбестоцементных изделий при длительном твердении. Цемент должен также показывать равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде.

Учитывая, что процесс формирования асбестоцементных изделий продолжается дольше, чем изготовление и укладка бетона, необходимо, чтобы начало схватывания цемента наступало не ранее 1,5 часов, конец схватывания не позднее 10 часов. В соответствии с [3] конец схватывания должен происходить не позднее 6 часов, а начало схватывания не ранее 90 мин. Несмотря на сравнительно длительные сроки схватывания набирать прочность цемент должен быстро. Обычно используются марки М400, М500, М550, причем в 7-суточном возрасте предел прочности при сжатии для этих марок должен быть не менее 4,3 и 4,7 МПа [2].

По стандарту [3] нормируется прочность цемента для асбестоцементных изделий в возрасте 2 суток и 7 суток – при изгибе соответственно 2,8 и 4,2 МПа, при сжатии соответственно 16 и 27 МПа.

В целом специальные портландцементы для производства асбестоцементных изделий должны обеспечивать фильтрационную способность асбестоцементной массы, оптимальные условия ее формовки, раздаточную и отпускную прочность. Цемент должен показывать равномерность изменения объема и не должен обладать признаками ложного схватывания, наличие которого определяется по [3] на образцах цементно-песчаного раствора состава Ц : П 1:1 при В/Ц = 0,4. Раствором заполняют прямоугольную стандартную форму, уплотняя трехкратным постукиванием формы о стол, после чего ставят на прибор Вика. Глубину погружения пестика в раствор измеряют через 5 минут с момента затворения. Если пестик погрузился в раствор на глубину более 10 мм, то измерение повторяют через 10 и 15 мин с момента затворения в местах, равноудаленных друг от друга по продольной оси формы.

В том случае, если при последнем измерении через 15 мин пестик погружается на глубину более 10 мм, это означает, что цемент не обладает признаками ложного схватывания. Если при одном из замеров пестик погружается на глубину не более 10 мм, раствор повторно перемешивается в течение 1 мин. И если после повторного перемешивания раствор не при-

обрел пластичность, это означает, что цемент обладает быстрым схватыванием (быстряк).

Если же после повторного перемешивания раствор стал пластичным, им снова заполняют прямоугольную форму и через 1 мин после окончания повторного перемешивания измеряют глубину погружения пестика. В том случае, если глубина погружения пестика в раствор после повторного перемешивания составила более 10 мм, считается, что цемент обладает признаками ложного схватывания. В соответствии со стандартом [3] проверка на ложное схватывание цемента, предназначенного для производства асбестоцементных изделий, является обязательной и производится по описанной выше методике не реже одного раза в месяц.

Для снижения вероятности коробления листов асбестоцемента, наряду с использованием прессования на этапе их формования, может быть использован в качестве вяжущего песчанистый портландцемент с последующим запариванием полуфабриката в автоклаве. В результате автоклавной обработки в среде насыщенного пара при повышенной температуре происходит взаимодействие выделяющейся при гидратации цемента извести и кремнезема песка. Формирующиеся при этом гидросиликаты кальция придают асбестоцементным изделиям повышенную плотность и прочность [2], а водопотребность цемента при этом не увеличивается существенно, как это происходит при использовании АМД осадочного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комар, А.Г. Технология производства строительных материалов / А.Г. Комар, Ю.М. Баженов, Л.М. Сулименко. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
2. Колбасов, В.М. Технология вяжущих материалов / В.М. Колбасов, И.И. Леонов, Л.М. Сулименко. – М.: ГСИ, 1987. – 432 с.
3. Портландцемент для производства асбестоцементных изделий. Технические условия: СТБ 1239-2000.
4. Строительные материалы: справочник / под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М.: ГСИ, 1989. – 567 с.

Влияние добавок электролитов на прочность бетона

Бегменов Б.

Научный руководитель – Чистова Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Прочностные свойства бетона, зависят от качества слагающих его компонентов (заполнители, цементный камень) и степени их сцепления. На границе раздела между зернами заполнителя и цементным камнем имеются полости контактов [1], которые являются концентраторами напряжений и способствуют снижению прочности бетона. Для устранения данного отрицательного фактора предлагается активировать поверхность минерального материала и модифицировать состав цементного камня путем введения электролитов.

Ранее был разработан способ активации поверхности заполнителей водными растворами солей $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ [2]. Исследование электрокинетических характеристик гранитного щебня показало, что обработка его поверхности водными растворами солей указанных металлов приводит к изменению ζ -потенциала минеральной поверхности и к перезарядке поверхности с отрицательного знака на положительный [3]. Использование данных солей обеспечивает прирост прочности бетона в среднем на 30 %.

Основной структурообразующей составляющей в бетоне является цементный камень. Химический состав клинкера определяется содержанием оксидов, масс. %: CaO – 63–66, S_iO_2 1–24, Al_2O_3 – 4–8 и Fe_2O_3 – 2–4, суммарное количество которых составляет 95–97 %. Оксиды находятся в составе силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция в виде минералов кристаллической структуры [4].

Активация процессов взаимодействия цемента с водой может быть достигнута за счет введения во взаимодействующую систему цемент-вода соединений, способных оказывать влияние на развитие процесса гидратации, в частности электролитов [5,6].

Нами были проведены исследования влияния добавки электролита в виде раствора $Al_2(SO_4)_3$ на твердение портландцемента. Количество добавки изменялось от 0,5 до 1,5% по сухому веществу от массы цемента. Исследования проводились на образцах цементного камня 20х20х20 мм

Образцы подвергались испытанию после хранения в течение 7 суток при нормальных условиях (температура 20⁰С, влажность не более 60 %). Результаты испытаний предоставлены в таблице 1.

Таблица 1- Прочность цементного камня

Добавка	Кол-во добавки, % от массы цемента	Прочность при сжатии, МПа, 7 суток
Без добавки	–	28
Al ₂ (SO ₄) ₃	0,5	32
	1,0	38
	1,5	37

Исследования показали, что более высокие результаты получены при использовании 1% соли, прирост прочности цементного камня при этом составляет 38%.

В процессе гидратации цемента осуществляется изоморфное замещение в структуре клинкерных минералов. Гетеровалентный ионный обмен осуществляется по правилу А.Е. Ферсмана [7], ионы с более высоким зарядом, входящие в состав электролитов, легче входят в кристаллическую решетку, чем ионы меньших зарядов, в частности Са. Это позволяет ускорить процесс гидратации и увеличить прочность цементного камня. Ионному обмену способствует размер радиуса иона Al (0,057 нм), он в 2 раза меньше чем у Са²⁺ (0,104 нм.).

Результаты данных лабораторных исследований открывают возможность комплексного воздействия с помощью электролитов на поверхность заполнения и цементный камень и достижения повышенной прочности бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович, С.Н. Трещиностойкость и долговечность бетонных и железобетонных элементов / С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 1999. – 46 с.
2. Бусел, А.В. Активация крупного заполнителя – резерв экономии цемента и повышения прочности тяжелого бетона / А.В. Бусел, В.В. Киселев, Т.А. Чистова // Строительная наука и техника. – 2006. – № 3. – С. 43–46.
3. Чистова, Т.А. Получение химически активированных каменных материалов из кислых горных пород и их применение в дорожном асфальтобетоне: дис... канд.техн.наук: 05.23.05 / Т.А. Чистова. – Минск, 2008. –245 с.
4. Питерский, А.М., Федоров В.М. Активация заполнителя бетона водными растворами промышленных отходов / А.М. Питерский, В.М. Федоров // Изв. вузов. Строительство. – 2008.– № 10 – С.35–38.
5. Солонина, В.А., Ключов, А.А., Бердов, Г.И. Свойства тяжелых цементных бетонов с комплексной добавкой на основе жидких отходов кожевенного производства / В.А. Солонина, А.А. Ключов, Г.И. Бердов // Изв. вузов. Строительство. – 2006.– № 10. – С. 10–12.

Актуальность и эффективность применения альтернативных возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь

Бондаренко Т.П.

Научный руководитель – Гурбо Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Для Республики Беларусь вопрос нахождения альтернативных возобновляемых источников энергии является архи актуальным:

- Наша страна на 85% импортирует энергоресурсы из-за рубежа;
- Традиционные источники энергии, такие как нефть, газ и уголь, истощаемы, и в последнее время цены на них повышаются, что откладывает негативный отпечаток на состоянии экономики в стране;
- Традиционные источники энергии и электростанции отрицательно влияют на экологию.

Поэтому в последнее время значительное внимание уделяется вопросу нахождения и использования альтернативных источников энергии.

Под **нетрадиционными (альтернативными или возобновляемыми) топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР)** понимают энергетические ресурсы рек, водохранилищ и промышленных водостоков, энергию ветра, солнца, биомассы, сточных вод и твердых бытовых отходов. Энергообъекты, использующие новые возобновляемые ТЭР для получения тепловой, механической и электрической энергии, называют **альтернативными источниками энергии**.

Основными особенностями альтернативных источников энергии являются:

1. Воспроизводство их энергетического потенциала происходит быстрее, чем расходование.
2. Установки, работающие на возобновляемых источниках, оказывают гораздо меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные потоки энергии.
3. Альтернативные источники энергии зачастую не требуют транспортирования, удобны для локального энергоснабжения небольших удаленных объектов, что особенно важно для агропромышленных комплексов (АПК).

При выборе источников энергии следует иметь в виду их качество, оцениваемое долей энергии, которая может быть превращена в механическую работу.

Возобновляемые источники энергии по качеству условно делятся на три группы:

- источники механической энергии довольно высокого качества: около 30% КПД (коэффициент полезного действия) - ветроустановки, 60% - гидроустановки;
- источники тепловой энергии с качеством не более 35% - прямое или рассеянное солнечное излучение, биотопливо;
- источники энергии, использующие фотосинтез и фотоэлектрические явления, имеют различное качество на разных частотах излучения; в среднем КПД фотопреобразователей составляет примерно 15%.

Важным источником энергии является Солнце. Для всей территории Республики поступление солнечной энергии в 7800 раз превышает потребность в энергоресурсах. На нашей планете за счет естественных процессов и производственно-хозяйственной деятельности человека происходит преобразование солнечной энергии в другие виды.

Способы утилизации солнечной энергии можно разделить на три группы:

- 1) прямое преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую;
- 2) не прямое преобразование — использование энергии ветра;
- 3) биологическое преобразование — сжигание биомассы, газификация городских и сельскохозяйственных отходов и т. д.

Для территории Беларуси свойственна относительно малая интенсивность солнечной радиации и существенное изменение её в течение суток и года. В этой связи необходимо отчуждение значительных участков земли для сбора солнечного излучения, весьма большие материальные и трудовые затраты.

Появились предложения об использовании территории Чернобыльской зоны для строительства площадок солнечных и ветровых электростанций. Для нашей республики реально использование солнечной энергии для сушки кормов, семян, фруктов, овощей, подъёма и подогрева воды на технологические и бытовые нужды. В результате может быть доступна экономия ТЭР оценивается в 5 тысяч тонн условного топлива в год.

В республике начат выпуск **гелиоводонагревателей** и уже накоплен некоторый опыт их эксплуатации. В настоящее время действует 48 гелиоводонагревателей. Например, солнечный коллектор на горячее водоснабжение в Доме отдыха локомотивных бригад в Полоцке. В летний период 2010 года экономический эффект составил 23,2 Гкал на сумму 6,5 млн. рублей.

Наиболее простым способом использования солнечной энергии для бытовых и промышленных нужд является ее **преобразование в тепловую энергию**.

Утилизация сельскохозяйственных отходов с помощью процессов ферментации или биологического преобразования, не требующих использования топлива, может способствовать более полному удовлетворению потребностей в энергии.

Новый подход в развитии сельского хозяйства характеризуется:

- ✓ минимальным уровнем потерь энергетических и минеральных ресурсов,
- ✓ сокращением потребления химических удобрений и пестицидов,
- ✓ гораздо большим разнообразием выращиваемых культур,
- ✓ использованием аквакультуры и, самое важное,
- ✓ применением биотехнологии в масштабах домашнего хозяйства, деревни и целой отрасли промышленности.

В Республике Беларусь недостаточно полно используется энергия рек. Для нас актуальна малая энергетика, причём **гидроэнергетика** – это область наиболее развитой на сегодня энергетики на возобновляемых ресурсах и одно из серьёзных направлений в экономии энергетических ресурсов.

В Беларуси планируется строительство и реконструкция 33 ГЭС, в том числе:

- 20 микро-ГЭС суммарной мощностью 0,75 МВт и выработкой электроэнергии - 3,8 млн. кВт·ч;
- 9 малых и мини-ГЭС суммарной мощностью 2,34 МВт и выработкой электроэнергии - 8,7 млн. кВт·ч
- 4 крупных ГЭС суммарной мощностью 99 МВт и выработкой электроэнергии - 450 млн. кВт·ч.

Дальнейшее увеличение выработки электроэнергии ГЭС будет осуществляться в 2016-2019 годах с поэтапным вводом на Днепре и Западной Двине крупных ГЭС, которые будут находиться в хозяйственном ведении ГПО "Белэнерго":

- Бешенковичская ГЭС (30 МВт) - 2016 год;
- Оршанская ГЭС (5,7 МВт) - 2017 год;
- Речицкая ГЭС (4,6 МВт) - 2018 год;
- Верхнедвинская ГЭС (20 МВт) - 2018 год;
- Шкловская ГЭС (4,9 МВт) - 2018 год;
- Могилевская ГЭС (5,1 МВт) - 2019 год.

Что касается непосредственно технологического процесса выработки электроэнергии на гидростанциях, то с точки зрения экологии он совершенно безопасен. По водохранилищу наиболее эффективным природоохранным мероприятием является инженерная защита.

Например, строительство дамб обвалования уменьшает площадь затопления и сохраняет для хозяйственного использования земли, месторожде-

ния полезных ископаемых, уменьшает площадь мелководий и улучшает санитарные условия водохранилища, сохраняет природные естественные комплексы. Если постройка дамб экономически не оправдана, то мелководья могут быть использованы для разведения птиц и для других хозяйственных нужд. При поддержании необходимых уровней воды мелководья могут быть использованы для рыбного хозяйства, как нерестилище и кормовая база. Строительство больших плотин с электростанциями, как правило, способствует сохранению и обогащению природы.

Перспективной областью альтернативной энергии является **ветроэнергетика**. Важной особенностью энергии ветра, как и солнечной, является то, что она может быть использована практически повсеместно.

Перспективы использования энергии ветра в агропромышленном комплексе Республики Беларусь

Коэффициент использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) -- 25%, что, по международным стандартам (IEC 61400, требования по Ллойд) является нормальным показателем. Территория Республики Беларусь находится в умеренной ветровой зоне. Стабильность скорости ветра составляет 4-5 м/с и соответствует нижнему пределу устойчивой работы ВЭУ. Это позволяет использовать лишь 1,5-2,5% ветровой энергии. К зонам, благоприятным для развития ветроэнергетики, со среднегодовой скоростью ветров выше 5-5,5 м/с, относится 20% территории страны. Наиболее эффективно можно применять ВЭУ на возвышенностях большей части севера и северо-запада Беларуси и в центральной части Минской области, включая прилегающие к ней районы с запада.

Для ряда сельскохозяйственных объектов, удаленных от линии электропередач, газопроводов и других коммуникаций, перспективным является использование для автономного энергоснабжения ВЭУ малой мощности. Еще в бывшем СССР было налажено серийное производство маломощных ВЭУ, типа АВЭУ (автоматическая ветроэлектрическая установка), способных обеспечивать в автономном режиме, при наличии аккумуляторной батареи и преобразователя напряжения, потребности в электроэнергии небольшого фермерского хозяйства.

В 1988 году две ВЭУ были построены немецкими специалистами для людей, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, в посёлке Дружный в Мядельском районе, которые постоянно обеспечивают эти населённые пункты и сельскохозяйственные предприятия электроэнергией

Энергия ветра, преобразованная в электрическую, используется на автозаправочной станции, принадлежащей совместному белорусско-итальянскому предприятию «БелТрансОйл».

СП (совместное предприятие) «БелТрансОйл» в сутки потребляет 30-35 кВт/ч электроэнергии, что обходится предприятию в течение года в 50

тыс. долларов. Использование ВЭУ позволит экономить до 10% финансовых средств.

Таким образом, основная задача, стоящая перед экономикой Республики Беларусь, – оценить и использовать потенциал возобновляемых ресурсов, найти их место в топливно-энергетическом комплексе страны. Ее решение позволит снизить зависимость экономики Республики от импорта энергетических ресурсов, будет способствовать ее стабильности и развитию.

Переход к устойчивому развитию Беларуси невозможен без внедрения экологических технологий и альтернативной энергетики, энергосбережения и создания адекватной времени среды обитания в населенных пунктах. Чем раньше мы это осознаем, тем быстрее начнем переходить к устойчивому социально-экономическому развитию и гармоничному сосуществованию с природой. И если бы раньше мы тратили хотя бы 1% средств, затраченных на освоение "мирного атома" и борьбу с последствиями этого "освоения", на развитие альтернативной энергетики и энергосбережение, ситуация сейчас в энергетике и экономике была бы возможно иной, более гибкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, В.В., Чекарев К.В. Солнечная энергетика / В.В. Алексеев, К.В. Чекарев. – № 12. – М.: Знание, 1991. – 64 с.
2. Более чем достаточно? / под ред. Р. Кларка. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
3. <http://www.heimstatt-Tschernobyl.com>
4. Кононов, Ю.Д. Энергетика и экономика (проблемы перехода к новым источникам энергии) / Ю.Д. Кононов. – М.: Наука, 1981. – 202 с.
5. Кравчяня, Э.М. Охрана труда и основы энергосбережения / Э.М. Кравчяня, Р.Н. Козел, И.П. Свирид. – Минск: ТетраСистемс, 2004. – 288 с.
6. Малтинский, М. Энергию приносит ветер / М. Малтинский // Наука и жизнь. – 2005. – № 1. – С. 46–49.
7. Тёльдеш, Ю. Мир ищет энергию / Ю. Тёльдеш, Ю. Лесны. – М.: Мир, 1981. – 440 с.
8. Усковский, В.М. Возобновляющиеся источники энергии / В.М. Усковский. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 126 с.
9. Филинович, А. Время и место получать энергию из когенерационных установок / А. Филинович // Журнал «Дело». – Минск, 2008. – № 9. – С. 42–43.

**Физико-механические свойства бетона строительных конструкций,
защищенного системой «Кальматрон»**

Бортницкая А. И.

Научный руководитель – Полейко Н.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Водонепроницаемость – одна из основных технических характеристик, определяющих эксплуатационность и долговечность бетонных конструкций. Проницаемость бетона в значительной степени зависит от состава бетонной смеси, качества уплотнения, ухода за бетоном, степени гидратации цемента и условий эксплуатации конструкций. Особо остро стоит вопрос о повышении водонепроницаемости бетона в условиях эксплуатации, при которых выявлены признаки разрушения бетона.

Технологический процесс изготовления конструкций, режима тепло-влажностной обработки бетона сопряжены с большой вероятностью образования температурных, усадочных и силовых трещин, наличием зон контакта свежесушеной смеси бетонной и затвердевшего бетона, наличием водяных пленок под арматурой и крупным заполнителем. Постоянная миграция влаги в массиве бетона за счет капиллярного подсоса, испарения, перепада температур на разных поверхностях являются определяющим фактором процесса интенсификации разрушения цементного камня.

Установлено, что от параметра проницаемости в значительной степени зависит и морозостойкость, косвенно характеризующая долговечность бетона конструкции. Снижение проницаемости бетона конструкций достигается различными способами, но наиболее эффективным и радикальным, по нашему мнению, является кольматация пор и капилляров бетона. [1,2,3,4]

Состав системы «Кальматрон» представляет сухую смесь цемента, фракционированного песка и специальных химических добавок и изготавливается по ТУ РБ 190463765.365-2004 «Состав цементный защитного проникающего действия «Кальматрон». Состав «Кальматрон» предназначен для защиты капиллярно-пористых строительных материалов (тяжелых, легких, мелкозернистых и ячеистых бетонов и кирпича) от климатических и техногенных видов коррозии, для гидроизоляции строительных конструкций, сооружений, емкостей.

Основные показатели состава системы «Кальматрон» приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические показатели системы «Кальматрон»

Наименование показателя	Нормативные значения
Внешний вид	Серый порошок с серыми включениями
Влажность, % не более	2,5
Сроки схватывания, мин	
- начало, не менее	30
- окончание, не более	180
Прочность при сжатии, МПа не менее	M25
Марка по морозостойкости, не менее	F300
Марка по водонепроницаемости, не менее	W10
Коррозийное состояние стальной арматуры	Устойчиво-пассивное
Удельная поверхность, см ² /г	2874

Для проведения испытаний системы «Кальматрон» в качестве защитного покрытия на бетоне были изготовлены контрольные образцы, а также образцы бетона, предназначенные для нанесения материала. В качестве вяжущего применялся портландцемент ПЦ 400 Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы», в качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок карьера «Крапужино», крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5-20 мм Микашевичского карьера.

При проведении испытаний использованы следующие виды образцов:

Бетонные образцы-кубы размером 7,07 x 7,07 x 7,07 см для испытаний на морозостойкость, на прочность на сжатие и глубину проникновения;

Бетонные образцы-кубы размером 10x10x10 см для испытания на адгезию;

Бетонные образцы-цилиндры диаметром 15 см и высотой 5 см для испытаний на водонепроницаемость.

После изготовления бетонные образцы выдерживали в камере нормально-влажностного твердения при температуре (20±5)°С и относительной влажности воздуха 95 % в течение 28 суток, затем покрывали системой «Кальматрон».

Образцы, покрытые системой «Кальматрон», испытывали по следующим показателям:

1) определение водонепроницаемости бетона с покрытием системой «Кальматрон» при прямом и обратном давлении воды по сравнению с контрольными образцами;

2) определение морозостойкости бетона с покрытием системой «Кальматрон» в сравнении с контрольными образцами;

3) определение прочности сцепления (адгезии) покрытия системой «Кальматрон» с бетоном;

4) определение прочности при сжатии бетона, обработанного составом «Кальматрон», по сравнению с контрольными образцами;

5) определение глубины проникновения состава «Кальматрон» в бетон.

Результаты испытаний бетона с покрытием на основе состава «Кальматрон» (ТУ РБ 190463765.365-2004) по основным показателям качества по сравнению с бетоном без защиты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные показатели качества образцов бетона с покрытием «Кальматрон» и образцов без защиты

Показатель	Обозначение НТД на испытание	Результаты испытаний	
		Бетон с покрытием «Кальматрон»	Бетон без защиты
Водонепроницаемость, МПа - прямое давление - обратное давление	ГОСТ 12730.5-84	W10 W6	W2 -
Морозостойкость, циклов	ГОСТ 10060.2-95	300	200
Прочность сцепления с бетоном (адгезия) МПа	ГОСТ 28574-90	3,3	-
Прочность на сжатие, МПа	ГОСТ 10180-90	27,7	25,8

Они позволяют сделать следующие выводы.

Покрытие на основе состава «Кальматрон» обладает высокими адгезионными свойствами к бетонной поверхности (3,3 МПа).

Нанесение покрытия на основе состава «Кальматрон» на бетон позволяет увеличить марку бетона по водонепроницаемости на 4 ступени (с W2 до W10) при прямом давлении воды, на 2 ступени при обратном давлении, повысить морозостойкость бетона с 200 до 300 циклов и повысить прочность бетона на 7%.

Результаты физико-механических исследований показали, что область контакта состава «Кальматрон» с бетоном монолитна, в слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры заполнены фильтрующим веществом, а зона влияния проникновения растворимой части «Кальматрона» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

Установлено, что под поверхностью нанесенного слоя «Кальматрона» отчетливо видна область, распространяющаяся на глубину до 45 мм, более темная по цвету (имеющая статистически более низкую отражательную способность). До глубины 1,5-2 мм под поверхностью «Кальматрона» обнаруживаются заполненные фильтрующим веществом поры, с увеличением глубины число заполненных пор уменьшается, и на глубине более 4 мм

их нет. Можно утверждать, что область контакта «Кальматрона» с бетоном (толщиной до 0,5 мм) монолитна, в слое бетона до глубины 2 мм от поверхности поры частично заполнены фильтрующимся веществом, а зона влияния проникновения растворимой части «Кальматрона» прослеживается до глубины 45 мм от поверхности.

Таким образом, покрытие на основе состава «Кальматрон» на бетоне обладает высокими эксплуатационными свойствами и может быть рекомендовано для гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций в практике гражданского и промышленного строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенталь, Н.К. Защитные материалы проникающего действия для повышения долговечности конструкций / Н.К. Розенталь, В.Ф. Степанова, Г.В. Чехний // Долговечность строительных конструкций. Теория и практика защиты от коррозии. – М.: Центр экономики и маркетинга, 2002. – С. 75–79.

2. Герчин, Д.В. Особенности применения защитного состава «Кальматрон» для повышения долговечности бетонов зданий и сооружений / Д.В. Герчин // Материалы Международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». – СПб.: РИФ «Роза мира», 2007. – С. 338–343.

3. Полейко, Н.Л. Структура порового пространства бетона с добавкой «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Д.Н. Полейко // Сборник статей Международного научно-практического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров РБ». – Минск: БНТУ, 2006. – С. 126–131.

4. Полейко, Н.Л. Повышение долговечности бетона с применением состава «Кальматрон» / Н.Л. Полейко, Р.Ф. Осос, Д.Н. Полейко, С.В. Журавский // Материалы Международной конференции «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». – СПб.: РИФ «Роза мира», 2007. – С. 377–383.

**Исследование однородности керамзитопенобетона,
применяемого при монолитном изготовлении
ограждающих конструкций в несъемной опалубке**

Бортницкая А.И.

Научный руководитель – Галузо Г.С., Мордич М.М.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Керамзитопенобетон – анизотропный материал, состоящий из поризованного цементного камня и керамзита. Степень поризации бетона зависит от пористости керамзитового гравия и пористости поризованного цементного камня. Качество и однородность керамзитопенобетона зависит от заполнителей (крупного и мелкого заполнителей), качества дозировки, степени и вида уплотнителя бетонной смеси, режима тепловой обработки и других технологических факторов. При устройстве монолитного керамзитопенобетона в несъемную опалубку остро встает вопрос оценки однородности материала. Однородность бетона является одной из основных качественных характеристик бетона. Она влияет на надежность и несущую способность конструкции и сооружения в целом. Для оценки степени однородности такого материала рекомендуется применять ультразвуковое прозвучивание. [1]

Для проведения таких исследований провели укладку керамзитопенобетона с расчетной маркой по средней плотности D500 в несъемную опалубку фрагмента стены толщиной 90 мм и высотой 800 мм. После достижения бетоном проектного возраста (28 суток) провели разметку несъемной опалубки по горизонтали (10 рядов) и вертикали (4 ряда) двух противоположных сторон фрагмента по всей площади испытываемого образца согласно схеме.

Определение скорости прохождения ультразвукового импульса проводили прибором УК-10П методом сквозного соосного прозвучивания. [2] последовательно прозвучивали фрагмент парой «излучатель – приемник», установленной в каждой створе узлов (пересечении горизонтальных и вертикальных линий).

Однородность керамзитопенобетона в конструкции характеризуется величиной среднего квадратичного отклонения прочности бетона S и коэффициента вариации (изменчивости) бетона по прочности v .

Показатели однородности S и v_k для отдельной конструкции определялись по формулам:

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (R_n - R_{in})^2}, \quad (1) \quad v_k = \frac{S_k}{R_n}, \quad (2)$$

где R_n – средняя прочность бетона в одной конструкции, R_{in} – прочность бетона в одном i -том участке одной конструкции, n – число контролируемых участков в одной конструкции.

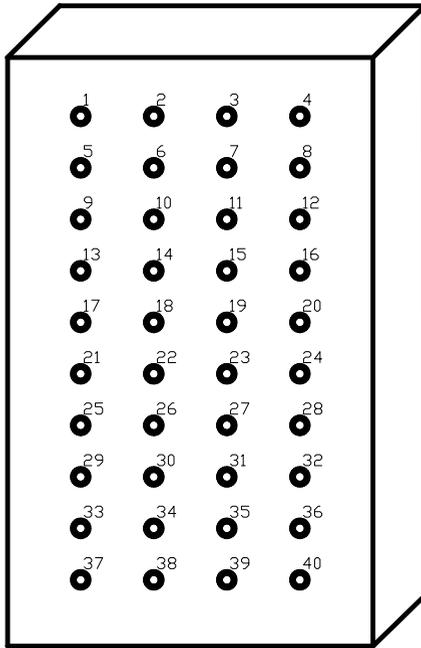


Рисунок – Расположение точек на поверхности образца

При ультразвуковом импульсном методе контроля однородность бетона определяли следующим образом. Проводили измерение скорости прохождения ультразвука в 40 точках. Затем вычисляли среднее значение скорости ультразвукового импульса (УЗИ)

Среднее квадратичное отклонение и показатель изменчивости (коэффициент вариации) значений УЗИ вычисляли по формулам:

$$S_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{V} - V_i)^2}{n-1}} \quad (3) \quad v_V^y = \frac{S_V}{V} \quad (4)$$

где \bar{V} – средняя скорость ультразвукового импульса (УЗИ), V_i – скорость УЗИ в одной точке (створе); n – число точек измерений.

Показатель изменчивости (коэффициент вариации) определяли по скорости УЗИ в отдельности по каждому горизонтальному ряду, вертикальному и в целом по фрагменту. В таблицах 1 и 2 приведены численные значения средней скорости УЗИ, среднеквадратичного отклонения S_V и коэффициента вариации v_v по горизонтальным и вертикальным рядам.

Таблица 1

№ ряда	V, м/с	S _V , в/с	v _v , %
1	2121,08	283,18	1,5
2	2218,75	313,82	6,7
3	2154,20	563,21	3,7
4	2208,17	546,99	2,4
5	2184,91	586,70	5,5
6	2130,92	621,24	4,7
7	2118,66	689,13	4,1
8	2094,15	684,30	5,1
9	1938,14	940,35	4,7
10	1914,16	980,63	5,1

Таблица 2

№ ряда	V, м/с	S _V , в/с	v _v , %
1	2322,17	39,84	1,7
2	2460,43	44,72	3,3
3	2473,66	98,05	3,9
4	1172,70	444,01	37,8

Следует отметить, что при оценке однородности керамитопенобетона по горизонтальным рядам один результат скорости УЗИ из 4-х был исключен, т.к. он оказался аномальным при проверке на достоверность. [3]

Из анализа данных, приведенных в таблице 1, следует, что коэффициент вариации скорости прохождения УЗИ по 10 горизонтальным рядам находится в пределах от 1,5 до 6,7%, что свидетельствует о достаточно высокой однородности материала по ширине исследуемого фрагмента.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что коэффициент вариации по трем вертикальным рядам составляет 1,7-3,9%, а по 4-му ряду – 37,9%. Полученный результат по 4-му вертикальному ряду свидетельствует о наличии дефектов в этой зоне, что подтверждается и существенно отличающейся скоростью прохождения УЗИ, в среднем в 2 раза меньшей, чем в 1-3-х вертикальных рядах

Показатель изменчивости прочности бетона v_V^{δ} по данным ультразвуковых испытаний определяли по формуле:

$$v_V^{\delta} = \alpha \rho v_V^Y, \quad (5)$$

где α находится в пределах от 1,05 до 1,3 и рассчитывается по эмпирической зависимости

$$\alpha = \frac{1,027v_V^Y + 1,446 \cdot 10^{-2} \beta}{v_V^Y}, \quad (6)$$

где β – коэффициент, учитывающий средние результаты при прозвучивании бетона толщиной менее 0,2 м, определяемый по графику (равен 1,3).

Оценку качества бетона проводят по величине показателя бетона v_v^{β} . При значении $v_v^{\beta}=0,1$ качество бетона считают отличным, при $v_v^{\beta}=0,1 \dots 0,15$ – хорошим и при $v_v^{\beta}=0,15 \dots 0,2$ – удовлетворительным.

Оценивая качество пенобетона по прочности по формуле (5) с учетом результатов ультразвуковых испытаний, можно сделать вывод, что керамзитопенобетон по однородности соответствует хорошему качеству.

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Галузо, Г.С. Методы исследования и контроля строительных материалов / Г.С. Галузо. – Минск: Дизайн ПРО, 1996. – Ч. 2: Современные методы контроля технологических процессов и качества готовых строительных материалов и изделий. – 67 с.
- 2) Джонс, Р. Неразрушающие методы испытаний бетонов / Р. Джонс, И. Фэкзоару: пер. В.М. Маслбойщиков. – М.: Стройиздат, 1974. – 296 с.
- 3) Бетоны. Бетоны. Правила контроля прочности: ГОСТ 18105-86.

В мире керамической плитки

Брухан Т.А., Гусь О.В.

Научный руководитель – Широкий Г.Т

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Керамическую плитку получают из смеси различных составов глин, кварцевого песка и других компонентов, спрессованной и обожженной при высокой температуре. В зависимости от исходного сырья она может быть: из красной, белой или цветной массы, фаянсовой или фарфоровой смеси и др. По международным нормам ISO керамическая плитка делится на 11 групп по двум основным показателям – влагопоглощению и способу изготовления (спрессование или экструдирование). Наиболее прогрессивная технология – экструдирование.

Основными техническими характеристиками керамической плитки, определяющими ее качество, являются внешние показатели, прочность, твердость, пористость, водопоглощение (влагопоглощение), истираемость, гигиеничность, устойчивость к воздействию химических реагентов и др. По ряду внешних показателей оценка может быть визуальной. Например, поверхность плитки должна быть идеально ровной и гладкой, без трещин, сколов, инородных включений, выпуклостей и вогнутостей. Проверить это можно, если приложить две плитки друг к другу. Между ними не должно быть просветов.

В силу ряда причин плитки могут различаться в размерах. Допускаемая разница в размерах устанавливается нормами. При этом фактический размер указывается на упаковке рядом с номинальным. Например, 20x20 см (W 198 mm x 198 mm), где 198 мм и есть фактический размер; или 20x20 – Калибр 01. Калибр – это маркировка фактического размера плитки. Но и в пределах одного калибра существует допуск в 0,5 мм.

Абсолютно одинаковым должен быть и цвет (тон) плиток во всей партии. Ограничивается также пористость, водопоглощение, морозостойкость и прочность керамических плиток. Например, водопоглощение настенной плитки не должно превышать 16 %, в то время как напольной – не более 4,5 %. Вместе с тем водопоглощение керамического гранита составляет менее 0,05 %. Чем ниже водопоглощение, тем выше ее плотность, прочность, морозостойкость и, как правило, дольше срок эксплуатации. Предел прочности при сжатии должен составлять 100...130 МПа, при изгибе – 15...30 МПа.

Твердость керамической плитки показывает ее способность противостоять появлению царапин при воздействии абразивных веществ. Кварц-

содержащий песок (а именно он является главным абразивом для напольных материалов) имеет по шкале Мооса твердость 7 баллов. Следовательно, чтобы на поверхности плитки не оставались царапины, она должна обладать более высоким показателем по твердости. При этом царапины на матовой поверхности не так заметны, как на блестящей. Например, твердость матовой поверхности керамического гранита составляет 8 баллов.

Износостойкость (устойчивость к истиранию) является одной из главных характеристик для напольной плитки. По устойчивости к поверхностному истиранию напольные керамические плитки согласно Европейским и Международным стандартам (EN 154 и ISO) подразделяются на группы (классы): от группы (PEI I) до группы (PEI V). Испытания предусматривают вращение на поверхности плитки специального абразивного материала (корунда). Для класса (PEI I) не должно быть следов на поверхности плитки после 150 оборотов. Для класса (PEI V) не должно быть следов после 12 000 оборотов. В зависимости от класса они могут быть рекомендованы:

PEI I – для ванной комнаты, спальни и других помещений с малой интенсивностью движения, низкой посещаемостью и отсутствием загрязнения, не имеющих прямого выхода на улицу;

PEI V – для магазинов, ресторанов, аэропортов, супермаркетов и других общественных мест с высокой посещаемостью и большим количеством загрязнения.

Степень изнашиваемости неглазурованной плитки во многом зависит от типа завершающей обработки лицевой поверхности – шлифовки, полировки, пропитки синтетическими составами и т.п. Наибольшей износостойкостью отличаются неглазурованный керамогранит и клинкер.

Помимо описанных характеристик, немаловажным параметром любой напольной керамической плитки является характеристика ее безопасности (сопротивление скольжению). Измеряется коэффициентом трения. С ростом коэффициента трения уменьшается риск поскользнуться. Согласно Международным нормативам выделяют четыре категории безопасности: 0...0,19 – опасно; 0,2...0,39 – на грани опасно; 0,4...0,74 – удовлетворительно и выше 0,74 – отлично.

Немаловажной характеристикой глазурованной керамической плитки является выделение свинца и кадмия, которые могут входить в состав глазури.

Обжиг керамической плитки является не только самой затратной технологической операцией, но и определяющей ее качественные характеристики. Различают плитки одинарного, двойного и даже тройного обжига. Наиболее массовыми в мире являются технологии двойного и одинарного обжига или по итальянской транскрипции «бикоттура» и «монокоттура» соответственно.

По технологии «бикоттура» получают майоликовую, фаянсовую и другие виды плиток. При этом технология «бикоттура» насчитывает не одну сотню лет.

Майоликовую плитку называют еще глазурированным фаянсом - *faenza smaltata*, или глазурированной терракотой - *terracotta smaltata*. Изготавливают ее из высокопластичных беложгущихся или мергелистых глин с добавлением мела. Черепок у таких плиток пористый. Поэтому после обжига лицевую поверхность покрывают белой глазурью, наносят роспись и повторно обжигают. Слой глазури обеспечивает плиткам полную водонепроницаемость и высокие декоративные качества. Толщина таких плиток 12 мм и более.

Фаянсовые плитки делают из огнеупорных глин с добавками кварцевого песка и полевого шпата, понижающего температуру плавления. Лицевая сторона тоже покрывается глазурью. Толщина их, как правило, 4...6 мм, что в два и более раза тоньше. До недавнего времени такую плитку коробчатой формы называли «кафельной» от немецкого «*Kachel*» и использовали для облицовки печей. Русское старинное название – *изразцы*.

Не рекомендуется использовать такую плитку для настилки полов (глазурь легко царапается) и для наружной облицовки (пористый черепок зимой быстро вызовет разрушение).

Плитку одинарного обжига «*монокоттура*» (от итальянского «*monokottura*») получают по более современной технологии практически вытесняющую технологию двойного обжига. Весь процесс производства укладывается в один цикл обжига: смесь прессуют, подсушивают, покрывают глазурью, наносят рисунок и обжигают все за один раз. В результате глазурь намертво спекается с основой (черепком).

Такие плитки имеют более плотное строение и соответственно более высокие прочностные характеристики. Однако в процессе производства монокоттура подвергается повышенной усадке, а, следовательно, имеет незначительные расхождения в размерах. Поэтому в продажу она поступает разделенной на партии по калибру. Изделия одинарного обжига подходят для облицовки стен, пола, а морозостойкие разновидности и для фасадов зданий.

Плитка из фарфоровой керамики выпускается под различными названиями, в том числе: керамический гранит, грес, колормасса и др. Как правило, все они имеют общую сырьевую и технологическую базу, но, в то же время, каждая из фирм-производителей имеет свои ноу-хау, обеспечивающие им производство продукции с более высокими качественными показателями. Исходными составляющими таких плиток тоже являются каолины, полевой шпат нескольких видов, кварц и другие компоненты. Для получения различных оттенков и эстетических эффектов в массу смеси при

изготовлении добавляют окрашивающие вещества (как правило, оксиды различных металлов).

Плитка из фарфоровой керамики имеет очень плотную, почти стеклянную, поверхность и высокую механическую прочность.

Производство *керамического гранита* или керамогранита (от итальянского «*gres porcellanato*», что в переводе *porcellanao* – фарфор, *gres* – каменно-керамическое изделие) представляет собой одну из новейших технологий в керамическом производстве и ее наивысшую стадию развития. Керамогранит получают из смеси двух и более глин высокого качества с добавлением кварца, полевого шпата и природных пигментов. Смесь прессуют под очень высоким давлением, подсушивают и обжигают при высоких температурах, какие только возможны в производстве керамики. Сырье при этом спекается, образуя монолит. В результате получается витрофицированный, очень плотный и прочный черепок с рисунком на всю глубину.

Производство керамогранита практически повторяет процесс формирования природного камня – гранита. Поэтому керамогранит является альтернативой природному граниту, но более дешевой и одновременно с более высокими качественными показателями. В Республике Беларусь керамический гранит выпускается по классической итальянской технологии, и получил название – *gres*.

По фактуре поверхности керамогранит бывает неполированным (матовым), полуполированным, полированным, сатинированным (лошеным), структурированным, ректифицированным, глазурированным. Матовый керамогранит не подвергают дополнительной обработке, он сохраняет фактуру, которую приобрел на выходе из обжиговой печи. Его поверхность не блестит, зато характеризуется высокой твердостью.

Полуполированный и особенно полированный керамогранит более капризен: обработка абразивными материалами, с одной стороны придает им зеркальный блеск, а с другой – снижает износостойкость. Так же, как полированный натуральный камень, эти виды керамогранита нужно регулярно обрабатывать специальными мастиками, создающими дополнительный защитный слой.

При производстве сатинированного керамогранита на поверхность плиток перед обжигом наносится слой минеральной солей, в результате чего материал приобретает своеобразный мягкий блеск. Его структура и эксплуатационные характеристики при этом сохраняются.

Для получения структурированного керамогранита применяют фигурные пресс-формы. Готовый материал может имитировать фактуру скалы, дерева или иметь противоскользящие насечки.

Ректифицированный керамогранит после обжига подвергается калибровке, т.е. кромки плиток обрезаются с помощью алмазных дисков. Это позволяет после укладки получать единую бесшовную поверхность.

Глазурованный керамогранит способен имитировать практически любые текстуры (мрамор, дерево), не прибегая к дорогостоящему сквозному окрашиванию. Однако в местах с интенсивным движением глазурованный каменный фарфор лучше не использовать – слой глазури со временем истирается.

Размеры изделий из керамогранита могут быть от самых маленьких плиток (5x5 см) до наиболее популярных (20x20, 30x30, 40x40 см) и большеформатных плит (60x60, 60x120 и 120x180 см) при толщине от 7 до 30 мм. Чаще всего используют плитку толщиной от 8 до 14 мм.

Применять керамический гранит можно в любых помещениях независимо от того, какие механические нагрузки будут на него воздействовать. Рекомендуемая область применения, прежде всего, определяется типом плитки. Например, за плиткой с неполированной поверхностью труднее ухаживать. Плитка с полированной поверхностью больше подходит для закрытых помещений, поскольку влажная поверхность может быть скользкой и небезопасной для здоровья. Вместе с тем полированные плитки грязеотталкивающие.

Клинкер (от итальянского “*clinker*”) выпускается в виде кирпича, плитки и элементов сложной геометрической формы. Получают, как правило, из тугоплавких глин с добавлением окисей-красителей, флюсов и стекловидного шамота путем экструзии или методом прессования. Обжиг ведут при более высоких температурах (до спекания).

Клинкерная плитка выпускается глазурованной и неглазурованной, одинарного обжига и, как правило, без рисунка. В результате она приобретает достаточно высокие механические показатели, а экструзия позволяет получать плитку или конструктивные элементы сложной геометрической формы (уголки, цоколи, ступени, соединительные детали, водостоки и т.п.). Такая плитка имеет низкую пористость, высокую прочность и стойкость к истиранию и химическим агентам, что делает ее особо пригодной для устройства внутренних и наружных полов, лестниц, а также для облицовки наружных стен и плавательных бассейнов.

О роли стерической составляющей в механизме пластификации цементных систем

Державцев С.С.

Научный руководитель – Юхневский П.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В конце 80-х годов XX-ого века были синтезированы суперпластификаторы нового типа, существенно различающиеся по своей химической структуре, имеющие привитые боковые длинные цепи. Основная цепь молекулы пластификатора обычно выполняет две функции: место размещения точек связывания (с поверхностью частицы цемента) и предоставление точек закрепления для боковых цепей молекулы. Подвесные боковые цепи являются стерическими или физическими преградами для повторного группирования рассеянных частиц цемента.

Молекулы добавок пластификаторов в начальный момент взаимодействия минералов цемента с водой равномерно распределены во всей воде затворения. Начальным процессом взаимодействия является адсорбция химических добавок на гидратных новообразованиях цемента. В случае ионогенных ПАВ наблюдается, как правило, хемосорбция, в результате которой заряженные ионы внедряются в кристаллическую решетку гидратов минералов клинкера, одновременно вытесняют часть молекул воды из адсорбционного слоя в диффузный, что повышает подвижность системы. Вода выталкивается по той причине, что энергия связей кальция с кислородом ионогенных групп (сульфо-, нитро-групп и других), в два раза выше, энергии связей кальция с кислородом воды.

По мере связывания воды гидратированные частицы сближаются, растут силы взаимодействия в системе, в том числе между ионизированными группами химдобавок и гидратированными ионами кальция. В результате усиливается десорбция химдобавок с одних фаз гидратированного цемента и перераспределяется на другие фазы. В итоге уменьшается блокировка цементных частиц и ускоряется процесс твердения. Расчеты показывают, что суммарная посадочная площадь для пластификатора С-3, введенного в количестве 0,6–0,8 % от массы цемента значительно меньше удельной поверхности гидратированных зерен цемента в бетонной смеси, что позволяет говорить об итоговой адсорбции в монослое (для периода формирования кристаллизационной структуры).

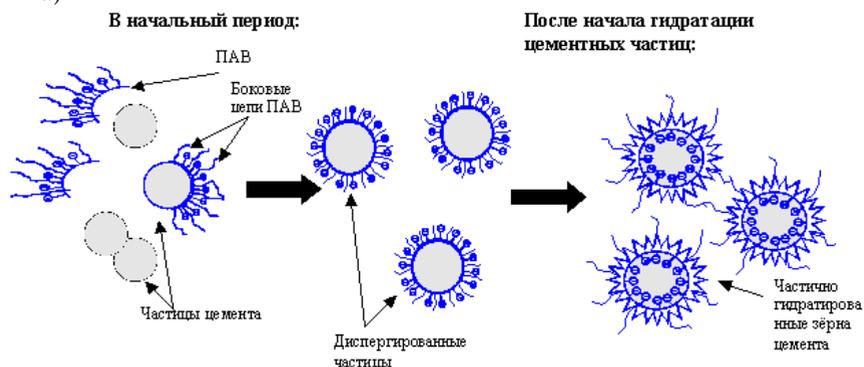
В процессе адсорбции не все функциональные группы добавки связываются поверхностью. Часть активных групп и отдельные сегменты добавки, особенно высокомолекулярных, имеют размеры соизмеримые с тол-

щиной диффузного слоя, ориентируются нормально к поверхности адсорбента и способствуют формированию пространственной структуры диффузного слоя. При сближении частиц проявляется эффект стерического отталкивания. Вклад сил стерического отталкивания особенно проявляется при низких В/Ц (для высококонцентрированных суспензий), когда при сближении частиц происходит перекрытие диффузных слоев. Боковые цепи и сегменты добавок за счет латеральных взаимодействий (электростатические взаимодействия свободных заряженных групп, взаимодействие гидрофобных радикалов, полярных частей молекулы и др.) вносят свой вклад в общую энергию сил стерического отталкивания в цементно-водной композиции и соответственно в эффект пластификации цементных композиций.

На поверхности частиц цемента создается структурированный гидратный слой, стабилизируемый за счет взаимодействия молекул воды с полярными функциональными группами в боковых цепях или свободных сегментах добавок, ослабляющий силы взаимодействия между частицами, растет подвижность и сохраняемость бетонной смеси.

В зависимости от вида и количества функциональных групп в молекуле добавки, наличия привитых боковых цепей в процессе пластификации цементной композиции может преобладать электростатический эффект за счет выталкивания молекул воды из адсорбционного слоя в диффузный, а также взаимодействия заряженных функциональных групп (обычные пластификаторы и суперпластификаторы) или стерический эффект действия добавки в диффузном слое (суперпластификаторы и гиперпластификаторы). При этом эффективность добавки по части замедления или ускорения твердения цемента зависит от конформационной структуры молекулы, вида и положения функциональных групп, молекулярной массы.

а)



б)

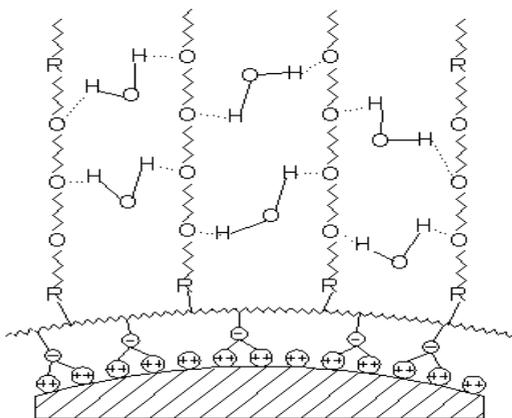


Рисунок – Схема пластификации (а) и модель взаимодействия (б) для гиперпластификаторов: $\oplus\oplus$ – ионы кальция; \ominus – функциональные группы добавок

ЛИТЕРАТУРА

- 1) Иванов, Ф.М. Добавка для бетонных смесей – суперпластификатор С-3 / Ф.М. Иванов [и др.] // Бетон и железобетон. – 1978. – № 10. – С. 13–16.
- 2) Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны / В.Г. Батраков. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.
- 3) Баженов, Ю.М. Влияние молекулярных масс СДБ на свойства бетона / Ю.М. Баженов [и др.]. // Бетон и железобетон. – 1980. – № 6. – С. 11–12.
- 4) Фаликман, В.Р. Новое поколение суперпластификаторов / В.Р. Фаликман, А.Я. Вайнер, Н.Ф. Башлыков // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 5–7.
- 5) Юхневский, П.И. Квантовохимические расчеты свойств молекул пластифицирующих добавок С-3 и ЛСТ в зависимости от степени поликонденсации / П.И. Юхневский, В.М. Зеленковский // Проблемы современного бетона и железобетона: сборник трудов II международного симпозиума. Ч. 2: Технология бетона. – Минск: Минсктипроект, 2009. – С. 439–447.
- 6) Волков, В.А. Коллоидная химия (поверхностные явления и дисперсные системы) / В.А. Волков. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001. – 640 с.
- 7) Вовк, А.И. Современные представления о механизме пластификации цементных систем / А.И. Вовк // II Всероссийская конференция по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – пути развития». Т. 3: Технология бетона. – М., 2005. – С. 740–753.

**Получение высокопрочного и высококачественного песка
стабильного модуля крупности**

Дубовик Н.С.

Научный руководитель – Гурбо Н. М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Значительное влияние на прочность и долговечность бетонных изделий оказывает качество заполнителей и, в частности, мелкого заполнителя – песка. Установлено, что использование чистого песка оптимального зернового состава не только повышает прочность и долговечность бетона, но и экономит до 20% цемента.

Природные пески чаще всего неоднородны по составу, содержат сторонние примеси и поэтому не могут быть использованы в качестве заполнителя для бетона без предварительного обогащения при строительстве важных объектов. Подлежащий обогащению исходный материал обычно разделяют на две, три и более фракций в зависимости от требований к готовой песчаной смеси, а затем полученные фракции смешивают в определенных пропорциях, чтобы получить конечный продукт с желаемым зерновым составом.

Разделение на фракции строительных песков естественной влажности (4–7%) почти всегда нарушает механическую связь между отдельными мелкими зернами вследствие присутствия в материале глинистых включений. Для диспергации и удаления глины необходима промывка материала в воде. А поскольку вода может быть использована и как среда для разделения на фракции, то, как показала практика, наиболее экономичным и эффективным методом обогащения песков является гидравлическая классификация.

Гидравлической классификацией называют процесс разделения минеральных зерен в жидкости по скоростям их падения. Осуществляют гидравлическую классификацию в аппаратах, называемых классификаторами.

Процессы классификации и обогащения материалов могут быть осуществлены следующими методами:

Классификация по крупности, позволяющая разделить исходный материал на требуемые классы (фракции).

Промывка, позволяющая повысить качество минерального сырья путем удаления из него загрязняющих примесей;

Гравитационный метод классификации, основанный на различии плотности зерен материала;

Получение высококачественного и высокопрочного песка обеспечивается за счет удаления зерен слабых пород и сортировкой песка на нужные нам фракции. В итоге, мы получаем высококачественный песок улучшенного зернового состава, с применением специального обогатительного оборудования.

При гидравлической классификации частицы материала разделяются на фракции по скорости падения частиц, которые при свободном падении определяются размером, формой, плотностью частиц, а также свойствами жидкости.

Скорость падения твердого тела зависит от разности силы тяжести твердого тела и силы сопротивления жидкости. Сила сопротивления зависит от объема, формы и скорости движения тела.

В результате сравнительных испытаний выявлено, что на эффективность классификации песка во всех классификаторах величина граничного зерна практически не влияет. Эффективность зависит от производительности по твердому продукту и от удельного расхода воды в приемно-разделительной и классификационной камерах. Чем выше производительность классификаторов по исходному песку и меньше удельный расход воды на 1 м^3 песка, тем ниже эффективность классификации.

Широкое применение при гидравлической сортировке песков находят камерные классификаторы.

Классификатор камерного типа представляет собой деревянный ящик (корыто) 1, в нижней части которого имеются карманы 2, где и оседают зерна. Под каждым карманом крепится чугунный цилиндр 3 с конической нижней частью. Для предупреждения уплотнения материала служат вертикальные полые валы 4 с лопастями, приводимые во вращение от общего горизонтального вала 5 через червячные редукторы 6. Число оборотов вертикального вала — 1-3 *об/мин*. Внутри вертикальных полых валов 4 проходит стержень с пробкой на нижнем конце, запирающей выпускное отверстие. Через указанное отверстие подается восходящий поток воды, который подводится через специальные насадки 7 по касательной, чем обеспечивается вращательное движение воды, улучшающее классификацию.

Песок крупностью меньше 5 мм подается в пульпообразователь 1 гидроклассификатора, где он смешивается с водой в соотношении Т : Ж = 1 : 1 (до 1 : 1,5). В пульпообразователь также может подаваться пульпа с указанным соотношением Т : Ж. В этом случае он будет выполнять функцию приемного лотка.

Получение фракций требуемых размеров производится путем регулирования подачи количества воды в классификационные камеры. Чем меньше напор воды, тем более тяжелые зерна оседают в карманах, удаля-

ются, а более легкие примеси отводятся с отходящей водой. При увеличении же потока воды, увеличивается и размер зерен отводимых с водой. Разгрузка песка из классификационных камер происходит при постоянной заданной плотности пульпы, что обеспечивает выход продукта из камер со стабильным зерновым составом и плотностью.

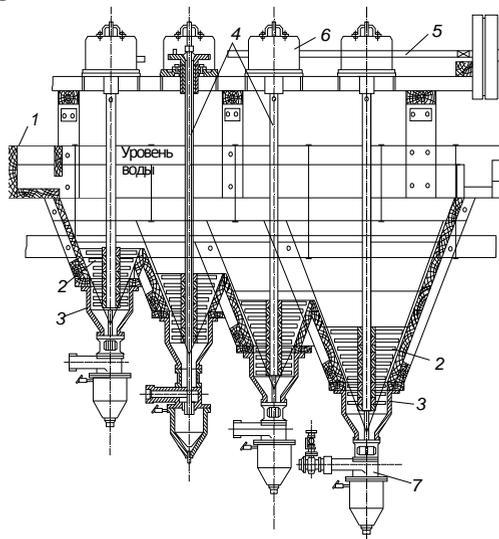


Рисунок – Классификатор камерного типа:

- 1 – корыто; 2 – карман для оседания зерен; 3 – чугунный цилиндр;
4 – вертикальные полые валы; 5 – общий горизонтальный вал; 6 – червячный редуктор; 7 – специальные насадки

Таким образом, применение четырехкамерного гидравлического классификатора позволяет получать пески крупного, среднего, мелкого модуля крупности. Что дает возможность использовать полученный песок в различных строительных целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман. – М.: Машиностроение, 1975.
2. Сапожников, М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М.Я. Сапожников. – М.: Высшая школа, 1971.
3. Песок для строительных работ. Технические условия: ГОСТ 8736-93.

Машины для сортировки каменных материалов

Жеребцова Е.В

Руководитель – Гурбо Н.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Процесс разделения сыпучих материалов на классы по крупности путем просеивания через одно или несколько сит называется грохочением.

Грохочение осуществляется при помощи специальных машин. Оно может производиться механическим, гидравлическим, воздушным и магнитным способами. Наиболее распространен механический способ, при котором дробленую массу разделяют путем просеивания на грохотах.

Основной частью аппаратов для грохочения (грохотов) является рабочая поверхность, изготавливаемая в виде проволочных сеток (сит), стальных перфорированных листов (решет) или параллельных стержней (колосников).

Показатели процесса грохочения во многом зависят от конструкции просеивающей поверхности, а именно от размеров поверхности, размера и формы отверстий.

Просеивающая поверхность может различаться по типу переплетения тканей.

Гладкое переплетение (рис. 1). Каждая проволока огибается в основе или утке и это регулярно чередуется. Этим способом чаще всего переплетаются ткани.

Киперное переплетение (рис. 2). Всегда две проволоки изогнуты через одну с последующим их смещением. Этот способ переплетения выбирается, прежде всего, тогда, когда проволока слишком толстая по отношению к размерам ячеек, или тогда, когда ткань слишком тонкая, так что проволока при её загибе в тканевом переплетении не держится.

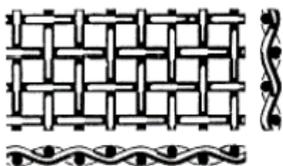


Рисунок 1 – Гладкое переплетение

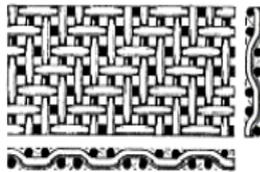
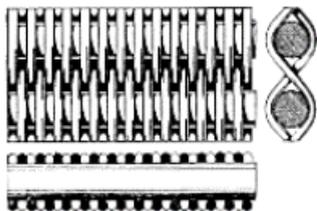


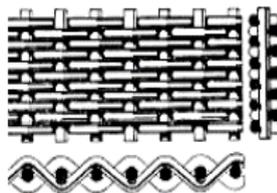
Рисунок 2 – Киперное переплетение

Фильтровальная броневая ткань (рис. 3). В отличие от сеток с тканевым переплетением, большая часть проволок находится в структуре основы. Поэтому проволоки утка гораздо толще, чем проволоки основы. Эта спе-

циальная конструкция отличается большой стабильностью и обеспечивает хорошую пропускную способность плетёной сетки.



**Рисунок 4 – Фильтровальная
броневая ткань**



**Рисунок 5 – Фильтровальная ткань в
гладком переплетении**

Фильтровальная ткань в гладком переплетении. Проволоки утка располагаются так близко друг к другу, что получаются «нулевые отверстия». Проволоки основы толще, чем проволоки утка. Основным достоинством этих тканей является хорошая пропускная способность, обеспечиваемая одинаковыми отверстиями, и простота в очистке.

Фильтровальная ткань в киперном переплетении. Проволоки утка переплетены киперной вязкой и располагаются вплотную друг к другу. Одна проволока утка всегда находится над основообразующей проволокой, другая – под ней. В сравнении с гладким переплетением этот способ требует вдвое большего количества проволоки.

Формы отверстий сит.

Арфаобразные сита предназначены для трудной сортировки сыпучих и влажных материалов с зёрнами сферической, кубической формы, зёрен плоской и остроконечной формы. Благодаря большой площади сита имеют большую сортировочную способность, но более короткий срок службы, чем проволочные сита с ортогональной ячейкой. Арфаобразные сита способны самоочищаться.

Плетеные сита с ортогональной ячейкой. Форма ячейки может быть квадратной или прямоугольной. Чаще всего изготавливаются из износостойкой пружинной стали.

Пальцеобразные сита. Пальцевые сита имеют большую свободную поверхность и достаточно большой наклон. Это позволяет на относительно небольшой сортировочной машине достичь высокой производительности. Сито минимально засоряется благодаря вибрации отдельных проволочек. Пальцевое сито это единственное сито, которое на одной поверхности может отсеять из крупной фракции мелкие частицы, например, удаление отсева (отбитых частей) из дорожного щебня или удаление глины на границе 10 -20 мм из щебня 0 – 150 мм.

Качество грохочения, производительность и срок службы просеивающей поверхности во многом предопределяются конструкцией ее крепления к корпусу грохота. Таким образом, долговечность сита зависит не только от материала, из которого оно изготовлено. Слабое натяжение сита приводит к его быстрому выходу из строя. Поэтому особенно при использовании плетеных сит конструкция крепления должна обеспечивать постоянное и равномерное натяжение сита, исключающее излом проволок сетки.

В последнее время используют резиновые штампованные или литые армированные листы-решета или сетки из резинового шнура (струнные сита). При эксплуатации таких сит установлено, что при грохочении абразивных материалов резиновые сита экономичнее сит с металлическими поверхностями грохочения. Кроме того, например, при грохочении материалов, склонных к налипанию, грохот, оборудованный струнной резиновой поверхностью, имеет более высокую производительность и эффективность грохочения, так как вследствие возбуждения дополнительных колебаний в резиновых струнах они почти не забиваются.

По исполнению и типу привода грохоты делят на неподвижные колосниковые, барабанные вращающиеся, эксцентрикковые и инерционные виброгрохоты.

Неподвижные грохоты состоят из рабочего органа неподвижной просеивающей поверхности и установки для ее крепления. Они подразделяются на: колосниковые, дуговые, конические. Колосниковые грохота имеют наклонную поверхность и ячейку свыше 50 мм и применяются для грубой сортировки крупнокусковых материалов. Дуговые и конические грохота используются для обезвоживания и грубой сортировки, отличаясь формой самого грохота.

Барабанные грохоты имеют наклонный, под углом $5...7^\circ$, вращающийся барабан, состоящий из секций с различными размерами отверстий. Загрузка осуществляется в секцию с меньшими размерами отверстий. При трехсекционном барабане получают четыре фракции щебня. Диаметры барабанов таких грохотов 600...1000 мм при длине 3...3,5 м. Частота вращения грохота зависит от его диаметра и составляет $15...20 \text{ мин}^{-1}$. При большей частоте грохочение прекращается. Производительность их $10...45 \text{ м}^3/\text{ч}$ при мощности двигателя 1,7...4,5 кВт. В связи с низким качеством грохочения и большим расходом энергии барабанные грохоты имеют ограниченное применение.

Эксцентрикковые грохоты применяются для более тяжелых условий работы на промежуточных процессах грохочения. Они обеспечивают стабильность амплитуды колебаний корпуса, независимо от величины нагрузки, и легче поддаются виброизоляции, чем инерционные. Эксцентрикковые грохоты изготавливают с двумя ситами размером 1500x3750 мм и амплиту-

дой колебаний 3...4,5 мм и частотой колебаний 800...1400 в минуту. Производительность грохотов колеблется от 15 до 300 м³/ч.

Инерционные виброгрохоты делятся на инерционные наклонные (угол наклона сит 10...25°) и инерционные горизонтальные. Они могут быть круговыми, эллиптическими или прямолинейными (грохоты с пластинчатыми рессорами). Наиболее эффективны грохоты на пружинных опорах. Такие грохоты применяют для тяжелых условий работы при товарном грохочении, а также для предварительного грохочения крупнокусковых материалов перед первичным дроблением (вместо сит устанавливают колосниковые решетки в один ярус). Размеры просеивающей поверхности сит 1750x1450 мм, частота вращения вала вибратора порядка 800 мин⁻¹, амплитуда колебаний 3,7...4,5 мм. Эффективное сортирование достигается с вибраторами направленного действия. Угол действия между возмущающей силой и плоскостью сит составляет 35...45°. Короб с ситами опирается на основание через вертикальные пружины. Размеры просеивающей поверхности сит таких грохотов 1250x3000 мм, частота колебаний 500... 700 в минуту, амплитуда колебаний 8... 12 мм, мощность приводного двигателя 5,5 кВт.

Горизонтальные виброгрохоты с направленными колебаниями обеспечивают большую удельную производительность и лучшее качество грохочения по сравнению с наклонными.

В Беларуси и странах СНГ используют следующие грохоты:

- Контейнерный грохот RESTA TK5 мощностью 40-80 тонн в час применяется при обработке кирпичной осыпи, песка, раздробленного натурального заполнителя, бетона, щебня, материалов из выемок грунта. На входе максимальный кусок обрабатываемого вещества может достигать 600 миллиметров.

- Контейнерный грохот RESTA TK1 производительностью 10-50 тонн в час и массой 1,8 тонн используется при обработке песка, щебня, грунта, кирпичной осыпи, строительного мусора, бетона. На входе максимальный кусок обрабатываемого материала может иметь размер 150 миллиметров, а на выходе размеры могут колебаться в пределах 4-63 миллиметра.

- RESTA TK1 предназначен для сортировки неклеящих материалов. Из грохота выходят две фракции сортированного материала в зависимости от примененной ситовой площади этой машины. Агрегат можно применить или первично или вторично, присоединяя его за контейнерную дробилку RESTA СК4 для сортировки раздробленного материала на две выходные фракции.

ЛИТЕРАТУРА

Строительные машины: учебник для вузов по спец. ПГС / Д.П. Волков, Н.И.Алешин, В.Я.Крикун, О.Е.Рынсков; под ред. Д.П. Волкова. – М.: Высш. шк., 1988.

Свойства цемента и цементного камня с минеральной добавкой в виде молотого гранитного отсева

Китаева Т.Н., Клочко С.А.

Научный руководитель – Смоляков А.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В своей работе мы проанализировали влияние минеральной добавки – порошкообразного продукта помола гранитного отсева на свойства вяжущего путем испытания цемента по стандартным методикам: определение нормальной плотности, сроков схватывания, равномерности изменения объема и активности.

В экспериментах использовали портландцемент номинальной марки М500-Д0 со следующими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики портландцемента

Активность, МПа: $R_{ц}$	$K_{нг}$, дол.ед.	$\rho_{ц}^0$, кг/м ³	$\rho_{ц}$, кг/м ³	Равномерность изменения объема	$S_{уд}$, см ² /г
46,7	0,28	1090	3100	норма	2980

Минеральную добавку готовили помолом в шаровой мельнице навесок (5 кг) гранитного отсева предварительно высушенных до остаточной влажности не более 0,5 % (определена для высушенного отсева, хранившегося в помещении лаборатории ($t \sim 18^{\circ}\text{C}$; относительная влажность – $\varphi \sim 60 - 70\%$) «навалом» в открытой емкости).

Для экспериментов отобраны пробы порошка (таблица 2) с $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ (0,5 ч помола); $S_{уд} \sim 6000 \text{ см}^2/\text{г}$ (1 ч 45 мин помола), $S_{уд} \sim 9000 \text{ см}^2/\text{г}$ (3 ч 45 мин помола).

Таблица 2 – Характеристики минеральной добавки

Удельная поверхность порош- ка, $S_{уд}$, см ² /г	ρ^0 , кг/м ³	ρ^B , кг/м ³	ρ , кг/м ³	$K_{нг}$, дол.ед.
3000	0,95	1,21	2,72	0,18
6000	0,93	1,21	2,74	0,20
9000	0,92	1,20	2,75	0,25

Нормальная плотность цемента с добавкой

Из данных эксперимента следует, что введение в цемент с $K_{нг} \sim 0,28$ вещества добавки, характеризующейся меньшей водопотребностью, коэффициент нормальной плотности смешанного вяжущего снижается; при этом

на более значительную величину для добавки с $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$, которая характеризуется меньшим значением собственной водопотребности.

При измельчении добавки до $6000 - 9000 \text{ см}^2/\text{г}$ ее водопотребность возрастает, как результат увеличения удельной поверхности при соответствующем росте ее электростатического потенциала, который характеризует адсорбционную способность поверхности твердой фазы. Вследствие этого величина ее собственного «Кнг» приближается по значению к «Кнг» цемента и в меньшей степени влияет на изменение водопотребности смешанного вяжущего.

Сроки схватывания

Изменение сроков схватывания определили по стандартной методике ГОСТ 310.3-88 с помощью прибора Вика на тесте нормальной густоты. Данные эксперимента свидетельствуют о том, что введение в цемент минеральной добавки в виде тонкомолотой гранитной породы несколько увеличивает сроки схватывания как с ростом ее дозировки, так и тонкости помола. Данное явление связано с соответствующим уменьшением доли клинкерной составляющей в смешанном вяжущем, вступающей во взаимодействие с водой. Как известно результатом этого взаимодействия на начальном этапе является физико-химическое связывание воды продуктами гидролиза и гидратации клинкерных минералов и поверхностью других твердофазных компонентов бетона, что составляет физическую сущность процесса схватывания цементного теста и бетона.

Равномерность изменения объема

Проверка данного показателя по методике ГОСТ 310.3-88 п.3, т.е. с пропариванием «лепешек» из теста нормальной густоты проверяемого вяжущего, показала, что введение в цемент до 50 % от его массы минеральной добавки молотого гранитного отсева не вызывает не равномерности изменений объема. Одновременно, при дозировках добавки ≥ 30 % от МЦ и, особенно, для $S_{уд} \sim 9000 - 6000 \text{ см}^2/\text{г}$ нарастает проявление усадочных трещин по центральной части образцов. То есть там, где образцы цементного камня имеют наибольшую толщину в большей мере проявляются и усадочные деформации. Эти данные закономерно соотносятся с выявленным ростом водопотребности смешанного вяжущего и увеличением сроков его схватывания с повышением дозировки и тонкости помола вещества добавки сверх оптимальных значений.

Эффективность при пропаривании

Методика определения эффективности чистого цемента и смешанного вяжущего при пропаривании включала изготовление образцов (размерами $2 \times 2 \times 2 \text{ см}$) из теста нормальной густоты и пропаривание их в металлических многоячеековых формах в бачке над нагреваемой и кипящей водой по режиму: выдержка – 2 ч; нагрев за ~ 3 ч; кипячение – 6 ч и остывание в

бачке до испытаний. Общий цикл составлял 20-22 ч, но не более 24 ч вместе с испытаниями.

Из результатов испытаний следует, что введение добавки с $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ не только не снижает прочность пропаренного цементного камня, но и в дозировке до 20-30 % от массы цемента способствует ее росту. При этом оптимум приходится примерно на 15-20 % дозировку добавки; увеличение дозировки $> 20 \%$ сопровождается вначале замедлением роста, а затем и снижением прочности пропаренного цементного камня из смешанного вяжущего, в сравнении с образцами, изготовленными на чистом цементе.

С увеличением тонкости помола до: $S_{уд} \sim 6000 - 9000 \text{ см}^2/\text{г}$, эффективность добавки снижается уже при 20 %-ой дозировке. Это, очевидно, связано с ростом водопотребности вещества добавки при соответствующем увеличении истинного водоцементного отношения цементного теста, происходящего на клинкерную часть смешанного вяжущего, что сопровождается ростом общей пористости цементного камня и отражается в снижении его прочности. Наблюдаемая общая тенденция снижения прочности цементного камня при дозировке добавки ($S_{уд} \sim 3000 - 9000 \text{ см}^2/\text{г}$) сверх 30% от МЦ связано с «закритическим» количеством вводимого в цемент дисперсного неактивного вещества.

Прочность цементного камня, твердевшего в естественных условиях

Образцы (2x2x2 см) цементного камня, изготовленные из теста нормальной густоты, приготовленном на цементе и смешанном вяжущем, до распалубки через 24 ч твердели в формах, укрытых полиэтиленовой пленкой, а в более поздние сроки (до 28 сут.) в герметичных полиэтиленовых мешках при температуре среды: $t \sim 17 - 20^{\circ}\text{C}$; относительной влажности: $\phi \geq 90 \%$.

Результаты испытаний образцов цементного камня естественного твердения на предел прочности при сжатии подтверждают общие закономерности, установленные при испытаниях образцов-аналогов после пропаривания. Так, для добавки при $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ прочность цементного камня на смешанном вяжущем растет (относительно прочности образцов из «чистого» цементного камня) до дозировки в 15-20 % от МЦ в течение всего исследованного периода до 28 сут. твердения. С увеличением тонкости помола добавки до 6000 – 9000 $\text{см}^2/\text{г}$ эффект сохраняется только в 1-ые сутки твердения, а затем прочность образцов снижается. Увеличение дозировки добавки $\geq 30 \%$ от МЦ однозначно приводит к замедлению роста и последующему снижению прочности образцов цементного камня из смешанного вяжущего, что соответствует общей тенденции и согласуется с ранее выявленными закономерностями изменения прочности образ-

цов пропаренного цементного камня, т.к. в основе явления одни и те же причины, рассмотренные в предыдущем параграфе.

Активность цемента

Активность цемента определили по стандартной методике (ГОСТ 310.2-88) и при пропаривании образцов-балочек аналогичного состава (вяжущее - 500г; песок стандартный – 1500 г; водоцементное (общее) отношение: (В/Ц)~ 0,4) по ранее приведенному режиму.

На основании данных исследований прочности цементного камня для последующих экспериментов принята добавка в виде молотого до $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ гранитного отсева, как наиболее рациональный ее вариант по выявленной эффективности при введении в цемент, так и по энергозатратам и времени помола.

Анализ полученных данных в целом подтверждает общую тенденцию положительного влияния свежемолотой минеральной добавки из гранитного отсева на активность цемента в дозировках до 15-20% от его массы. При этом наибольший эффект роста прочности цементно-песчаных образцов (водного твердения и пропаренных) как на растяжение при изгибе, так и на сжатие «половинок-балочек» соответствует ~15%-ой дозировке добавки. Вместе с тем, сопоставление данных отражающих изменения прочности раствора на сжатие с таковыми на растяжение при изгибе (при прочих равных условиях) выявляет определенную тенденцию в их соотношении. В частности, прирост прочности на растяжение при изгибе менее значителен, а ее снижение – резче и глубже, в сравнении с изменениями прочности на сжатие и начинается с дозировки добавки в 20% от МЦ, при которой прочность на сжатие образцов с добавкой еще превышает прочность раствора на цементе без добавки.

Заключение

Выявлено, что минеральная добавка в виде молотого отсева в оптимальной дозировке не ухудшает стандартизированных свойств клинкерного цемента и может быть рекомендована к применению в этом качестве в дозировке до 15-20% от его массы при получении вяжущего с минеральной добавкой.

Установлено, что минеральная добавка из гранитного отсева не изменяет морфологию новообразований в цементном камне, т.е. не проявляет химической активности по отношению к продуктам гидролиза и гидратации клинкерным минералов. В основе выявленного эффекта роста прочности цементного камня с ней лежит физико-химический процесс, сопровождающийся формированием большего количества традиционных кристаллогидратных новообразований (благодаря наличию в минеральной добавке ультрадисперсных частиц кремнезема), более плотной взаимной «упаковки» их, с увеличением «площади» взаимных контактов и энергии

связи между ними, чему способствует и понижение общего водоцементного отношения теста нормальной густоты смешанного вяжущего.

Предложен дополнительный аспект в объяснении причин снижения уровня прочности образцов при переходе от цементного камня к цементно-песчаному раствору (мелкозернистому бетону), связанный со снижением качества сцепления цементного камня на смешанном вяжущем с поверхностью зерен заполнителя.

Созданы необходимые предпосылки для оценки влияния минеральной добавки из молотого гранитного отсева на физико-технические свойства бетона с целью обоснования области применения вяжущего с этой добавкой в строительных конструкциях из бетона и железобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юхневский, П.И. Строительные материалы и изделия: учебное пособие / П.И. Юхневский, Г.Т. Широкий. – Минск: Технопринт, 2004. – 476 с.
2. Батяновский, Э.И. Гранитный отсев РУПП «Гранит» – направления использования и свойства / Э.И. Батяновский; А.В. Смоляков, П.В. Рябчиков // Строительная наука и техника. – 2008. – № 5(20). – С. 7–3.
3. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 208–225.

Добавки к бетону. Сульфат натрия

Ковалёв В.И., Каминский И.Н.

Научный руководитель – Гуриненко Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В наше время изобретено большое множество добавок к бетону и с каждым годом они увеличиваются в геометрической прогрессии.

Основные типы добавок:

- пластификаторы

- суперпластификаторы

- водоудерживающие добавки

- воздухововлекающие

- ускорители схватывания

- ускорители процесса набора прочности

- замедлители схватывания

- кольматирующие добавки (уменьшает капиллярное поглощение затвердевшего бетона)

Но чаще эти добавки комбинируют. Однако у всех добавок есть недостатки. Одним из них является большая стоимость. И при большом объёме бетонирования нерентабельно использовать добавки. Вопросами использования различных добавок в целом и ускорителей твердения в частности и их влияния на структурообразование цементного бетона, посвящено множество исследований и накоплено достаточно теоретических представлений о процессах, происходящих при взаимодействии клинкерных минералов с водой и веществом добавки, но, к сожалению, эта проблема, ввиду ее чрезвычайной сложности не решена окончательно и по ряду вопросов имеются разногласия.

Нараставшие с началом девяностых годов XX века кризисные явления в энергообеспечении народного хозяйства Беларуси поставили перед его строительной отраслью задачу резкого снижения энергопотребления. Учитывая значительные объёмы использования цементного бетона в современном строительстве, и перспективность его применения как конструкционного материала в дальнейшем, особую значимость приобрела разработка энергосберегающих технологий в производстве сборных изделий и при возведении монолитных конструкций из бетона и железобетона. Для реализации таких технологий наиболее эффективно применение добавок-ускорителей твердения бетона и, в частности, производимых отечественными предприятиями. Использование ускорителей твердения в технологии

бетона дает возможность решить большое количество задач, стоящих перед строителями.

Практикой исследований и применения установлено, что добавки-ускорители твердения позволяют:

- улучшить формуемость бетонной смеси;
- повысить прочность бетона на сжатие после тепло-влажностной обработки на 5...10 % при условии получения более подвижных смесей (без уменьшения расхода воды и цемента) и на 10...20 % при условии получения равноподвижных смесей (с уменьшенным расходом воды);
- уменьшить расход цемента на 5...10 % при условии получения равнопрочных бетонов (с уменьшенным расходом цемента и воды);
- повысить морозостойкость и водонепроницаемость.

В нашей работе мы рассмотрим добавку сульфат натрия. Большим её преимуществом перед другими добавками является то, что Республика Беларусь обладает большими запасами этого вещества. Проведя некоторые опыты и исследования, мы определили, что при введении в бетонную смесь сульфата натрия прочность бетона повышается на 5-10 %, реакция твердения происходит с большим тепловыделением, повышается морозостойкость. Однако были выявлены и многочисленные недостатки данной добавки.

Основной задачей данного исследования являлось выявление кинетики роста прочности бетона с химическими добавками за счет аккумуляции теплоты экзотермии цемента.

В данной работе приведены результаты исследований кинетики твердения цементного бетона по беспрогревной технологии. Основой эффективной беспрогревной технологии изготовления изделий из цементного бетона является максимально возможное использование экзотермии вяжущего. Известно, что минералы портландцементного клинкера в процессе реакции гидратации выделяют значительное количество теплоты. Ее аккумуляция путем гидро-, теплоизоляции твердеющего бетона (по методу термоса) способствует росту его температуры, что сопровождается ускорением реакций гидратации цемента и нарастанием его тепловыделения и которая интенсифицируется с введением в бетон добавки – ускорителя твердения. В настоящих исследованиях в качестве химической добавки использовался сульфат натрия (Na_2SO_4 ; СН) кристаллизационный, ГОСТ 21458-75. При введении сульфата натрия, появляется механизм пластификации, который проявляется при вибрационном воздействии на бетон в виде более значительного водоотделения, чем у бетона без добавки, и с меньшим, но устойчивым кратковременным эффектом пластификации. Интенсификация процесса гидратации цемента добавкой ускорителя твердения повышает его тепловыделение, а аккумуляция тепла обеспечивает

саморазогрев (прирост температуры от начальной).

Для экспериментов по выявлению кинетики роста прочности бетона использованы добавки сульфата натрия (СН) в дозировке 1% от массы цемента. Добавка вводилась в смесь в растворенном виде вместе с водой затворения. В качестве вяжущего вещества для бетона использованы цемент марки М400, без добавок (Д0)

В исследованиях прочность бетона оценивали по прочности на сжатие образцов (при количестве их в серии не менее 3-х). Во всех случаях образцы бетона изготавливали с уплотнением на стандартной лабораторной виброплощадке при амплитуде 0,5 мм и частоте ~ 50 Гц.

После чего формы герметизировали полиэтиленовой пленкой и устанавливали в пенополистирольный ящик на период твердения, для сохранения тепла и влаги.

Нахождение образцов в термосе, привело к сведению до минимума потерь тепла экзотермии цемента, что позволяет даже при низкой положительной начальной температуре бетонной смеси, создать в твердеющем бетоне с добавками благоприятный температурный режим, а при начальной температуре смеси не ниже 13...15 °С обеспечить температуру в бетоне более 20 °С и, как следствие, нормальный режим твердения.

Из данных о кинетике роста прочности бетона с добавкой 1 % СН (рисунок), следует, что ее уровень в 50 % от требуемой прочности бетона достигается через 24 ч естественного твердения в условиях гидроизоляции и теплоизоляции при использовании цемента.

Время твердения бетона до 50 % прочности от проектной составляет до 24 ч для $t \sim 18...22$ °С; За этот период бетон набирает прочность, достаточную для бездефектной распалубки бетонных и железобетонных (без предварительного напряжения арматуры) изделий, а передаточную прочность в 70 % и более от проектной для указанных значений температуры среды твердения и бетона (начальной), он приобретает за время выдержки 36...48 ч.

Таким образом, при создании термосных условий твердения изделий с начальной температурой бетона более 15°С, введении в его состав 1 % СН от массы цемента распалубочная и передаточная прочность бетона может быть обеспечена выдержкой без дополнительного подвода тепла в течение 24 ч и 36...48 ч соответственно.

Прогрев бетона без добавки по режиму малоэнергоёмкой технологии при использовании цемента 2-ой группы эффективности (естественно – и 3-ей) недостаточен для обеспечения передаточной прочности. Очевидно, что необходимо либо повышать температуру разогрева, время подвода тепла и увеличивать продолжительность выдержки бетона «в тепле» сверх 24 ч.

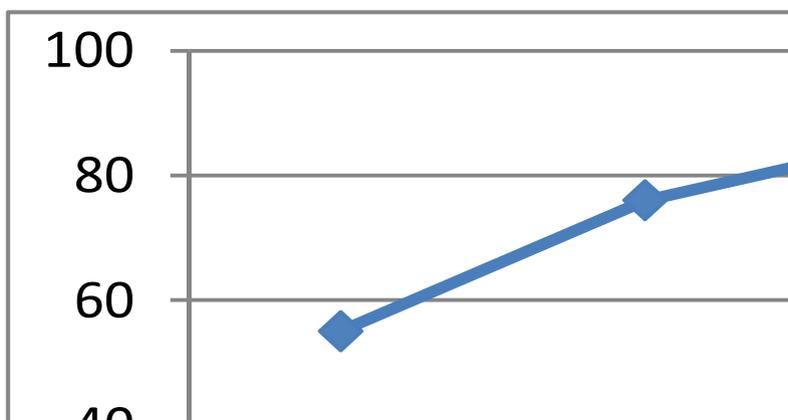


Рисунок – Кинетика роста прочности бетона

Анализируя результаты всей совокупности выполненных экспериментов, приходим к выводу, что в данном исследовании выявлено, что расплывчатую прочность бетона с добавкой «СН», приготовленного с использованием портландцемента и последующим твердением в тепловом агрегате без подвода тепла за время до 24 часов.

В сравнении с традиционной тепловой обработкой изделий, которую предприятия строительной индустрии практикуют в зимний период работы, а также и в летний (при требуемом обороте бортоснастки не менее 1 раза в сутки), малоэнергоёмкая технология характеризуется снижением затрат тепловой энергии.

Проведенный комплекс исследований по анализу и обобщению теоретических воззрений на механизм действия химических добавок-ускорителей твердения цементного бетона и эффективности их применения в технологии бетона позволил сделать следующие выводы.

Механизм действия добавок-ускорителей твердения бетона неорганического происхождения (Na_2SO_4) целесообразно рассматривать как комплексное физико-химическое воздействие на реагирующую систему «цемент – вода», повышения растворимости клинкерных минералов цемента, образования дополнительных фаз за счет реакций вещества добавок с продуктами гидролиза и гидратации клинкерных минералов цемента, что в совокупности обеспечивает ускорение гидролизно-гидратационных процессов и способствует ускорению коагуляционного и кристаллогидратного структурообразования, повышению темпа роста прочности цементного камня и бетона в начальные сроки твердения, рост плотности и прочности бетона в проектном возрасте.

Однако применение сульфата натрия имеет один существенный недостаток, его наличие ускоряет процесс коррозии арматуры, что значительно ограничивает его сферу применения. Такой бетон может эффективно использоваться в конструкциях, работающих на сжатие, и в значительно меньшей мере на растяжение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
2. Солнцева, В.А. Добавки в бетон / В.А. Солнцева. – Лениздат, 1965. – 108 с.
3. Довнар, Н.И. Эффективность действия электролитов на физико-механические свойства цементного камня и бетона: дис. ... канд. технич. наук. – Минск, 1983. – 228 л.
4. Ребиндер, П.А. Физико-химические представления о механизме схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ. Труды совещания по химии цементов / П.А. Ребиндер. – М.: Промстройиздат, 1956. – С. 125–137.
5. Байков, А.А. О влиянии хлористого кальция на затвердевание цемента: собрание трудов / А.А. Байков. – М.: Издательство АН СССР, 1948. – Т. 5.
6. Ребиндер, П.А. Новые физико-химические пути в технологии строительных материалов / П.А. Ребиндер // Вестник АН СССР. – 1951. – № 10. – С. 44–54.
7. Ли, Ф.М. Химия цемента и бетона / Ф.М. Ли. – М.: Госстройиздат, 1961. – 645 с.

Логистика в маркетинговой стратегии строительного предприятия

Костеневич А.Л.

Научный руководитель – Бортницкая М.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Логистика — это система методических правил, технических средств и действий, направленных на планирование, организацию эффективных грузопотоков, управление ими и осуществление их с целью, соответствующей стратегии предприятия и потребностям рынка товаров и услуг определенного сектора экономики.

Выделяют четыре последовательных уровня развития логистических систем (рис.1).

Для первого уровня развития логистики характерен ряд следующих моментов. Компании работают на основе выполнения сменно-суточных плановых заданий, форма управления логистикой наименее совершенна. Область действий логистической системы обычно охватывает организацию хранения готовой продукции, отправляемой с предприятия, и ее транспортировку. Система действует по принципу непосредственного реагирования на ежедневные колебания спроса и сбои в процессе распределения продукции. Работу системы логистики на данном уровне ее развития в компании обычно оценивают величиной доли затрат на транспортировку и другие операции по распределению продукции в общей сумме выручки от продажи.

Для второго уровня развития (рис.1а) системы логистики, характерно управление потоком производимых предприятиями товаров от последнего пункта производственной линии до конечного потребителя. Контроль системы логистики распространяется на следующие функции: обслуживание заказчика, обработку заказов, хранение готовой продукции на предприятии, управление запасами готовой продукции, перспективное планирование работы системы логистики. Работа логистической системы оценивается, исходя из сопоставления данных сметы расходов и реальных затрат.

Системы логистики третьего уровня (рис.1б) контролируют логистические операции от закупок сырья до обслуживания конечного потребителя продукции. Дополнительные функции таких систем: добыча или закупка сырья, доставка сырья на предприятие, прогнозирование сбыта, производственное планирование, управление запасами сырья или незавершенного производства, проектирование систем логистики. Единственная сфера, которая не входит в зону логистического контроля – это повседневное

управление предприятием. Работа системы оценивается путем сравнения затрат со стандартом качества обслуживания. При этом стремятся повысить производительность системы, а не сократить затраты. Управление основано на планировании упреждающих воздействий исходя из годового плана.

Логистические системы четвертого уровня (рис.1с) развития получили распространение во второй половине 90-х годов XX века. В отличие от систем логистики третьего уровня развития, процессы планирования и контроля операций логистики интегрируют с операциями маркетинга, сбыта, производства и финансов. Интеграция способствует увязке часто противоречивых целей различных подразделений компании. Управление системой осуществляется на основе долговременного планирования. Работа системы оценивается с учетом требований международных стандартов. Компании осуществляют свою деятельность, как правило, на глобальном уровне, а не только на национальном или региональном. Они производят продукцию для мирового рынка и управляют частью мировых систем производства и распределения, предусматривая оптимизацию расходов и удовлетворение требований заказчиков.

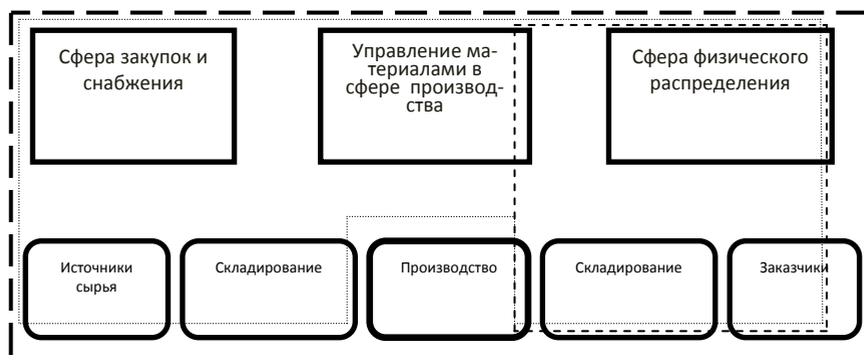


Рисунок 1 – Уровни развития логистических систем

а – второй уровень; --- б – второй уровень; с – третий уровень — —

Логистическая цепь – это линейно упорядоченное множество участников логистического процесса, которые осуществляют логистические операции по доведению внешнего материального потока от одной логистической системы к другой в случае производственного потребления или до конечного потребителя в случае личного непромышленного потребления.

Логистические цепи протягивают между логистическими звеньями, чтобы проиллюстрировать организационную структуру логистических систем. В самом простом случае, когда логистическая система характери-

зуется как система с прямыми связями, логистическая цепь состоит из поставщика и потребителя. В более сложных случаях в условиях функционирования эшелонных систем данная цепь может иметь древовидную структуру или вид ориентированного графа с циклами (гибкая логистическая система).

В целом, в логистической цепи, т.е. в цепи, по которой проходит материальный и информационный поток от поставщика к потребителю, выделяют следующие главные звенья:

- ✓ поставка материалов, сырья и полуфабрикатов;
- ✓ хранение продукции и сырья;
- ✓ производство товаров;
- ✓ распределение, включая отправку товаров со склада готовой продукции;
- ✓ потребление готовой продукции.

В реальных условиях хозяйствования существует большое количество логистических посредников, широкий ассортимент материальных ресурсов, которые используются в производстве товаров, и разветвленные распределительные сети. Вследствие этого могут формироваться сложные логистические цепи взаимосвязанных звеньев, которые объединяют несколько логистических цепей, так называемые логистические сети.

При организации производства железобетонных изделий и строительства из них зданий и сооружений логистическая деятельность должна решать следующие задачи (рис. 2):

- устранить необходимость выгрузки и хранения конструкций на строительной площадке;
- уменьшить потребность в запасах;
- уменьшить потребность в размерах самой площадки;
- способствовать возведению зданий среди деревьев, а не среди территории, заставленной не вовремя завезенными или бракованными строительными конструкциями;
- сократить потребность в людях, технике, финансах и др.

Для успешного функционирования такой логистической системы необходимо:

- наличие транспорта, технических средств на заводах и строительных объектах, технологически сопряженных друг с другом, а также с параметрами железобетонных изделий (техника);
- четкое определение, кто и что должен делать, как делать, в какой последовательности (технология);
- решить транспортную задачу, т.е. оптимизировать маршруты движения автомобильного транспорта, составить графики доставки (математика);
- согласовать экономические интересы участников (экономика).

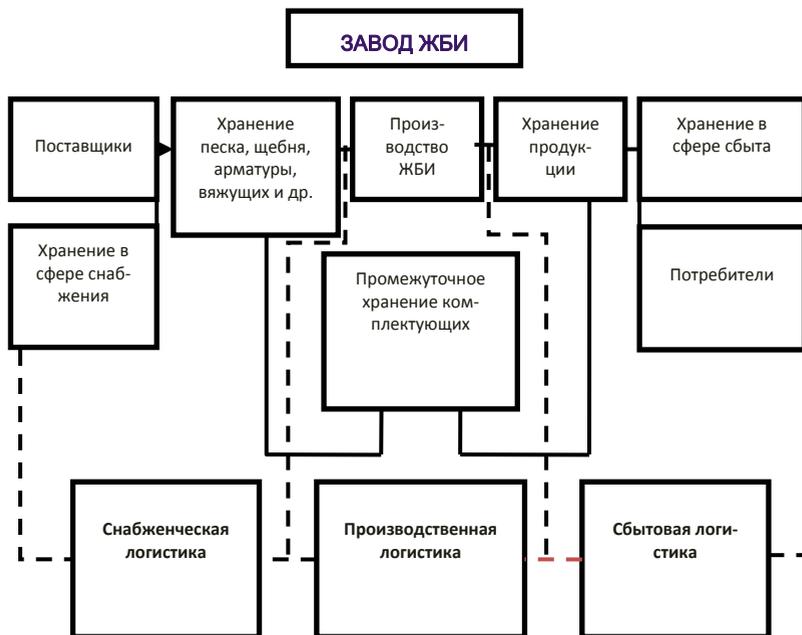


Рисунок 2 – Логистическая деятельность при производстве ЖБИ и строительстве из них зданий и сооружений

Выводы

Логистика охватывает и объединяет в единый процесс такие виды деятельности как:

- Управление закупками и запасами
- Производство
- Информационный обмен
- Транспортировка
- Сбыт продукции

В итоге обеспечивается устойчивая система работы всего предприятия в целом, от поставок сырья и материалов до сбыта готовой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://logistic-info.org.ua>
2. <http://deal.by/Logistika.html>
3. <http://logsystems.ru/>

**Изучение технологических особенностей производства плиток
керамических для полов на линии FMP – 2950/109,2**

Кучук Е.В.

Научный руководитель – Гуриненко Н.С.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Производство вышеуказанных плиток осуществляется на белорусском предприятии ОАО «Керамин» по итальянской технологии и на итальянском оборудовании.

Изготовление плитки, как и любого другого строительного материала, начинается с подбора типов и расчёта процентного соотношения, составляющих сырьевой смеси. После подбора составляющих идёт их измельчение на мельнице мокрого самоизмельчения.

Универсальная масса для мельницы непрерывного помола ММС-180:

Глина Веско-Техник-2	38%
Глина ДИ-2	10%
Каолин КС-1	11%
Полевой шпат Вишневогорский	17%
Полевой шпат FST	18%
Песок кварцевый	6%
Триполифосфат Na	0.5%, сверх 100%

Основной задачей помола является увеличение удельной площади поверхности частиц для обеспечения высокого уровня однородности и гомогенности, что в свою очередь приводит к более полным и быстрым химическим реакциям во время обжига.

На выходе из мельницы контролируются следующие параметры шликера:

- остаток на сите №0064 в пределах 2,7%-3,2%;
- влажность шликера должна составлять 34%±0,5%;
- вязкость в пределах 2,5-3°Е.

Все эти параметры влияют не только на последующие технологические процессы, но и на качество готовой продукции.

Готовый шликер перекачивается в сушилку, где путём его распыления и сушки горячим воздухом получается керамический пресс-порошок. В результате готовый пресс-порошок имеет определенный гранулометрический состав и влажность необходимую для прессования керамических плиток, а так же получается равномерного дисперсного состава, сыпучим и мелкодисперсным.

В последующем происходит подготовка цветного порошка и сухое окрашивание. Окрашивание порошка сухим способом – это один из новейших технологических параметров, применяемых в керамической промышленности на сегодняшний день. Для окрашивания порошков сухим способом применяются специальные красители. Отличаются они от обычных красителей тем, что имеют определенную сыпучесть, что позволяет транспортироваться пневмотранспортом и способностью обволакивать гранулу пресс-порошка по поверхности. Эти способности достигаются путем введения в краситель (производителем красителей) специальных добавок. Для данных красителей определяющим фактором, кроме стабильности цвета, являются влажность, которая должна быть не более 0,5 %.

Окрашивание происходит путём обволакивания поверхности пресс-порошка красителем в смесителе непрерывного действия. Далее порошок проходит ситовое обогащение (сетка № 1,6) и поступает в силоса с дозаторами, полученный порошок называется атомизированным. Микронизированный порошок получают при измельчении атомизированного в микронизаторах. Атомизированный и микронизированный порошки составляют нижний и верхний слои плитки соответственно. Нижний слой может быть как окрашенным, так и не окрашенным (зависит от рисунка плитки). Оба этих порошка дозируются, засыпается определенным образом, с использованием специального оборудования установленного на каретке «CROMA». Толщина верхнего слоя может достигать до 3мм.

Степень микронизации оказывает очень сильное влияние на качество внешнего вида, особенно при последующей полировке плитки. При недостаточной микронизации, после полировки вскрываются гранулы пресспорошка, что дает светлые точки на окрашенной поверхности плитки.

Контролируется гранулометрический состав порошков, влажность порошков (таблица 1 и 2). Влажность окрашенных порошков должна быть $5,0 \pm 0,5$ %. Разница во влажностях пресс-порошков верхнего и нижнего слоев не должна превышать 1%.

Каретка «CROMA» присоединена к гидравлическому прессу РН 6200.

Пресс РН 6200. Показатели определённого цикла работы пресса:

Максимальное усилие – 5449.2 кН

Удельное давление на пресс-порошок – 431 bar

Количество выхода – 3 плитки

Давление гидроцилиндра: 1 пресс – 25 bar

2 пресс – 330 bar

Производительность – 12 плиток/мин
 Толщина плитки – 12 мм
 Длина и ширина плитки с пресса – 651×651 мм.

Таблица 1. Атомизированный порошок, влажность 5%

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Частные остатки на контрольных ситах, % по массе	Массовая доля остатка на ситах, %
1	не более 3	0,5
0,5	20-30	20
0,355	30-40	40,5
0,25	15-25	16,3
0,16	10-15	15,9
0,125	2-6	3,8
< 0,125	2-6	3

Таблица 2. Микронизированный порошок, влажность 4,9%

Размеры отверстий контрольных сит, мм.	Частные остатки на контрольных ситах, % по массе	Массовая доля остатка на ситах, %
0,25	не менее 90	
0,16		17,3
0,125		11,9
< 0,125		61

После пресса плитка попадает в автоматическую вертикальную сушилку EVA-784. Сушка осуществляется путём подачи потока горячего воздуха, который путём теплообмена (посредством тепловой конвекции) с плитками, позволяет получить изделие, готовое для последующих этапов обработки (глазурование, обжиг и т.д.) имеющее следующие характеристики:

- низкий коэффициент влаги;
- хорошую механическую прочность;
- определённые температурные параметры.

Сушилка EVA-784, температурные характеристики:

1 зона 110°C;

2 зона 145°C;

Зона стабилизации 50°C.

Длина и ширина плитки с сушилки 650,5×650,5

Термический цикл сушилки разработан с целью получения плиток с:

- минимальным содержанием остаточной воды;

- максимальной механической прочностью перед обжигом в печи;
- максимальной равномерностью температуры на выходе.

Далее плитка перемещается по конвейеру и проходит следующие этапы:

1. Смачивается водой перед нанесением кристаллины на лицевую поверхность. Расход на ед. продукции составляет $8,0 \pm 1,0$ г.

2. Нанесение кристаллины на лицевую поверхность. Плотность $1,37 \pm 0,02$ г/см³, расход на ед. продукции $130,0 \pm 5,0$ г. Перед подачей в работу кристаллина проходит магнитное и ситовое обогащение на ситах с ячейкой № 02.

3. Обмазка тыльной стороны плитки ангобой, с целью устранения прилипания плитки к роликам печи. Плотность $1,2 \pm 0,02$ г/см³, расход на единицу продукции 34 г.

Пройдя перечисленные стадии, плитка подвергается обжигу в одноярусной роликовой печи, длина которой зависит от продукции и от производственных требований. Обжигаемая продукция проходит через канал обжига с одного конца до другого, и постепенно её температура повышается от $\approx 100^\circ\text{C}$ до температур, иногда превышающих 1200°C , и затем снова спускается до уровня температуры окружающей среды.

Печь состоит из секций: входная, предварительного нагрева, обжига, быстрого охлаждения, медленного охлаждения, конечного охлаждения.

– Входная часть печи. В этой секции плитка должна потерять остатки гигроскопической воды. На входе печи влажность не должна превышать 1% по массе. Температура находится в диапазоне $200-300^\circ\text{C}$. Из-за быстроты цикла и эндотермичности испарения, продукция находится при температуре $50 - 200^\circ\text{C}$.

– Секция предварительного нагрева. На данном этапе керамическое изделие дегазируется для того, чтобы во время обжига не образовывались разбухание, пузырьки, дырки, пористость глазури или неравномерность тона. Этап завершается, когда начинается плавление и поверхностная пористость плитки уменьшается, с быстрым снижением газопроницаемости. Температура находится в пределах $500-1000^\circ\text{C}$, в зависимости от типа продукции.

– Обжиг. На данном этапе достигаются самые высокие температуры, за 1000°C . Многие из конечных характеристик плитки (размер, плоскостность, остекловывание и т.д.) получаются почти что исключительно в данной секции, поэтому необходимо скрупулезно проверять температуру и условия роликовой поверхности, учитывая, что в данной секции некоторые виды продукции могут претерпеть даже значительную деформацию.

– Быстрое охлаждение. В данной секции температура быстро опускается с самого высокого достигнутого уровня до $\approx 600^\circ\text{C}$. Плитка быстро ох-

лаждается до температур, обязательно превышающих температуру аллотропического видоизменения кварца (573°C).

– Медленное охлаждение. На данном этапе выполняется очень деликатное преобразование кварца β в кварц α . Данный процесс влечет за собой резкое объемное сокращение керамического изделия, и должен происходить медленно и равномерно во избежание таких сильных напряжений, под действием которых плитка может лопнуть. В керамической продукции напряжения могут легко вызвать характерные стекловидные трещины. Температура находится в диапазоне 600 – 450°C, в то время как температура плитки составляет 700 - 500 °C.

– Конечное охлаждение. Это последний этап цикла, во время которого выводится как можно больше тепла из продукции, уже прошедшей критический процесс нового преобразования кварца.

Время пребывания плитки в роликовой печи в среднем составляет 90 мин. Размеры плитки с печки: 603,4×604,5×11,2 , варьируются в каждом образце.

Выйдя из печи, плитка проходит стадии сортировки по размерам и кризисе, имеется допуск на разницу в размерах по краям плитки до 2 мм.

Пройдя процесс полировки и ректификации, плитка проходит автоматический и ручной цикл проверки на дефекты, после чего упаковывается в ящики и складывается на поддоны, для дальнейшей их транспортировки на склад готовой продукции.

Линия FMP – 2950/109.2 имеет производительность 6510 кг/ч. Ограничения по производительности линии зависят от производительности роликовой печи. Цифры в названии линии так же относятся к печи, а именно 2950 – полезная ширина печи в мм., 109.2 – длина печи в м.

Отследив весь технологический процесс, видна важность каждой ступени производства плитки на качество готовой продукции. Что делает данный процесс нуждающимся в квалифицированных технологах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологические выписки с производственной линии по изготовлению плитки, предприятия ОАО «Керамин».
2. Руководство по эксплуатации автоматической вертикальной сушилки EVA-784.
3. Техническая документация одноярусной роликовой печи SF02Z001A.

Состояние развития и перспективы использования неметаллической композитной арматуры

Лобов А.Ю, Прощенко И.С.

Научный руководитель - Батыновский Э.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Строительная отрасль находится в постоянном поиске новых эффективных материалов и технологий. В условиях развития кризисных явлений в сырьевой, энергетической, экологической и иных сферах строительства происходит вытеснение традиционных материалов и технологий энерго-сберегающими, высокоэффективными, нематериалоёмкими, экологически чистыми решениями. Расширение применения неметаллической композитной арматуры в строительстве - одно из основных направлений модернизации строительной индустрии.

Начало изучения свойств и создания технологии изготовления неметаллической композитной арматуры было положено в 1964-1965 годах. Первая линия по производству стеклопластиковой арматуры была разработана НИИЖБ им. А.А.Гвоздева и введена в производство в Белоруссии. Однако арматура не получила широкого применения в строительстве по многим причинам, в частности из-за низкой стойкости арматуры в щелочной среде бетона, низких адгезионных свойств арматуры с бетоном при её преднапряжении, и также из-за отсутствия экономической выгоды при её использовании.

За последние десятилетия неметаллическая арматура, как строительный материал, претерпела значительные изменения не только в плане своих физико – механических и эксплуатационных показателей, но и в технологиях изготовления (а их несколько), области применения в строительстве. Сегодня - это совершенно иной строительный материал, представление о котором в республике до недавнего времени формировалось на примере однотипной стеклопластиковой арматуры, выпускаемой на двух отечественных линиях в ограниченном количестве по старой (более двадцати лет) технологии. К сожалению, с распадом СССР случилось так, что у нас в республике, активно занимавшейся разработкой и внедрением стеклопластиковой арматуры, научно – внедренческие работы были прекращены.

В то время исследования и практические шаги по использованию арматуры опирались на ряд долгосрочных отраслевых программ. С распадом СССР произошло разрушение чётко отрегулированных межотраслевых связей. Финансирование и дальнейшие исследования арматуры прекратились. Программы совершенствования технологий и разработки норматив-

ной базы по широкому применению арматуры в строительстве были приостановлены по ряду причин. Одной из причин являлось то, что не удалось создать щёлочестойкие полимерные связующие, недорогие и пригодные для массового серийного производства арматуры, а разработанные в то время для этих целей специальные составы приводили к значительному росту стоимости арматуры. Необходимо отметить, что низкий модуль упругости предопределял использование арматуры в преднапряжённых конструкциях. Для выполнения данной задачи требовалось создание и изготовление специальной высокотехнологичной оснастки для натяжения арматуры. Опытные образцы, которые использовались при изготовлении данных изделий, были несовершенны и не могли быть применены при массовом серийном производстве. Разработанные опытно-экспериментальные технологические линии имели низкую производительность, а производимая арматура периодического профиля, в ряде случаев, не имела четко выраженной ребристой поверхности, необходимой для сцепления с бетоном, что также сузило спектр её применения.

В результате такая перспективно востребованная продукция в строительстве, как стеклопластиковая арматура, в последующем десятилетия активно не применялась на строительных объектах, технология её производства не модернизировалась, сырьё и номенклатура продукции (диаметры ныне выпускаемой арматуры только шесть миллиметров) не изменялись. За это время в мире проводились исследования, разрабатывались новые технологии, происходила трансформация данного строительного материала в совершенно новый высококачественный продукт. Революционные технологии позволили создать новые линейки разноплановых полимерных композитных материалов.

На примере композитной арматуры «ЛИАНА», продукции нового поколения, рассмотрим основные аспекты её внедрения в народном хозяйстве республики. Арматура состоит из армирующих элементов и матрицы. В качестве армирующих элементов используются непрерывные высокопрочные волокна, объединенные в стержень полимерной матрицей. Наружная поверхность арматуры имеет непрерывную ромбическую рельефность необходимую для сцепления с бетоном и при установке захватов при натяжении арматуры. Композитная арматура изготовлена по новой высокопроизводительной технологии. Данная арматура и технология её производства защищены патентами на изобретения. Применение базальтовых и других высокомодульных волокон позволили получить арматуру с характеристиками, которые существенно расширили область её применения. Сегодня технологии позволяют наряду со стеклопластиковой производить базальтопластиковую высокомодульную арматуру с начальным модулем упругости от 110 000 до 200 000 МПа и прочностью на разрыв 1450-1850

МПа, что позволяет в конструкциях обеспечить все необходимые прочностные и рабочие характеристики. В настоящее время оборудование позволяет изготавливать объёмные каркасы и сетки из арматуры под требования заказчика. Высокая коррозионная стойкость, в том числе к щелочной среде, позволяет увеличить срок эксплуатации конструкций в несколько раз. Коррозионную стойкость арматуры подтверждают испытания, проведенные в НИИЖБ им А.А.Гвоздева в 2010 г. Выводы показывают, что неметаллическая композитная арматура «Лиана» обладает высокой стойкостью к хрупкому разрушению в щелочной среде бетона (не менее 80 лет), а также имеет первую группу химической стойкости при воздействии кислот, щелочей, морской, минерализованной и аммиачной воды, как при комнатной, так и при повышенной температуре. Естественно, расширился и диапазон температур применения арматуры.

Достаточно красноречиво об улучшенных свойствах неметаллической арматуры по сравнению с традиционной металлической свидетельствуют сравнительная таблица (σ_B – временное сопротивление разрыву; σ_T – предел текучести (нормативное сопротивление арматуры); σ_R – расчетное сопротивление растяжению), график равнопрочной замены металлической арматуры на композитную «Лиана» (рис.1) и сравнительная диаграмма растяжения (рис.2).

Неметаллическая арматура рекомендуется к применению:

- При армировании предварительно напряженных и ненапряженных бетонных конструкций (пористые, крупнопористые, тяжёлые и ячеистые бетоны), а также каменных конструкций, работающих при систематическом воздействии температур не выше плюс 100°C и не ниже минус 70°C, эксплуатируемых в различных, в том числе агрессивных средах.
- При изготовлении стен с применением мелкоштучных материалов (кирпича, камней, мелких блоков и т.п.), за исключением пустотелых бетонных камней (в т. ч. в зимнее время, когда в раствор вводятся различные добавки, вызывающие коррозию стальной арматуры).
- При изготовлении электроизолирующих конструкций (осветительные опоры, опоры ЛЭП, изолирующие траверсы и т.п.).
- Для изготовления коррозионностойких сооружений и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах (электролизные ванны, кабельные тоннели, канализационные кольца, коллекторы, теплоцентрали и т.п.).
- Для усиления клееных деревянных конструкций.
- При устройстве (ремонте) дорожного полотна, мостовых перекрытий, опор дорожных ограждений, тротуарных плит, бордюров.
- При устройстве сооружений берегоукрепления водоемов, подпорных стен, откосов, припортовых и других сооружений в акватории озер и рек, в том числе сооружений мелиорации.

Таблица – Сравнение характеристик стальной арматуры и композитной арматуры «ЛИАНА»

Характеристика	Стальная арматура ГОСТ 5781-82				Композитная арматура ТУ 2296-275-36554501-2008			
	Класс	σ_B	σ_T	σ_p	Класс	σ_B	σ_T	σ_p
Механическое поведение при растяжении, σ , Н/мм ²	A-I	373	235	225	АНС	1250	---	1250
	A-II	490	295	280				
	A-III	590	390	355	АНБ	1450	---	1450
	A-IV	883	590	510				
	A-V	1030	788	680	АНБ ВМ	1850	---	1850
	A-VI	1230	980	815				
Относительное удлинение, ϵ_p , %	A-I	25			АНС	2,2		
	A-II	19						
	A-III	14			АНБ	1,6		
	A-IV	6						
	A-V	7			АНБ ВМ	1,3		
	A-VI	6						
Модуль упругости, E_p , Н/мм ² (ГПа)	200 000 (200)				АНС	60 000 (60)		
					АНБ	90 000 (90)		
					АНБ ВМ	до 200 000 (200)		
Плотность, г/см ³	7,8				1,9			
Коррозионная стойкость	Подвергается коррозии				Не подвергается коррозии			
Коэффициент линейной температурной деформации, $\alpha \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$	1,3-1,5 (Бетон: 0,7-1,0)				0,5-0,9 (Бетон: 0,7-1,0)			
Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м*К)	46				0,35-0,5			
Электрические свойства	Электропроводна				Диэлектрик			
Магнитные свойства	Магнитопроводна				Диамагнетик			
Экологические свойства	При эксплуатации не выделяет вредных веществ				При эксплуатации не выделяет вредных веществ			
Диапазон рабочих температур	По СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции» от -70 до +50 °С				от -70 до +100 °С			

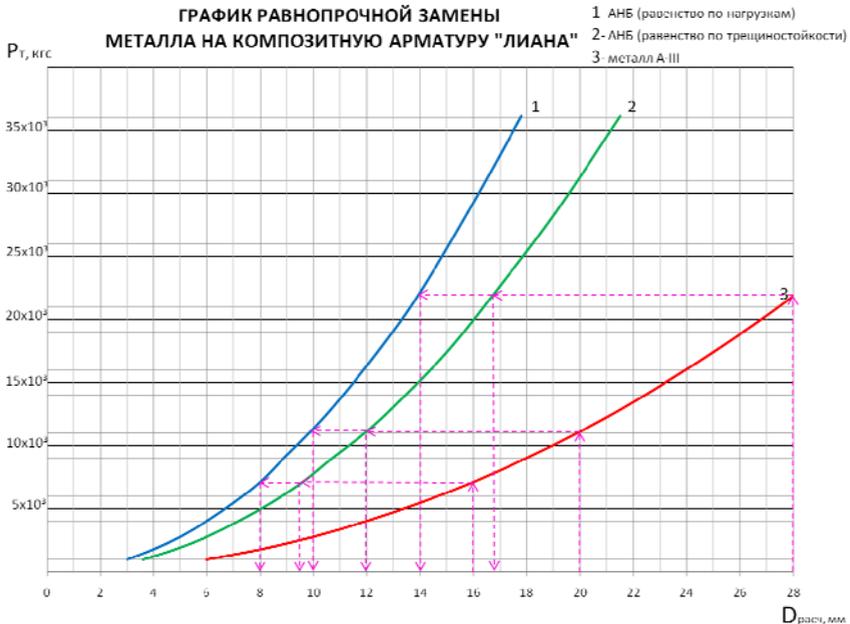


Рисунок 1

Примечания:

1) Применение неметаллической композитной арматуры в бетонных конструкциях по СНиП 52-01-2003 и СНиП 2.03.11-85.

2) Расчет строительных конструкций следует производить по параметрам композитных арматур «ЛИАНА». Замена стальных арматурных каркасов, сеток на композитные арматуры производится по опытным графическим зависимостям. (График равнопрочной замены металла на композитную арматуру «ЛИАНА»).

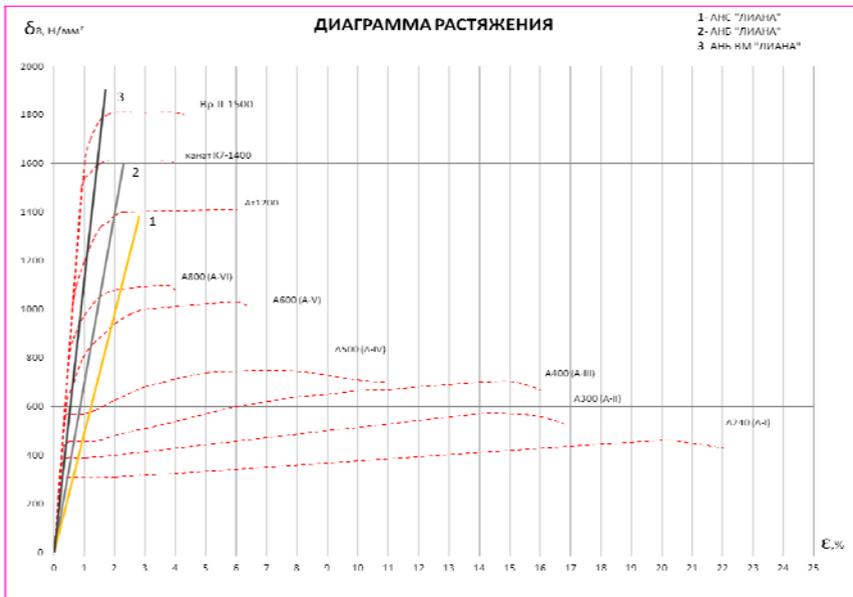


Рисунок 2

- При строительстве зданий с повышенными требованиями к немагнитности и отсутствию экранирующего эффекта (ограждающие конструкции для помещений с высокочувствительным электронным оборудованием, радиолокационные здания аэропортов, больницы и т.д.).
- При изготовлении тонкостенных конструкций различного назначения (перегородки, ограждения, звукоизолирующие панели).
- При изготовлении конструкций малых архитектурных форм.
- При проведении реставрационных работ.
- При проведении работ по содержанию и ремонту жилого фонда.
- Для изготовления: гибких связей, используемых в слоистой кладке кирпичных зданий; пространственных сеток, каркасов и стержней для армирования конструкций.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ АРМАТУРЫ

- Расчетное сопротивление разрыву арматуры превышает расчетное сопротивление стальной арматуры класса S400 в 3,0 - 5,2 раза.
- Модуль упругости в зависимости от вида примененных волокон и технологии производства обеспечивается в диапазоне 55 000 – 200 000 МПа.

- Арматура обладает высокой коррозионной стойкостью к воздействию агрессивных сред.
- Удельный вес в 4 раза меньше, чем у стальной арматуры (снижение нагрузки на фундамент).
- Коэффициенты теплового расширения арматуры и бетона практически совпадают, что снижает трещинообразование в конструкциях.
- Является диэлектриком (не электропроводна).
- Практически не проводит тепло. Теплопроводность в 100 раз меньше, чем у стали.
- Не теряет свойств при низких температурах.
- Радиопрозрачна (арматура не создает экранирующий эффект).
- Магнитоинертна (исключено изменение прочностных свойств конструкций под воздействием электромагнитных и электрических полей).
- Длина арматурного стержня не ограничена (оборудование позволяет обеспечить любую мерную длину под требование проекта).

Подытожив всё вышеизложенное, хотелось бы обратить внимание на то, что наша с вами задача как инженеров, по мере возможности внедрять в строительную индустрию передовые технологии, которые позволяют существенно улучшить эксплуатационные характеристики конструкций и сооружений, снизить себестоимость и получить долгосрочный экономический эффект.

Карбонизация защитного слоя бетона

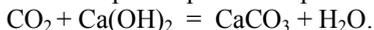
Мацкевич Т.С., Хожовец Е.Б.

Научный руководитель – Бабицкий В.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Карбонизацией называют процесс взаимодействия (при определенных температурно-влажностных условиях) свободной гидроксиды кальция, находящейся в поровой жидкости бетона, с углекислым газом воздуха при последующем образовании малорастворимого карбоната кальция:



В результате этой реакции щелочность поровой жидкости бетона защитного слоя снижается ниже границы пассивации ($\text{pH}=11,8$), что при определенных условиях вызывает активацию стали с последующей ее коррозией.

Карбонизацию бетона относят к гетерогенной реакции. Обычно такие реакции состоят, по меньшей мере, из трех стадий. Первая стадия включает в себя перенос реагирующих веществ к поверхности раздела фаз – реакционной зоне. Второй стадией является собственно гетерогенная химическая реакция. Третья стадия заключается в отводе продуктов реакции из реакционной зоны.

На кинетику (скорость) карбонизации влияют следующие факторы:

- виды вяжущего, добавок и заполнителей;
- гранулометрический состав вяжущего и заполнителей;
- состав бетонной смеси, способ ее приготовления и условия твердения;
- состав газовой среды;
- воздействие среды во время твердения;
- химические свойства продуктов коррозии;
- частота увлажнения бетона;
- температура среды, ее равномерность, величины перепадов;
- продолжительность воздействия.

Анализируя многочисленные исследования ученых в этой области можно видеть, что глубина карбонизации бетона примерно обратно пропорциональна расходу цемента и существенно зависит от его вида (например, относительная глубина карбонизации бетона на быстротвердеющем и шлакопортландцементе отличаются в 5 раз). Пластифицирующие добавки, как правило, замедляют карбонизацию бетона. Например, по данным Л. А. Вандаловской, бетоны с В/Ц=0,3...0,35, с добавкой ССБ и мылонафта практически не карбонизируются. Добавка молотого известняка взамен

части песка существенно уменьшает проницаемость бетона за счет отсоса некоторого количества влаги из бетонной смеси. Воздухововлекающие и газообразующие добавки также способствуют уменьшению проницаемости бетона.

При исследовании влияния температуры на кинетику карбонизации выявлено, что основное количество CO_2 переносится в глубь бетона через сравнительно небольшое количество крупных пор и более интенсивная диффузия в микропорах при пониженной температуре не может ускорить карбонизацию. Существенным фактором является также изменение равновесной влажности с изменением температуры. С повышением температуры влажность бетона при постоянной относительной влажности уменьшается.

От влажностного состояния бетона зависит и его проницаемость. По данным Ю. В. Чеховского, газопроницаемость сухих и влажных бетонных образцов может отличаться на три порядка и более. Очевидно, что скорость диффузии CO_2 в воздушно-сухом и насыщенном водой бетоне может отличаться примерно на четыре порядка подобно тому, как отличаются коэффициенты диффузии газов и неперемешиваемых жидкостей. При отсутствии влаги химического взаимодействия CO_2 с цементным камнем не происходит.

Интересные результаты получены при изучении влияния условий среды на карбонизацию бетонов. Обширные длительные испытания бетонных призм в различных условиях хранения однозначно показывают, что фактическое развитие карбонизации отклоняется от закона корня из времени.

На рисунке 1 приведено среднее значение глубины карбонизации 27 бетонов при хранении в условиях искусственного климата (температура 20°C , относительная влажность 65 %) и хранения на открытом воздухе (защищенных от дождя и незащищенных).

Вид графика объясняется тем, что диффузия CO_2 в воздухе происходит примерно в 10^4 раз быстрее, чем в воде, поэтому влажность бетонных образцов имеет решающее значение для скорости карбонизации. Незащищенные наружные поверхности конструкций находятся под воздействием постоянно меняющейся влажности. Поскольку высушивание протекает относительно медленно, в наружном слое возникает градиент влажности.

Если граница зоны высушивания более удалена от поверхности, чем фронт карбонизации, то диффузия CO_2 может развиваться снаружи до фронта карбонизации через заполненные воздухом поры. Однако если после кратковременного дождя зона высыхания находится ближе к поверхности бетона, чем фронт карбонизации, диффузия CO_2 через заполненную водой систему пор сильно затрудняется, так что карбонизация практически прекращается.

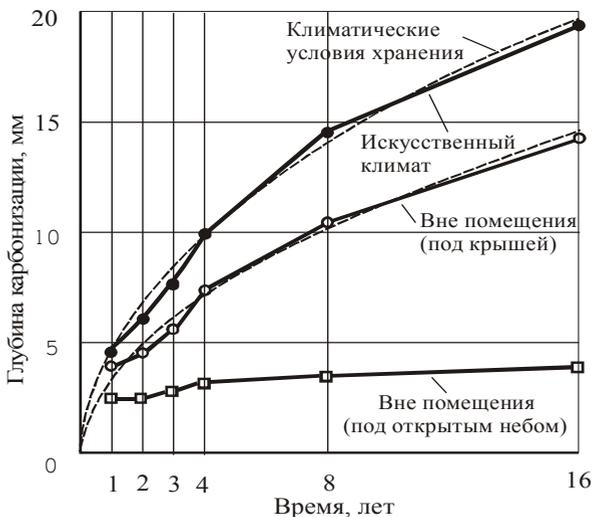


Рисунок 1 - Влияние условий эксплуатации на карбонизацию бетона
(по данным исследований Алексева С.Н. и Розенталя Н.К.).

При этом глубина высыхания зависит не только от качества бетона, но и от условий среды. Конечная глубина карбонизации устанавливается независимо от влажности бетона. При карбонизации в поровой влаге возникает разность концентрации щелочных составляющих бетона между внутренними слоями и фронтом карбонизации. Это вызывает диффузию подвижных щелочных составляющих в поровой влаге к фронту карбонизации, где они также карбонизируются.

Поскольку скорость карбонизации с увеличением глубины карбонизации уменьшается из-за увеличения пути диффузии CO_2 , в пределе устанавливается конечная глубина карбонизации, при которой к фронту карбонизации поступает столько CO_2 , сколько необходимо для реакции с диффундирующими из глубины бетона щелочными компонентами.

Следует отметить трудоемкость экспериментального определения склонности затвердевшего бетона к карбонизации – необходимы специализированное испытательное оборудование и отработанные методики, а также достаточно квалифицированный обслуживающий персонал.

В первую очередь необходимо привести наиболее распространенную (и простую) зависимость для расчета глубины карбонизации (x_K), полученную К. Кишитани:

$$x_k = K \sqrt{\frac{\tau \frac{B}{C} - 1,76}{7,2}},$$

где В/С – водоцементное отношение бетона; τ – время эксплуатации конструкции, годы; К – эмпирический коэффициент, учитывающий свойства использованных при изготовлении бетона компонентов смеси.

Но в целом можно констатировать, что надежные модели для прогнозирования глубины карбонизации бетона, учитывающие сложные эксплуатационные условия, пока отсутствуют.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной производственной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976, – 205 с.
2. Алексеев, С.Н. Коррозия арматуры и повышение защитного действия бетона / С.Н. Алексеев. – М.: Бетон и железобетон, 1986. – № 7. – С. 3–4.
3. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979, – 344 с.
4. Бабицкий, В.В. Структура и коррозионная стойкость бетона и железобетона: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.В. Бабицкий. – Минск, 2006. – 539 с.

Стеновые блоки из неавтоклавного газобетона

Недвецкий Е.С.

Научный руководитель – Повидайко В.Г.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Неавтоклавный газобетон относится к ячеистым бетонам с замкнутой структурой пор в цементном камне, образованных в результате взаимодействия порообразователя (алюминиевой пудры или алюминиевой пасты), цемента в процессе гидратации и наполнителей (песок, доломитовая мука, известь), твердеющий при естественных условиях или при электропрогреве.

Вязущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом, содержащим диоксид кремния. Кремнеземистый компонент (молотый кварцевый песок, речной песок, зола-унос ТЭС и молотый гранулированный доменный шлак) уменьшают расход вязущего, усадку бетона и повышают качество ячеистого бетона. Кварцевый песок обычно размалывают мокрым способом и применяют в виде песчаного шлама.

Измельчение увеличивает удельную поверхность (m^2/g) кремнеземистого компонента и повышает его химическую активность. Экономически выгодно применение побочных продуктов промышленности для изготовления ячеистого бетона – золы-уноса доменных шлаков, нефелинового шлама и др.

В условиях роста стоимости энергетических ресурсов существенное значение приобретает производство строительных материалов, технология изготовления которых отличается пониженной энергоемкостью, а также применение высокоэффективных теплоизоляционных материалов в ограждающих конструкциях. Действующие требования повышенной теплозащиты ограждающих элементов исключили возможность применения однослойных стен из сплошного кирпича – как красного, так и силикатного. Сохранение приемлемой толщины стены (не более 60 см) требует применения дополнительного теплоизоляционного материала. Это относится также к чердачным покрытиям и цокольным перекрытиям.

Таким теплоизоляционным материалом является ячеистый бетон, в частности - неавтоклавный газобетон. Главная причина сложившейся ситуации – возникшая необходимость всемирной экономии энергии. Автоклавный газобетон требует для своего изготовления значительных расходов энергии. Однако существует менее энергоемкий и экономичный неавтоклавный газобетон, обладающий целым комплексом положительных характеристик.

Неавтоклавный газобетон – экологически чистый материал с обеспеченной сырьевой базой. Он состоит из цемента, наполнителя (например, золы ТЭС), воды и газообразователя (алюминиевой пудры). Известен неавтоклавный газобетон на отходах производства, бесцементный или содержащий малое количество цемента (не более 100 кг/м^3): его прочность при плотности 600 кг/м^3 может превышать 5 МПа. Это материал с широким диапазоном свойств, он может конкурировать и с таким эффективным теплоизоляционным материалом, как минеральная вата, и с эффективным пористым кирпичом. Его плотность составляет от 200 до 1200 кг/м^3 , а максимальная прочность может превышать 10 МПа. Газобетон имеет высокую паропроницаемость и способен создавать в помещении благоприятный микроклимат. Номенклатура газобетонных изделий достаточно широка. Это и элементы теплоизоляции, в том числе скорлупы для трубопроводов, и огнеупорные изделия: крупные и мелкие стеновые блоки, панели, плиты перекрытий.

Неавтоклавный газобетон получается в результате реакции между портландцементом и мелкодисперсной алюминиевой пудрой. Выделяющийся при этом водород образует поры в цементном тесте [1].

По типу химических реакций газообразователи делятся на следующие виды:

- Вступающие в химическое взаимодействие с вяжущими или продуктами его гидратации (алюминиевая пудра);
- Разлагающиеся с выделением газа (пергидроль);
- Взаимодействующие между собой и выделяющие газ в результате обменных реакций (молотый известняк).

Так как алюминий покрыт оксидной пленкой, то для протекания реакции газообразования при взаимодействии с водой ее необходимо разрушить. Известно два способа разрушения: химический (приготовление суспензии щелочи и алюминиевой пудры) и механический (в процессе перемешивания компонентов, входящих в состав замеса, в результате трения частиц). Расход алюминиевой пудры в обоих случаях имеет разницу в 10–20 грамм из расчета на 1 м^3 готовой продукции (в суспензии щелочи расход меньше). Сложность приготовления суспензии состоит в точной дозировке компонентов на каждый замес. В простом применении при производстве смеси выгоднее использовать механический способ разрушения оксидной пленки. При производстве необходимо учитывать температурный режим: смеси, формы и камеры твердения (около 40 градусов). Каждый режим тем или иным образом влияет на качество готовой продукции.

Процесс производства неавтоклавного газобетона осуществляется следующим образом. Портландцемент, молотая негашеная известь и зола подается в силос из цементовоза. В качестве активатора бетонной смеси ис-

пользуется алюминиевая паста, на основе которой готовится алюминиевая суспензия в емкости с пропеллерным смесителем. Для активации вспучивания и ускорения твердения газобетона можно использовать сульфат натрия. Сульфат натрия в виде порошка доставляется в емкостях и дозируется через отдельный дозатор. Полипропиленовая фибра подается в смеситель через специальный дозатор. Для приготовления газобетонной массы используют воду, нагретую до 40°C. Газобетонную массу перемешивают в бетоносмесителе. Предварительно дозируют воду и суспензию алюминиевой пасты. Транспортировка извести в весовой дозатор осуществляется шнековым питателем. Из весового дозатора цемент, зола ТЭС и негашеная известь с помощью шнекового транспортера подаются в смеситель. Время перемешивания смеси 3 мин. После этого через весовой дозатор подается алюминиевая суспензия. Время перемешивания газобетонной массы после добавления алюминиевой суспензии не должен превышать 3 мин.

Последовательность добавления компонентов в смеситель: вода – сульфат натрия – портландцемент, зола – негашеная известь – полипропиленовая фибра – алюминиевая суспензия.

Готовую газобетонную смесь выливают в форму, которая предварительно устанавливается на виброударный стол, расположенный под вибросмесителем. Один замес смесителя выливается в одну форму. После заполнения формы включается виброударный механизм. Время вспучивания 7...10 мин. Общее время дозирования, заливания и вспучивания одного массива – 20 мин. Заполненную газобетоном форму с помощью кран-балки транспортируют на участок выдержки. Время выдержки не менее 6 ч. После набора массивом необходимой пластической прочности форму распалубливают, а массив на поддоне с помощью кран-балки транспортируется на участок выдержки. Через 12 ч массив разрезается на резальном комплексе на изделия заданных размеров. Формы, освобожденные от массива, подготавливаются, вставляются очищенные поддоны, собираются и смазываются. Отходы после резания собираются в специальные гибкие контейнеры и подаются в дозировочный узел. Крупногабаритные отходы и брак подаются на молотковую самоочищающуюся дробилку, а после дробления в гибкие контейнеры. Отходы подаются в смеситель через узел подготовки отходов, который состоит из дозаторов отходов, дозатора воды и смесителя-активатора.

Газобетонные изделия с помощью манипулятора переносят из резального стола на поддоны. Изделия запаковывают пленкой и с помощью автопогрузчика транспортируют на склад готовой продукции.

В виду закрытости пор, неавтоклавный газобетон имеет невысокую паропроницаемость. А процесс газообразования, в результате химического взаимодействия алюминиевой пудры и воды, создает внутреннее напряже-

ние ячейки и уплотнение стенок между порами, что позволяет получить прочность выше, чем у пенобетона, при заданной одинаковой плотности.

Неавтоклавный газобетон может использоваться для устройства внешних ограждающих конструкций, при этом толщина конструкций должна быть задана с учетом нагрузки и термического сопротивления.

Преимущества неавтоклавного газобетона - невысокая себестоимость изделий; используется обычный не измельченный мелкий песок с модулем крупности $M_k=1,4 - 2,1$; кладку блоков выполняют на обычном растворе. Литевая технология предусматривает изготовление изделий, как правило, в отдельных формах из подвижных смесей, содержащих 50-60% воды от массы сухих компонентов. Водотвердое отношение В/Т составляет 0,5-0,6.

В Научно-исследовательской и испытательной лаборатории БНТУ проведены исследования по разработке композиций и технологии производства неавтоклавного газобетона. В качестве основных сырьевых материалов использовали портландцемент марки ПЦ 500, песок речной с модулем крупности $M_k=1,5$ и алюминиевую пудру и добавки.

Испытания образцов в возрасте 28 суток показали, что они имеют предел прочности при сжатии 1,8-2,9 МПа, среднюю плотность – 650-800 кг/м³, морозостойкость – 35 циклов (F35), теплопроводность – 0,14-0,21 Вт/м·К. Полученный неавтоклавный газобетон относится к конструкционно-теплоизоляционным материалам.

По своим показателям образцы отвечают требованиям СТБ 1008-95 «Камни бетонные стеновые. Общие технические условия». Из неавтоклавного газобетона рекомендуется изготавливать стеновые блоки для малоэтажного строительства. Изделия могут применяться как для устройства наружных ограждающих конструкций, так и для устройства внутренних перегородок. За счет мобильности производства возможно монолитная заливка пустот и полостей стен, полов непосредственно на строительной площадке. Неавтоклавный газобетон может применяться также при строительстве каркасного высотного домостроения.

ЛИТЕРАТУРА

Строительство / гл. ред. В.А. Кучеренко. – М.: Советская Энциклопедия, 1964. Т. 1: А – Кессон. – 215 с. – (Энциклопедия современной техники. Энциклопедии. Словари. Справочники).

Пенополистирол и его применение в качестве теплоизоляции

Пашкевич Е. Н.

Научный руководитель – Красулина Л. В.
Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Беларусь

Пенополистирол — это легкий ячеистый изоляционный материал белого цвета, который изготовлен на основе полистирола в процессе термального вспучивания гранул полистирола (при воздействии газообразователя). Открытие пенополистирола было сделано в 1951 году в Германии. Поначалу применялся как теплоизолятор для обшивки наружных стен строений.

Пенополистирол является незаменимым материалом для утепления подземных частей здания и фундаментов, стен подвалов и цокольных этажей — там, где применение других видов теплоизоляции невозможно из-за капиллярного поднятия грунтовых вод. Кроме того, пенополистирол предохраняет гидроизоляцию от негативного воздействия окружающей среды. Этого позволяют добиться такие качества пенополистирола, как влагостойкость, легкость и долговечность. Плиты из пенополистирола почти невесомы, их удобно транспортировать и монтировать.

Строительный пенополистирол можно разделить на два вида:

- вспененный пенополистирол, который получается методом вспенивания гранул полистирола;
- экструзионный пенополистирол, который получается методом экструзии (обозначение XPS).

Формовка вспененных гранул в готовые изделия происходит беспрессовым и прессовым способами. В основном он используется для теплоизоляции фундаментов, полов, стен, кровель зданий. Пенополистирольные плиты на 98% состоят из воздуха. Этот факт обуславливает основные свойства пенополистирола:

– низкая теплопроводность и термическое расширение (пенополистирол — идеальный утеплитель, который обеспечивает высокую теплосберегающую способность),

– высокая теплоизоляция (в зданиях, утепленных пенополистирольными плитами, значительно сокращаются расходы на отопление; теплосберегающие свойства пенополистирола используются также при строительстве холодильных установок и оборудования);- хорошая звукоизоляция от ударного шума (для обеспечения высокой звукоизоляции необходима пенополистирольная плита толщиной всего 2-3 см; чем толще слой пенопласта, тем выше шумопоглощающие и звукоизолирующие свойства);- струк-

турная стабильность в широком диапазоне температур (нижний предел — -180°C , верхний $+80^{\circ}\text{C}$); устойчивость к биологическим и химическим воздействиям;

- высокая сопротивленность диффузии водяных паров и высокий коэффициент влагостойкости (пенополистирол не растворяется, не впитывает воду и влагу, не разбухает);

- высокая прочность при низкой плотности (это свойство позволяет пенополистиролу нести высокую равномерную механическую нагрузку и при этом не подвергаться деформации);

- небольшой вес (позволяет легко транспортировать пенополистирол, уменьшить расходы при строительстве, а также сократить сроки монтажа).

Пенополистирол как строительный материал очень технологичен. Он легко поддается механической обработке простыми и общедоступными инструментами - хорошо пилится пилой и режется ножом. Срез у пенополистирола четкий, прямолинейный и имеет ровную поверхность. При необходимости на поверхность пенополистирола легко может быть нанесен слой клеящего или связующего материала. Слой пенополистирола толщиной в 12 см по теплосбережению равен двухметровой стене из кирпича. Поэтому пенополистирол является одним из самых востребованных строительных утеплителей. При всех достоинствах пенополистирола особенно стоит отметить его невысокую цену. Самая замечательная характеристика пенополистирола - его низкая теплопроводность, в связи с чем он признан одним из наиболее эффективных утеплителей в строительстве. Объясняется это тем, что пенополистирол представляет собой пористое тело, поры которого заполнены, как правило, воздухом. А его теплопроводность в спокойном состоянии равна $0,028 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$. Гранит же, например, имеет коэффициент теплопроводности в 100 раз больше - около $3 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$, сталь - приблизительно $70 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$, алюминий - почти $190 \text{ Вт}/(\text{м } ^{\circ}\text{C})$.

Теплопроводность для одного и того же материала не постоянна. Она может изменяться в зависимости от его плотности, влажности (чем больше влажность, тем больше теплопроводность), температуры и направления теплового потока.

Но при таких замечательных качествах, пенополистирол имеет и значительные недостатки. Результаты исследований трёхслойных стеновых панелей с утеплителем из пенополистирола показали, что внутри таких панелей появляется поверхность раздела сред с разной плотностью и проницаемостью. На этой поверхности создаются условия для накопления влаги, которая неизбежно впитывается бетоном. В итоге – резкое понижение сопротивления теплопередаче стены и опасность ее промерзания. Как показали замеры, проведенные экспертами Научного центра экологической токсикологии в Москве, содержание токсичных веществ в панелях для

жилья, превышают ПДК в десятки и сотни раз. При этом именно те же токсичные вещества, превышающие ПДК в несколько раз, присутствовали и в воздухе жилых помещений. Пенополистирол неизбежно разрушается под действием кислорода воздуха и выделяет при этом вредные для здоровья вещества. Именно они, а не стирол, определяют экологическую опасность пенополистирола. Рассуждая о токсичности продуктов его горения, иные белорусские авторы не видят в ней особой опасности, ссылаясь на малое количество обнаруженного при соответствующих испытаниях оксида углерода. Именно этот, угарный, газ в основном, по мнению упомянутых авторов, обуславливает токсический эффект при горении пенополистирола. Доля оксида углерода в продуктах разложения мала, но это совсем не означает, что нет в большом количестве других, еще более токсичных веществ. И это обстоятельство периодически получает зловещие подтверждения, в чем-то перекликаясь с таким фактом: в свое время американцы заменили нефть полистиролом в составе напалма, чтобы его нельзя было потушить. Практически весь полистирол в пенополистирольном изделии находится в виде тонких плёнок. И вся их поверхность доступна воздуху, а значит – кислороду. И указанные плёнки естественным образом стареют, в результате чего срок службы пенополистирольных изделий оказывается не очень продолжительным. Так, один из российских учёных определил, долговечность выполненной без брака штукатурной системы с беспрессовым пенополистиролом составляет 30 лет. Пенополистирол является горючим материалом, продукты горения которого опасны для здоровья. Не смотря на отрицательные качества, пенополистирол широко применяется в системе утепления зданий.

Одна из наиболее часто предлагаемых систем утепления – это система, при которой несгораемый утеплитель крепится клеем и дюбелями с шайбами на наружной поверхности стены, а затем на утеплитель наносится защитно-отделочное покрытие, состоящее из нескольких слоев полимерных и полимерцементных составов, армированных стеклотеткой. Такая система является самонесущей комплексной конструкцией, которая должна гарантировать не только долговременную несущую способность, но и длительный период сохранять первоначальные теплозащитные свойства при эксплуатационных воздействиях. Важно помнить, что теплозащитные свойства ограждающих конструкций сильно зависят от влажности материалов, из которых они выполнены. Подавляющее большинство строительных материалов содержит определенное количество пор, которые в сухом состоянии заполнены воздухом. При повышении влажности поры заполняются влагой, теплопроводность которой в 20 раз больше, чем у воздуха, что приводит к резкому снижению теплоизоляционных свойств материалов, а значит и конструкций, элементами которых они являются.

В работе исследована теплопроводность пенополистирольных плит с различной степенью их увлажнения.

Увлажнение предварительно высушенных и взвешенных образцов производили в течении 5 месяцев путем выдерживания до равновесного состояния в искусственно созданных паровоздушных средах, имеющих относительную влажность воздуха 40, 60, 80, 90, 97 % при температуре 20 °С, и в последующем определении сорбционной влажности этих образцов путем взвешивания. Полученные результаты для пенополистирола различной плотности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сорбционная влажность пенополистирола

Средняя плотность материала, кг/м	Относительная влажность воздуха, %	Сорбционная влажность материала, %
16	40	0,44
	60	0,50
	80	0,78
	90	0,90
	97	1,16
26	40	0,36
	60	0,44
	80	0,66
	90	0,81
	97	0,96
37	40	0,31
	60	0,37
	80	0,54
	90	0,69
	97	0,80

Сорбционная влажность исследованных материалов даже при максимальной относительной влажности воздуха имеет значение близкое к 1% и не достигает значений влажности этих материалов и приведённых в нормативных документах для условий эксплуатации А и Б. Теплопроводность образцов пенополистирола определяли стационарным методом согласно СТБ 1618, который допускает испытание сухих образцов и образцов с влажностью, не превышающей максимальную сорбционную [2]. Образцы увлажняли в паровоздушных средах, имеющих относительную влажность 75% и 90% при температуре 20 °С до достижения ими максимальной сорбционной влажности. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Теплопроводность пенополистирола различной плотности и влажности

Средняя плотность материала, кг/м ³	Теплопроводность материала		
	в сухом состоянии, Вт/(м	выдержанного при относительной влажности воздуха 75%	выдержанного при относительной влажности воздуха 90% Вт/(м*К)
16	0,0398	0,0419 (влажность материала 0,7... 0,8%)	0,0431 (влажность материала 1,0... 1,2%)
26	0,0378	0,0396 (влажность материала 0,6... 0,7%)	0,0406 (влажность материала 0,9..., 1,0%)
37	0,0374	0,0391 (влажность материала 0,4...0,5%)	0,0399 (влажность материала 0,7...0,8%)

Результаты проведенных исследований показали, что при увеличении сорбционной влажности пенополистирола различной плотности наблюдаются незначительные изменения теплопроводности, что объясняется закрытой ячеистой структурой материала. Благодаря такой структуре пенополистирол характеризуется высокими стабильными теплоизоляционными свойствами, теплопроводность во влажных условиях изменяется в пределах 0.0391 до 0.0431Вт/(м*К)в зависимости от плотности и влажности материала. Полученные результаты показывают стабильность значений теплопроводности пенополистирола при увеличении его влажности до 1,2 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника: ТКП 45-2.04-43-2006.
2. Материалы строительные. Методы определения теплопроводности при стационарном тепловом режиме: СТБ 1618.

Акриловый камень

Приходько В.В.

Научный руководитель – Бортницкая М.Г.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Человек всегда стремился к получению новых, более совершенных материалов, по своим свойствам превосходящих природные аналоги. Прорыв в поисках адекватного аналога натурального камня состоялся во второй половине двадцатого века. Учёные компании DuPont (США) в 1967 году изобрели технология изготовления акрилового камня, после чего изделия начали выпускать под торговой маркой Corian. Акриловый камень получают путём смешивания акриловой смолы, натуральных минеральных наполнителей и пигментных добавок с последующей сушкой. Часто этот материал называют просто искусственным камнем.

Акриловый камень – это экологически чистый и гигиеничный материал: не впитывает грязь и воду, не реагирует на действие кислот, щелочей и других химических составов, сам не выделяет токсинов. По истечении времени искусственный камень не желтеет, не выгорает под прямыми солнечными лучами, под действием перепадов температур не деформируется. Искусственный камень устойчив к механическому воздействию. В случае нанесения повреждений акриловый камень легко ремонтируется.

В настоящее время материалы для производства изделий из искусственного камня выпускают несколько мировых производителей: «Corian», «Rocsbo», «Staron», «Montelli», «LG».

Области применения акрилового камня:

– в общественном секторе — барные стойки в ресторанах, административные стойки в медицинских учреждениях, банках, офисах.

– в быту — кухонные столешницы, подоконники, отделка ванных комнат, изготовление предметов мебели.

Материал конкурирует с натуральным камнем, ламинированным ДСП.

В данной работе рассматриваются изделия из акрилового камня компании ООО «ASstone», Республика Беларусь.

Этапы производства акрилового камня:

– Подготовка формы для изделия из искусственного камня (полировка и нанесение антиадгезионного материала).

– Подготовка заливочной смеси. Необходимое количество смолы и катализатора перемешиваются в вакуумном миксере до получения однородной смеси.

– Далее миксер открывается и в катализованную смолу добавляется наполнитель. Снова происходит перемешивание в миксере до получения однородной смеси .

– Заливка в форму смеси смолы с наполнителем.

– Полимеризация смолы в форме.

– Термообработка готового изделия из искусственного камня для улучшения его физико-механических свойств.

– Окончательная обработка изделия из искусственного камня (механическая обработка, полировка, склейка и т.д.).

Время для перемешивания смеси, температура и время термообработки могут быть разными, Это зависит от состава и геометрических размеров изделия.

В лаборатории кафедры «Технология бетона и строительные материалы» Белорусского национального технического университета был проведён ряд испытаний изделий из акрилового камня компании ООО «ASStone» по определению:

- средней плотности,
- поверхностной плотности,
- предела прочности при изгибе,
- водопоглощения по массе,
- твёрдости по шкале Мооса,
- сопротивляемости удару.

В ходе испытаний определялись характеристики акрилового камня толщиной 8,5 мм. Для определения средней плотности акрилового камня компании ООО «ASStone» было использовано 9 образцов. Геометрические размеры образцов определялись с точностью 0,1 мм, масса – с точностью 0,1 г. Поверхностная плотность определялась для изделия из камня толщиной 8,5 мм. Предел прочности при статическом изгибе рассчитывался по формуле (1):

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \quad (1)$$

где F – разрушающая сила, l – расстояние между опорами; b – ширина образца; h – высота.

Водопоглощение по массе рассчитывалось по формуле (2):

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_c – масса сухого образца, г; m_n – масса образца, насыщенного водой, г

Результаты испытаний акрилового камня и сравнение его характеристик с другими материалами представлены в таблице. Для сравнения приняты натуральный камень (мрамор) и изделий из акрилового камня друго-

го производителя: компания DuPont™ Corian. Результаты испытаний камня DuPont™ Corian были взяты с официального сайта компании.

Таблица – Сравнение свойств акрилового камня и мрамора

Характеристики	ООО «ASstone»	DuPont™ Corian	Мрамор
Средняя плотность, кг/м ³	1707	1780	2600
Поверхностная плотность (толщина 8,5 мм), кг/м ²	14,5	15,1	22,1
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	21,5	58	12-30
Водопоглощение по массе, %	0,03	0,03	< 1
Твёрдость по шкале Мооса	2-3	2-3	2-5

Также оценивались возможные повреждения изделий из акрилового камня, для чего были проведены следующие опыты: ударная прочность и сопротивление падению молотка с разных высот.

Ударная прочность изделий из акрилового камня определялась на копре Педжа и была рассчитана по формуле

$$R_y = \frac{W}{V} = \frac{[(1+2+3... (n-1))]m \cdot 9,81}{V} \quad (3),$$

где m – масса стального груза, ($m=2$ кг); n – порядковый номер удара, разрушивший образец, $[1+2+...]$ – суммарная высота падения груза в см; V – объем образца, м³.

Разрушение камня произошло при высоте падения груза 15 см. Ударная прочность составила $R_y = 897$ кДж/м³.

Отметки, оставленные грузом при падении с разных высот, представлены на рисунке 1. Повреждения после падения молотка массой 400 г. с различной высоты представлены на рисунке 2.

Акриловый камень обладает рядом преимуществ перед натуральным камнем при использовании его в бытовых условиях:

- Стоимость изделий из акрилового камня ниже.
- Широкий спектр цветов.
- При контакте с кипящей водой видимых повреждений нет.
- Мелкие повреждения на поверхности камня легко удаляются шлифовальной машинкой, при крупных повреждениях их вырезают, вклеивают новый фрагмент и зачищают швы, после чего изделие принимает первоначальный вид.
- При контакте с огнём появляется пожелтение поверхности, которое легко убирается абразивным очистителем

- На ощупь акриловый камень «теплее» натурального.
- Возможно бесшовное соединение частей изделия.

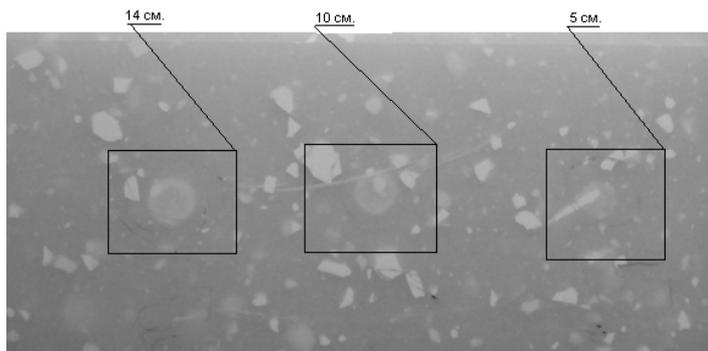


Рисунок 1 – Вид образца акрилового камня после падения груза

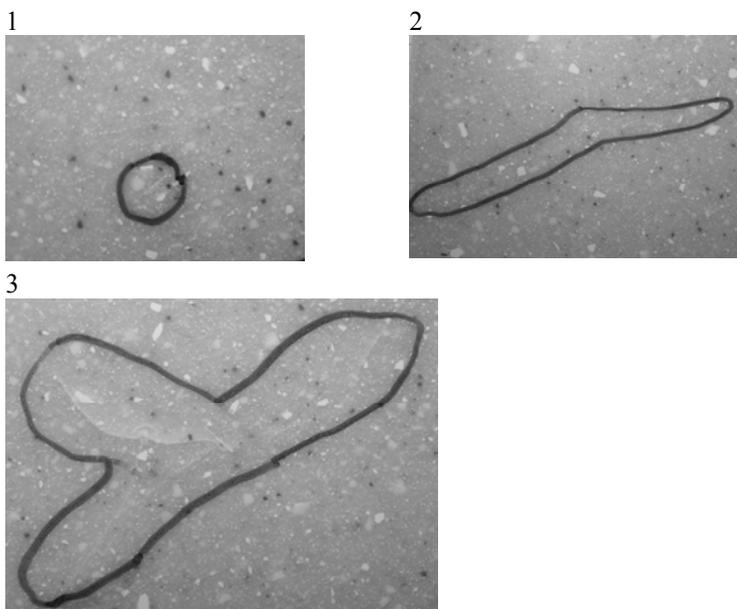


Рисунок 2 – Повреждения акрилового камня после падения молотка:

1 – с высоты 30 см (скол 4 мм); 2 – с высоты 50 см (глубокий скол и трещина длиной 10 см); 3 – с высоты 100 см (сильные повреждения поверхности)

Эффективность применения углеродных нанотрубок в высокопрочном бетоне

Савосько А.П., Третьяк Е.Г.

Научный руководитель – Рябчиков П.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

«Нано» (греч. «nanos» — карлик) — это приставка, обозначающая одну миллиардную долю исходной единицы. Нанометр, соответственно, означает одну миллиардную долю метра.

Во второй половине XX в. было установлено, что в некоторых случаях между молекулами и веществом могут присутствовать более сложные объекты, которые уже не являются молекулами, но еще не характеризуются как вещество. Эти объекты, имеющие размеры в нанометровом диапазоне, назвали молекулярными кластерами.

Молекулярный кластер — это упорядоченная пространственная структура, связанная посредством сил молекулярного взаимодействия, состоящая из атомов одного химического элемента и имеющая размеры порядка нескольких нанометров.

Широко применяемым в нанотехнологиях молекулярным кластером являются углеродные нанотрубки. К настоящему времени открыто более 30 видов углеродных нанотрубок, большинство из которых может быть использовано для приготовления модифицированных бетонов.

Структура нанотрубок

Идеальная однослойная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графитовую плоскость, т.е. поверхность, выложенную правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Заканчивается трубка полусферическими вершинами, содержащими, наряду с правильными шестиугольниками, также по шесть правильных пятиугольников.

В действительности такой структуры не наблюдается. Обычно форма вершин нанотрубок далека от идеальной полусферы, а дефекты решетки (пяти- и семиугольники) «искривляют» или даже «сворачивают» трубки в спирали. Поперечное сечение нанотрубки часто имеет вид не окружности, а многоугольника. Иными словами, поверхность «реальных» нанотрубок обладает крайней неравномерностью энергетического потенциала, сосредоточенного в первую очередь у вершин, а также у иных дефектов решетки. Площадь поверхности нанотрубки может достигать величины в районе $21\text{--}36 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$. Для портландцемента эта величина обычно составляет лишь $1,5 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$.

Теория эффективности

Эффективность введения вещества УНМ в цемент и цементные композиции в целом основывается на понижении энергетического порога начала образования кристаллогидратов из водного раствора, насыщенного ионами клинкерных минералов цемента, как результата его взаимодействия с водой затворения. То есть, в этом случае используется высокий уровень энергии поверхности частиц УНМ, которые могут служить центрами кристаллизации, ускоряя процесс образования кристаллогидратов и обеспечивая повышение темпа роста прочности цементного камня.

По классификации Ратинова-Розенберг такие вещества относят к добавкам третьего класса (кристаллические затравки). Их эффективность известна и в наибольшей мере реализуется в современных условиях при использовании микрокремнезема. Однако при этом дозировка или расход данной добавки составляет ~ 10 % от массы цемента (МЦ) и, для обеспечения максимальных результатов, достигает 30 % от МЦ.

Особенность и уникальность применения вещества УНМ заключается в достижении положительного результата, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента. В ходе экспериментов было выявлено, что оптимальная дозировка УНМ соответствует примерно 0,05 % от массы цемента, а превышение этой дозировки не рационально как с экономических позиций, так и по факту их воздействия на свойства бетона.

Другим вариантом эффективности УНМ является эффект армирования. Нанотрубки по сути являются полыми волокнами, имеющими заданную прочность (прочность на разрыв 30-100 ГПа, модуль Юнга – 1000-1400 ГПа), и абсолютно инертны как по отношению к любым кислотам, так и к щелочам. Введенные в бетонную смесь, нанотрубки армируют цементный камень, превращая его в композиционный материал. Эффект возникает за счет направленного регулирования кристаллизационных процессов. Нанотрубки ведут себя в цементном растворе как «зародыши» кристаллов, но поскольку они имеют не точечную, а протяженную форму, кристаллы образуются вытянутые. Разрастаясь, кристаллы переплетаются, частично прорастают друг в друга и образуют пространственную сеть, пронизывающую и связывающую в единое целое весь цементный камень (Рис.1).

Углеродные наноматериалы в бетоне

Различие способов получения нанотрубок ведет к изменчивости их форм, конфигураций и размеров, неизбежно сопровождаясь непостоянством свойств углеродных наноматериалов и, как следствие, эффективной оптимальной их дозировке (как правило, необходима большая дозировка при большей загрязненности УНМ). Таким образом, для получения ста-

бильных результатов требуется использование УНМ строго определенного состава и происхождения.

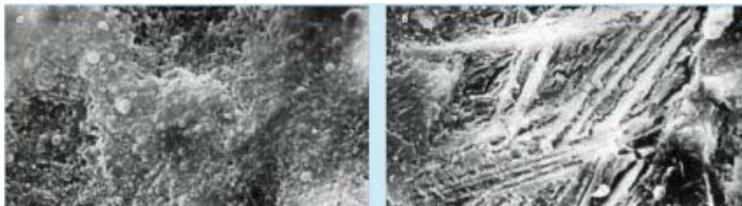


Рисунок 1 - Электронно-микроскопическое изображение цементного камня при увеличении в 6000 раз:

а - обычный цементный камень; б - цементный камень с введенными нанотрубками

При введении УНМ в приготавливаемую тяжелую бетонную смесь рекомендуется метод предварительного смешивания вещества УНМ с мелким заполнителем. Частицы УНМ «адсорбируются» на поверхности зерен песка и благодаря этому равномерно распределяются в объеме приготавливаемой бетонной смеси.

В ходе экспериментов было выявлено, что углеродные нанодобавки не оказывают отрицательного влияния на нормируемые физико-технические свойства цемента (активность, равномерность изменения объема, сроки схватывания, нормальную густоту) и могут до 20...30 % повысить активность цемента, что является основой роста прочности бетона.

Установлена эффективность комплексного введения в цемент традиционных химических добавок ускорителей твердения и углеродных наноматериалов. При этом возможно повышение общего эффекта роста его прочности, а на этой основе – бетона.

Установлена совместимость, и, одновременно, инертность вещества углеродных нанодобавок по отношению к пластифицирующему эффекту традиционно применяемых с этой целью химических добавок-пластификаторов. Тем не менее, существуют экспериментальные данные о высокой эффективности другого типа УНМ – астраленов. Исследования показали, что при модификации ряда пластифицирующих добавок десяти-тысячными долями процента астраленов расплав конуса цементно-песчаной смеси увеличивается практически в два раза.

Влияние на характеристики высокопрочного бетона

Прочность: влияние УНМ проявляется в росте прочности бетона до 30% в первые сутки твердения, до 15% в проектном возрасте и до 10% к 90 сут. твердения бетона.

Усадка: положительное влияние УНМ в оптимальной (0,05% от МЦ) дозировке на развитие процесса усадки при твердении бетона - замедление

усадки на начальном этапе и 5-7% ее снижение. Это связано с влиянием УНМ на процесс гидратации цемента и рост плотности и прочности цементного камня и бетона в целом.

Упруго-деформативные свойства: введение УНМ в оптимальной дозировке 0,05% незначительно повышает модуль упругости бетона (2-3%), однако это повышение в большой степени связано именно с повышением прочности бетона, а не с фактом введения вещества УНМ. Стоит отметить, что избыток нановещества приводит к снижению модуля упругости. Это может быть объяснено тем, что избыточное количество УНМ в виде мельчайших частиц попадает в места контактов гидрокристаллов новообразований твердеющего цемента, ослабляя тем самым силы сцепления между ними.

Влияние на эксплуатационные свойства высокопрочного бетона

Водопоглощение: введение УНМ в оптимальной дозировке обеспечивает уверенное снижение водопоглощения бетона по массе на 1...3%, что является отражением роста плотности материала. Двухпроцентное снижение водопоглощения соответствует снижению объема открытой (общающейся) пористости цементного камня примерно на 5...6%.

Проницаемость: наблюдается тенденция роста величин сопротивления бетона прониканию воздуха в образцах с УНМ, подтверждающая вывод о более высокой плотности цементного камня в этом случае.

Коррозионная стойкость бетона в среде хлоридов (NaCl) и сульфатов (Na_2SO_4): существует устойчивый эффект от введения в бетон вещества УНМ проявляющийся как в росте "исходной" (начальной) прочности бетона всех исследованных составов, так и в снижении потерь массы образцов при испытаниях на солестойкость в растворах NaCl и Na_2SO_4 .

Защитная способность бетона по отношению к стальной арматуре: существенный состав УНМ не содержит ионов-окислителей, способных вызывать коррозию стали. А повышение плотности бетона при их введении способствует снижению его проницаемости и повышению защитной способности при воздействии внешней и агрессивной эксплуатационной (или испытательной) среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование физико-технических свойств и разработка технологии цементных бетонов, модифицированных нанокремнекислотными добавками». – БНТУ, 2011.

2. Журнал «СтройПРОФИль». – 2007. – № 8 (62). – 18.12.2007.

Защита строительных материалов от ионизирующего излучения

Савчик О.М., Савватимов А.Д., Эйсмонт Д.Г.

Научный руководитель – Красулина Л.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

На практике использования строительных материалов большое значение имеют условия, в которых будут эксплуатироваться, построенные из них конструкции. Эти условия могут быть различными, например: высокая влажность, большие температурные колебания, разрушающее действие растительных и живых микроорганизмов, химически активных веществ и т.д. С течением времени и ускорением научно-технического прогресса выше изложенный список постоянно обновляется.

В дополнение к существующим агрессивным условиям эксплуатации, которые были ранее изложены, относят влияние ионизирующего излучения на строительные материалы. В данной научной работе мы определим физический смысл ионизирующего излучения, опишем его основные положения, средства защиты.

Ионизирующее излучение. Существуют два вида ионизирующих излучений: корпускулярное, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля (альфа(α)- и бета(β)-излучение и нейтронное излучение) и электромагнитное (гамма(γ)-излучение и рентгеновское) с очень малой длиной волны.

Альфа-лучи. Этот тип распада обычно наблюдается в тяжелых неустойчивых ядрах. При этом разрушается атомное ядро X ("материнское ядро"), образуется α -частица и новое ядро Y ("дочернее ядро"). α -частица представляет собой ядро гелия, имеющее 2 протона и 2 нейтрона. Поскольку α -частица намного больше, чем электрон, и обладает большой кинетической энергией, она практически не отклоняется при столкновении, и ее путь представляет собой почти прямую линию. Этот путь α -частица и протонов в веществе очень короткий. Проникающая способность α -частиц небольшая. Они проходят только около 4 см в воздухе и не проникают через лист бумаги и верхние слои клеток кожи человека. Вредное воздействие на организм человека проявляется при нахождении его в зоне действия вещества, излучающего α -частицы.

Бета-лучи. β -распад наблюдается в неустойчивых изотопах более легких ядер (водород, натрий, азот и т.п.). β -частица испускается материнским ядром и образуется дочернее ядро. Бета-лучи представляют собой поток электронов или позитронов, излучаемых ядрами атомов радиоактивных веществ. По сравнению с α -частицами они обладают большей про-

никающей способностью и поэтому одинаково опасны как при непосредственном прикосновении к излучающему веществу, так и на расстоянии.

Гамма-лучи. Характеризуются наименьшей ионизирующей и наибольшей проникающей способностью. Это высокочастотное электромагнитное излучение, возникающее в процессе ядерных реакций или радиоактивного распада. При α -распаде дочернее ядро может переходить в возбужденное состояние. Электроны занимают более высокие энергетические уровни, которые неустойчивы. Поэтому в течение короткого времени они перемещаются на более низкий энергетический уровень, и избыток энергии испускается в форме γ -лучей, представляющих собой электромагнитные волны или фотоны. Они полностью эквивалентны световым волнам и рентгеновским лучам, которые испускаются возбужденными атомами, но имеют большую энергию. Длина волны γ -лучей короче, чем длина волны рентгеновских лучей. γ -лучи ионизируют вещество, теряя энергию, передавая ее электронам атомов вещества. Они обладают широким диапазоном длин пробега и могут пройти даже через тело человека. Для защиты от γ -лучей, в зависимости от их энергии, требуется толстый экран, сделанный из тяжелого вещества, например свинца.

Нейтроны. Нейтроны являются незаряженными частицами и производят ионизацию косвенно, взаимодействуя первоначально с атомными ядрами, а не с электронами. Они обладают широким диапазоном длины пробега в веществе. Нейтроны содержатся в ядрах всех атомов, кроме водорода. Свободные нейтроны получают в ядерных реакциях. Они вылетают из атомного ядра с различными скоростями и энергией. Нейтроны замедляются при столкновениях с ядрами атомов вещества, при этом происходит передача энергии. Возбужденное ядро вещества испускает протон и γ -лучи. Когда энергия нейтрона уменьшается, он захватывается атомным ядром. Нейтронное излучение представляет собой поток ядерных частиц, не имеющих электрического заряда. Масса нейтрона приблизительно в 4 раза меньше массы α -частиц. В зависимости от энергии различают медленные нейтроны (с энергией менее 1 КэВ), нейтроны промежуточных энергий (от 1 до 500 КэВ) и быстрые нейтроны (от 500 КэВ до 20 МэВ). Среди медленных нейтронов различают тепловые нейтроны с энергией менее 0,2 эВ. Нейтроны замедляются при столкновениях с ядрами атомов вещества, при этом происходит передача энергии. При неупругом взаимодействии нейтронов с ядрами атомов среды возникает вторичное излучение, состоящее из заряженных частиц и γ -лучей (вторичного излучения). При упругих взаимодействиях нейтронов с ядрами может наблюдаться обычная ионизация вещества.

Проникающую способность альфа-излучения, бета-излучения, гамма-квантов, нейтронного излучения можно представить в виде таблицы (табл.1).

Таблица 1 – Проникающая способность различных видов излучений с энергией в 2 МэВ.

Тип излучения	Длина пробега в воздухе, м
Альфа-излучение	0,01
Бета-излучение	10
Нейтронное излучение	15-120
Гамма-кванты	до 600

Защита. Изучая строительные материалы, применяемые для защиты от ионизирующего излучения, наибольшее внимание следует обращать на гамма-лучи и нейтронное излучение. Для их ослабления приходится выполнять защитные экраны значительной толщины. В то время как эффективная защита от альфа- и бета-лучей не является проблемой, вследствие не высокой их проникаемости. К примеру, защита от альфа-излучения достигается применением материалов из обычного или органического стекла толщиной несколько миллиметров, или же достаточно слоя воздуха в несколько сантиметров. Для защиты от бета-излучения конструкции изготавливают из алюминия или пластмассы.

При взаимодействии ионизирующего излучения с материалом возможны разрыв химических связей, образование свободных радикалов и ионов, смещение атомов из равновесного положения в кристаллической решетке. Передача энергии излучения материалу может приводить к нагреву его до высоких температур и оплавлению, переходу из кристаллического состояния в аморфное. Возникающие радиационные дефекты структуры материалов при их облучении приводят к развитию в материалах внутренних напряжений и деформаций, образованию трещин и, в конечном счете, к разрушению. Изменяются также упругие характеристики, температурная деформативность, теплопроводность, плотность и другие свойства.

Для сравнительной оценки защитных свойств материалов используют толщину слоя половинного ослабления $T_{1/2}=0,693a$, где a – длина релаксации, численно равна толщине слоя, который ослабляет поток излучения в $e=2,178$ раз.

Защитные свойства материалов от нейтронного излучения определяются их замедляющей и поглощающей способностью, степенью активации. Быстрые нейтроны наиболее эффективно замедляются веществами с малым атомным номером, такими как графит и водородсодержащие вещества (легкая и тяжелая вода, пластмассы, полиэтилен, парафин). Для эффективного поглощения тепловых нейтронов применяются элементы с боль-

шим сечением поглощения. К ним относятся В, Cl, Li, Na, Nd, Sm, Eu, Gd. Гамма-излучение наиболее эффективно ослабляется материалами с большим атомным номером и высокой плотностью (свинец, сталь, бетон, магнетитовые и другие руды, свинцовое стекло). Основными защитными материалами являются: вода, железо, свинец, полиэтилен, графит, бетоны. В качестве добавки используют бор.

Бетон является основным материалом для защиты от излучений. Бетон является хорошим материалом с точки зрения возможности изменения его свойств — как технических, так и физических (в том числе защитных). Бетоны, применяемые в защитных от радиации целях должны обладать рядом специальных свойств и особенностей, такими как: объём по массе, способность сохранять свои свойства в различных диапазонах температур, наличие химических добавок и т.д. В состав цемента в основном входят окислы кальция, кремния, алюминия, железа и легкие ядра, которые интенсивно поглощают гамма-излучение и замедляют быстрые нейтроны в результате упругого и неупругого столкновений. Ослабление плотности потока нейтронов в бетоне зависит от содержания химически связанной воды в материале защиты, которое определяется в основном типом используемого бетона.

Вязущие вещества. В качестве основного вяжущего для защитных бетонов рекомендуется применять портландцемент и его разновидности, марка которого выбирается из условия обеспечения заданной прочности бетона. После облучения прочность алита и белита снижается на 50–60%, содержание воды уменьшается в 3 раза. Для увеличения эффективности защиты против нейтронного излучения рекомендуется применять цементы с большим содержанием алита и белита, а также цементы, образующие гидратные новообразования с большим содержанием химически связанной воды.

Заполнители. Для приготовления бетонов применяют крупный и мелкий заполнители различных видов. Выбор заполнителя определяется требованиями, предъявляемыми к бетону, местными условиями и технико-экономическими показателями. В качестве заполнителей применяются: магнетит, гематитовые руды, серпентинит, борокальцид B_4S , барит, лимонит, ильменит (титанистый железняк) $FeTiO_3$.

В зависимости от применяемых заполнителей и условий эксплуатации бетона выделяют его следующие типы.

Серпентинитовый бетон. В качестве заполнителя для этого бетона применяется метаморфическая горная порода серпентинит, сложенная в основном минералом класса силикатов — серпентином $[Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_8]$. Это плотная порода зеленого цвета различных оттенков, ее плотность 2,4—2,9 г/см³, твердость 2,4—3,5 (по шкале Мооса),

прочность 40—60 МПа. Основной причиной применения серпентинита в качестве заполнителя для защитных бетонов является большое содержание химически связанной воды (10—15 % по массе), которая к тому же при нагреве породы заметно теряется лишь при температуре более 450 С. Плотность бетонов, приготовленных на серпентинитовом щебне и песке, составляет 2,2—2,35 г/см³

Железосодержащий бетон. Для получения бетонов большой плотности в качестве заполнителей используется различная железная руда (железорудный бетон): лимонитовая, магнетитовая, гематитовая. В строительстве атомных электростанций наибольшее применение получили магнетитовая и гематитовая руды. Дроблением и рассевом руды получают песок и щебень, которые используют для приготовления бетонов.

Полимербетон – бесцементный бетон на основе полимерного связующего (обычно эпоксидную смолу) и большое количество дисперсного наполнителя (талька, аэросила, толчёного кварца, гранитной крошки и др.). Состав может называться пластоцементом, если количество наполнителя более 50 %.

Бетон с добавкой бора. Сечение поглощения тепловых нейтронов изотопа химического элемента В¹⁰ составляет 3838 барн. Поэтому даже небольшое содержание этого изотопа в материале (бетоне) защитного экрана приводит к резкому снижению потоков тепловых и надтепловых нейтронов по сравнению с материалом, где бор отсутствует. При поглощении теплового нейтрона ядром В испускаются гамма-излучение и α -частицы, а ядро Fe⁵⁶ при таком же воздействии испускает фотоны. Очевидно, что при прочих равных условиях в защитном экране из материала, содержащего бор, уровни захватного (вторичного) γ -излучения и радиационного энерговыделения будут ниже, чем в таком же материале, не содержащем бор. В определенных условиях введением бора в защитный бетон можно уменьшить толщину защиты и снизить температуру ее радиационного разогрева.

Известно, что в цементных бетонах количество воды не превышает 20...25% по массе цемента, или 3...4% по массе бетона. Расчеты показывают, что содержание числа ядер водорода в 1 см³ у полимербетона в 1,5 раза больше, чем цементного бетона. В то же время у полимербетонов содержание полимерного связующего может составлять от 8 до 12% общей массы полимербетона. Это дает основание предполагать высокую эффективность полимербетонов как защитных материалов, они превосходят цементные бетоны по защитным свойствам от излучения в 1,5 раза.

Влияние облучения на свойства бетонов. Как уже отмечалось, основными материалами для защитных экранов от ионизирующих излучений являются бетоны. При облучении в структуре бетона и его составляющих образуются радиационные дефекты, накопление которых приводит к изменению физико-технологических свойств каждой из составляющих, а также слагаемой ими системы — бетона. Естественно, что радиационная

стойкость бетона в значительной степени связана с радиационной стойкостью слагающих его составляющих.

Влияние облучения на свойства вяжущих. Наибольшее распространение в качестве вяжущего защитных бетонов и растворов получил обычный портландцемент, клинкер которого состоит из минералов: трехкальциевого силиката (алит), двухкальциевого силиката (белит), трехкальциевого алюмината (целит) и четырехкальциевого алюмоферрита (браунмиллерит). После облучения усадка этих гидратированных минералов составляет 0,4 - 0,8 %, прочность алита и белита снижается на 50 - 60 %, а прочность целита и браунмиллерита не изменяется.

Влияние облучения на содержание воды в портландцементном камне ($V/C = 0,38$) характеризуется тем, что потери воды в цементном камне после облучения возрастают в 3 раза, что происходит в результате разложения кристаллогидратов и радиолиза воды. Облучение сопровождается выделением газа.

Влияние облучения на свойства заполнителей. Необходимо учитывать воздействие нейтронного излучения на свойства заполнителей. Во-первых, при поглощении нейтронов ядрами атомов возможно вторичное γ -излучение. Это особенно характерно для железа. Поэтому железный лом и руды не всегда могут быть использованы. В этом отношении предпочтителен барит, не дающий вторичного γ -излучения. Во-вторых, нейтроны при столкновении с ядрами атомов могут нарушить их равновесное положение в кристаллической решетке. При этом возможно изменение объема и свойств заполнителей. Например, при облучении кварца нейтронами происходит его аморфизация, сопровождающаяся значительным анизотропным расширением, что может привести к разрушению бетона. Данное явление следует учитывать не только при проектировании составов защитных бетонов, но также обычных конструкционных, жаростойких и теплоизоляционных бетонов, применяемых при строительстве ядерных установок.

ЛИТЕРАТУРА

Строительство атомных электростанций / В.Б. Дубровский, П.А. Лавданский, И.А. Енговатов. – 2006.

Анализ структурных и технологических особенностей паркетных напольных покрытий

Сапрончик М.Н., Демешкевич Е. Н.,
Научный руководитель – Широкий Г.Т.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В группу паркетных покрытий для пола входят штучный (массивный и многослойный), наборный (художественный), мозаичный, щитовой, индустриальный, садовый паркет и паркетная доска. Они являются в настоящее время одними из самых востребованных и престижных видов напольных покрытий.

Штучный (натуральный) паркет (от фр. parquet) представляет собой деревянные планки (клепки), как правило, из массивной древесины, по периметру которых имеется специальный соединительный профиль «паз-гребень». Кроме того, выпускается нешпунтованный паркет, который крепится по другой системе и не имеет соединительного профиля (лампаркет), а также двух- и многослойный с взаимно перпендикулярным расположением волокон в слоях (пронто-паркет).

Качество штучного паркета определяется целым рядом показателей – породой и сортом древесины, территорией ее произрастания, способом распила, геометрическими размерами, технологическими параметрами изготовления и укладки планок и др.

Для изготовления штучного паркета традиционно используется древесина лиственных пород, отличающихся более высокой твердостью и износостойкостью. При этом бытует мнение, что твердость дуба самая высокая. Однако в мире паркета по твердости многие породы превосходят дуб. Например, оливковое дерево (олива), клен, ясень, орех, акация, груша, ятоба, дусси, мербау и др.

Сегодня на рынках нашей страны можно встретить паркетные изделия из местной древесины, произрастающей в Центральной Европе (дуб, бук, клен, граб, ясень, береза, сосна, орех, груша), и экзотической – Азии, Африке, Южной Америке (бамбук, ятоба, мербау, кемпас, дусси, пальма, венге, гевея, тик, махагони, красный дуб). Каждой породе присущи свой цвет, текстура, особенности микроструктуры, физико-механические характеристики и степень устойчивости к внешним воздействиям. Все они в большей или меньшей степени формируют качество напольного покрытия. Вместе с тем, считается, что традиционная древесина более адаптирована к местным условиям эксплуатации.

Способ распила древесины для изготовления паркета формирует как художественное восприятие напольного покрытия, так и его физико-механические и эксплуатационные характеристики. В зависимости от способа распила паркет подразделяют на радиальный, тангенциальный и смешанный.

У радиального паркета плоскость разреза проходит через сердцевину ствола перпендикулярно годовым кольцам, и волокна годовых слоев располагаются на поверхности планки прямолинейно. Такие планки более однородны по текстуре древесины, но в то же время для них более выражена зависимость визуального восприятия от направления падения света. Коэффициент линейного расширения у радиального паркета несколько меньше, чем у тангенциального. Благодаря этому он более устойчив к внешним воздействиям. Вместе с тем радиальный паркет существенно дороже других разновидностей, так как его выход при распиле составляет 10...15% от общего объема.

У тангенциального паркета плоскость разреза проходит на расстоянии от сердцевины по касательной к годичным слоям. В результате на поверхности планки образуется витиеватый узор, обладающий живой, насыщенной текстурой. Тангенциальный паркет более экономичный и дешевле радиального.

Третий тип распила является переходным: в нем есть радиальный, тангенциальный рисунок и переходные структуры, для его изготовления может использоваться центральная часть древесины кроме ядра.

Отметим также, что существуют другие распространенные названия паркета (стандарт, натуральный, селек, рустик), который может поступать в продажу без отбора по распилу, а сортироваться по определенному набору признаков (сучки, заболонь, текстура, цвет и т.д.). Например, по оттенку паркет сортируется на светлый – L, средний – M и темный – D. Фирмы-производители паркета часто вводят свои собственные (внутрифирменные) критерии сортировки, и поэтому даже при одинаковом названии внешний вид и качество паркетных планок у двух различных производителей могут существенно отличаться друг от друга.

Размеры планок штучного паркета тоже могут быть различными, но чаще всего при условии, что длина должна быть кратной ширине, а ширина желательна не больше пяти толщин планки.

Наиболее популярными размерами являются планки длиной 150...500 мм, шириной 35...70 мм и толщиной 8...22 мм. При этом долговечность паркета определяется не столько толщиной паркетной планки, сколько рабочего слоя, расположенного выше паза и который можно шлифовать в процессе реставрации покрытия. Однако следует помнить, что

увеличение общей толщины планок далеко не пропорционально увеличению толщины рабочего слоя.

На долговечность покрытия влияют также эластичность и абсолютные показатели деформации планок, а они определяются, прежде всего, тоже их размерами. Некоторые производители выпускают паркетные планки шириной 70...100 и длиной 500...1300 при толщине 22 мм. Планки большей толщины менее эластичны, поэтому иногда можно видеть с обратной стороны планок глубокие перпендикулярные надрезы. Те же проблемы с эластичностью и показателями деформации имеют и планки большей длины.

Современные технологии позволяют производить планки с высочайшей точностью – допустимые погрешности составляют лишь доли миллиметра, а шероховатость поверхности не превышает 125 мкм. Если планки имеют заметную шероховатость, сколы, следы ожога, гребень с трудом входит в паз или между планками имеется различимый зазор, то из такого паркета нельзя получить долговечное и ровное покрытие.

Минимальный срок службы паркета в покрытии – не менее 50 лет.

Разновидностью штучного паркета является художественный, который представляет собой орнаментные композиции разной степени сложности, выполняется из различных пород дерева и является настоящим произведением искусства. Подразделяется на наборный (мозаичный) и щитовой. Наборный художественный паркет включает в себя множество деталей форм и размеров. Они вырезаются из паркетных планок различных пород древесины и соответствуют художественному замыслу паркетного набора. Такой паркет можно укладывать в комбинации с обычным штучным паркетом.

Художественные паркетные полы иногда включают паркетные розетки и бордюры. Сейчас особую популярность получили так называемые дворцовые паркетные полы, которые изготавливаются по индивидуальным проектам. Они могут содержать элементы, которые придают сугубо индивидуальное восприятие полу: орнаменты, гербы, картины.

Ряд фирм производителей изготавливают готовые модульные элементы – мозаичный паркет. Они могут либо встраиваться в штучный паркет, либо использоваться как самостоятельные модули, из которых затем целиком собирается мозаичный паркет.

Щитовой паркет собирается из трех слоев древесины с поперечным расположением волокон общей толщиной 15...30 мм и стороной квадрата 400...800 мм.

Альтернативой штучному натуральному паркету и более оптимальной по соотношению «цена/качество» для жилых помещений является паркетная доска. Она представляет собой двух- или трехслойную конструкцию, в

которой каждый из слоев выполняет определенные функции. В зависимости от производителя количество слоев в паркетной доске может быть и большим.

Нижний слой обычно изготавливается из шпона или фанеры (сосновой или еловой). Средний слой делается преимущественно из хвойных пород дерева, клееной древесины или древесноволокнистой плиты высокой плотности и располагается перпендикулярно волокнам нижнего слоя. Такая структура обеспечивает прочность и стабильность конструкции, а также устойчивость покрытия к перепадам температуры и влажности. Именно в среднем слое располагаются пазы и гребни, необходимые для стыковки паркетных досок. Использование недорогих пород дерева в нижних слоях делает паркетную доску доступной по цене.

Верхний слой (лицевой, рабочий) толщиной 0,5... 6 мм представляет собой тонкий срез из ценных пород древесины. Именно он определяет внешний вид и долговечность паркетной доски. Чем толще лицевой слой, тем большее количество шлифовок доска может выдержать. Все слои соединяются под большим давлением, что обеспечивает паркетным доскам прочность и износостойкость.

Для защиты от негативного влияния внешней среды паркетная доска покрывается несколькими слоями (до 7 слоев) лака (полиуретанового, акрилового), или производится пропитка древесины водоотталкивающим составом из воска и масел, который также делает более заметной красоту фактуры дерева. Современные технологии распила и обработки верхнего слоя (отпаривание, отбеливание, состаривание) позволяют приобрести еще более насыщенный и выразительный вид текстуры древесины, повысить устойчивость к механическим воздействиям.

Немаловажными характеристиками паркетной доски являются также прочность лакового слоя и количество возможных шлифовок.

Паркетные доски выпускаются с различными рисунками – «палуба», «елочка», «плетенка», одно-, двух- и трехполосные и в виде криволинейных элементов. Длина их, как правило, 2...2,5 м при ширине 13...20 см и толщине 7...26 мм. Самая тонкая паркетная доска толщиной 7 мм имеет верхний рабочий слой из шпона толщиной порядка 0,5 мм и не подлежит циклевке. Доски общей толщиной 10 мм тоже имеют небольшой рабочий слой (до 2,5 мм), выполнен он из среза мягких пород древесины (сосна, береза), но по специальной технологии и при высоком давлении. В результате мягкая древесина становится в два раза тверже.

Доски толщиной 13...15 мм имеют рабочий слой до 4 мм и рекомендуются для укладки в жилых и общественных помещениях, толщиной 20 мм – рабочий слой 6 мм и рекомендуются для общественных помещений.

Доски толщиной 22 мм предназначены для укладки на лаги, а 25 мм обладают повышенным сопротивлением динамическим нагрузкам.

При выборе паркетной доски следует принимать во внимание то, что светлые породы дерева визуально увеличивают пространство и идеально подходят для небольших комнат, в то время как темные породы дерева отлично смотрятся в гостиных и больших помещениях. Срок службы пола из паркетной доски зависит от ее качества и составляет от 5 до 15 лет, хотя некоторые производители указывают и на 30 лет возможной эксплуатации.

Массивная паркетная доска состоит из массивных планок ценных пород древесины, которые соединены между собой по боковым и торцевым граням. Размеры таких досок по длине 2,0...2,5 м, ширине – 12...25 см, толщине – 18...22 мм.

Весьма популярным напольным покрытием на Западе (США, Канада, Япония, Британские острова) и только появляющимся на рынках нашей страны является садовый паркет или декинг (от англ. decking – деревянное покрытие (палуба), настил) и представляет собой плиточные модули размером, как правило, 50x50 или 30x30 см. По структуре состоит из подложки (дерево, пластик) и лицевого слоя из влагостойких деревянных ламелей (планок), размещенных в виде художественного узора. Ламели готовят из тропической стойкой (эвкалипт, тик, красное и железное дерево, кемпас) или местной модифицированной хвойной древесины (сосна, кедр, лиственница). Производится также декинг из композитных материалов на основе древесины, пластиковый и керамический.

Укладываются модули на любое ровное основание, в т. ч. непосредственно на грунт, без жесткого закрепления. Применяется для обустройства ландшафтного дизайна, покрытия бетонных полов в сауне, на балконе, в гараже, подвальном или цокольном помещении, на улице, в т. ч. и зимой. Надежность покрытия из декинга определяется износо- и биологической стойкостью древесины и составляет от 10 до 50 лет, а некоторые фирмы дают пожизненную гарантию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение / И.А. Рыбьев. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2004.
2. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) / В.Г. Микульский [и др.]; под общ. ред. В.Г. Микульского. – 4-е изд. – М.: Ассоциация строительных вузов. 2004.
3. Широкий, Г.Т. Материаловедение в отделочных и реставрационно-восстановительных работах / Г.Т. Широкий, П.И. Юхневский, М.Г. Бортицкая. – Минск: Выш. шк., 2010.

Добавки к бетонам

Сермяжко Д.А., Кузькина Е.Е.

Научный руководитель – Юхневский П.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Современные высококачественные бетоны имеют прочность в возрасте 28 сут. более 100 МПа, высокую морозостойкость, водонепроницаемость, регулируемые параметры деформативности. Применение добавок является наиболее эффективным способом, повышающим качество бетонов, не требующим больших капитальных затрат. Грамотное применение добавок позволяет решить любые проблемы, связанные с целенаправленным регулированием свойств бетонных смесей и бетонов. Высокая прочность, низкая проницаемость, повышенная долговечность и морозостойкость бетона могут быть достигнуты в результате применения следующих добавок, которые можно разделить на несколько групп.

Важное место среди множества химических модификаторов занимают пластификаторы и суперпластификаторы бетонных смесей. Эти добавки в разной степени обладают водоредуцирующим (водопонижающим) эффектом, позволяют: экономить цемент или значительно повысить прочность при сохранении равной подвижности с бездобавочным бетоном, при сохранении водоцементного отношения получить высокоподвижные или литые бетонные смеси; резко снизить время вибрации при укладке бетонной смеси, а в ряде технологий исключить высокочастотную вибрацию или заменить ее непродолжительным низкочастотным воздействием для улучшения распределения смеси в форме; снизить энергозатраты и трудоемкость; повысить качество конструкций. При этом коренным образом улучшаются условия труда при укладке и уплотнении бетонной смеси.

Суперпластификаторы открывают перспективу производства конструкций из высокопрочного бетона без наращивания объемов выпуска энергоемких цементов марок 550 и 600, значительно расширяют области применения шлако- и пуццолановых портландцементов.

Влияние ускорителей схватывания и твердения в составе цементных композиций сводится, в основном, к их воздействию на процессы гидратации цементных минералов и цемента в целом. Следует отличать "ускорители схватывания", т. е. добавки, сокращающие период начала и конца схватывания цемента, от "ускорителей твердения".

Ускорители схватывания могут не только не изменять скорость гидратации после схватывания, но в некоторых случаях даже замедлять гидратационные процессы и снижать прочность цементного камня. Так, напри-

мер, действуют карбонаты калия и натрия (поташ, сода), гидросиликат натрия, алюминат натрия.

В отличие от ускорителей схватывания, ускорители твердения или не влияют на начало и конец схватывания, или, являясь ускорителями схватывания, повышают прочность камня как в начальные сроки (1-3 суток), так и в более длительные. Цели применения ускорителей схватывания и ускорителей твердения разные: если первые вводятся в смесь для ускорения процесса потери пластичности растворной (бетонной) смесью, то ускорители твердения сокращают время достижения необходимой прочности камня, существенно не изменяя сроков схватывания смеси.

Добавки-замедлители схватывания и твердения используют при необходимости отодвинуть начало затвердевания бетона (например, по причине длительного временного интервала перед укладкой следующего слоя бетона), а также для компенсации ускоряющего эффекта других функциональных добавок. Положительным свойством этих добавок является также целенаправленное регулирование высвобождения тепла при сооружении массивных сооружений, что минимизирует возникновение трещин в бетоне, обусловленных температурным перепадом между бетоном и внешней средой.

Возможность производства бетонных работ в холодный период года без подогрева материалов и последующего обогрева уложенного бетона основана на том, что при введении в состав бетонной смеси противоморозных добавок при отрицательных температурах сохраняется жидкая фаза, минералы цемента могут гидратироваться, а бетон твердеть.

При растворении солей, которыми являются противоморозные добавки, ионы растворенного вещества образуют сольваты и такую воду труднее превратить в лед. Вследствие образования сольватов, вода в растворах противоморозных добавок замерзает постепенно, по мере охлаждения. При охлаждении любого раствора сначала из него выкристаллизовывается пресный лед. Он характеризуется дефектной структурой, малой прочностью, чешуйчатым строением и не вызывает заметных нарушений структуры бетона. По достижении температуры, называемой эвтектической, оставшаяся вода полностью перейдет в твердую фазу, образуя смесь льда и кристаллов соли. Например, для NaNO_2 температура эвтектики составляет минус $19,6^\circ\text{C}$, а концентрация раствора 28 %.

В данной статье мы рассмотрим использование пластифицирующих и комплексных добавок. Пластификаторы бетонных смесей начали широко применяться в 40-50-х годах, и сегодня они занимают ведущее место среди химических добавок, применяемых в технологии бетона. В качестве пластифицирующих добавок широко используют поверхностно-активные ве-

щества (ПАВ), нередко получаемые из вторичных продуктов и отходов химической промышленности.

Не все пластифицирующие-водоредуцирующие добавки в одинаковой мере снижают количество воды затворения бетона. Их эффективность зависит от их химического состава и механизма пластификации смеси.

По химическому составу пластифицирующие-водоредуцирующие добавки делятся на лигносульфаты, меламинформальдегидные и нафталинформальдегидные смолы, полиакрилаты и поликарбоксилаты. Первый тип добавок относится к пластификаторам, остальные - к суперпластификаторам. Различие эффективности отдельных типов добавок обуславливается различием механизмов увеличения различными добавками пластичности и подвижности бетона.

Меламин- или нафталинформальдегидные смолы, акрилаты и поликарбоксилаты адсорбируются на поверхности цементных зерен и сообщают им отрицательный заряд. В результате этого цементные зерна взаимно отталкиваются и приводят в движение цементный раствор, а также минеральные составляющие. Чем длиннее цепи, создающие молекулы суперпластификатора, тем интенсивнее это отталкивание. Эффективность пластификации становится более высокой, а ее действие продлевается. Молекулы поликарбоксилатов - самые длинные, поэтому эффект пластификации в данном случае примерно вдвое сильнее, чем в результате применения меламина- или нафталинформальдегидных смол. Длительность пластифицирующего эффекта поликарбоксилатов как минимум в 3-4 раза больше, чем нафталин- или меламиноформальдегидных смол.

Сегодня определена роль минералогического и вещественного состава цемента при оценке эффективности применения суперпластификаторов олигомерно-полимерного состава. Так, добавка С-3 для получения равнозначного эффекта пластификации бетонных смесей на высокоалюминатных портландцементах должна вводиться в более высоких дозировках, чем в смеси на средне- и низкоалюминатных цементах. Вещественный состав цемента имеет не меньшее значение.

Необходимо учитывать побочные эффекты влияния суперпластификаторов: они обычно замедляют сроки схватывания бетонных и растворных смесей, а достигнутая с их помощью пластичность достаточно быстро (30-60 мин.) после повторного перемешивания смеси снижается даже быстрее, чем в смесях, не содержащих суперпластификаторов. Замедление схватывания в большей степени наблюдается в смесях, содержащих суперпластификаторы нафталинформальдегидного типа по сравнению с суперпластификаторами на меламиновой или поликарбоксилатной основе.

Перечисленные добавки не исчерпывают всего многообразия имеющихся сегодня в арсенале технолога модификаторов бетона. Умелое поль-

зование ими обеспечивает значительное повышение качества бетона и экономию ресурсов при его изготовлении.

Широкое применение комплексных добавок для регулирования свойств цементного геля и бетона обусловлено тем, что они, как правило, обладают полифункциональностью действия. Кроме того, применение добавок в комплексе позволяет резко уменьшить или полностью устранить нежелательное побочное действие каждой составляющей комплексной добавки.

Комплексные добавки могут представлять собой сочетания нескольких солей-электролитов, сочетания органических добавок (ПАВ) или органических добавок и электролитов либо сочетания органических добавок, электролитов и минеральных (кристаллических затравок). Рассмотрим сочетания некоторых добавок.

Хорошо пластифицируя бетонную смесь, комплексные добавки – сочетания нескольких органических продуктов, одновременно изменяют в нужном направлении структуру бетона и ее свойства. В результате в 2-5 раз увеличивается морозостойкость бетона, на 1-2 марки - его водонепроницаемость, повышается его коррозионная стойкость. Заданная подвижность бетонной смеси сохраняется в течение 2-3 ч, что особенно важно при транспортировании смеси на большие расстояния и при бетонировании в условиях сухого жаркого климата. Вместе с тем комплексные добавки этой группы несколько замедляют гидратацию цемента, что необходимо учитывать при изготовлении конструкций. Бетон с такими добавками следует выдерживать не менее 2 ч до тепловой обработки, скорость подъема температуры не должна превышать 15-20°С/ч, а общая продолжительность тепловлажностной обработки должна составлять не менее 13 ч для бетонов на портландцементе и не менее 14 ч для бетонов на шлаковых и пуццолановых цементах.

Комплексные добавки, включающие ПАВ и электролиты, расширяют возможность модификации бетона и бетонной смеси. Введением электролитов регулируется темп твердения, и улучшаются структурно-механические свойства бетона, а ПАВ позволяют регулировать подвижность бетонной смеси, ее воздухо содержание, придают бетонам некоторые специальные свойства. Как показали исследования, введение высокоэффективных пластификаторов в комплексе с ускорителями твердения на малоподвижных и жестких смесях позволяет получать 70-80 % марочной прочности через 18-24 часа твердения в естественных условиях. Вместе с тем, необходимо учитывать, что некоторые компоненты могут обладать несовместимостью. Чтобы уменьшить отрицательное влияние несовместимости отдельных компонентов комплексной добавки, применяют их раздельное введение в бетонную смесь, что усложняет технологию и приводит к дополнительным затратам.

Комплексные добавки - сочетания электролитов с разным механизмом воздействия на бетонную смесь и бетон позволяет устранить недостатки некоторых однокомпонентных добавок и добиться полифункционального эффекта. Например, сочетание ускорителей твердения и ингибиторов уменьшает опасность коррозии арматуры в железобетонных конструкциях, а сочетание поташа и алюмината натрия регулирует сроки схватывания бетонной смеси.

Из комплексных органоминеральных добавок в России широкое применение находят модификаторы бетона серии МБ, разработанные в НИИЖБ совместно с предприятием Мастер Бетон и Центром модифицированных бетонов. Модификаторы бетона полифункционального действия серии МБ являются порошкообразными композиционными материалами на органоминеральной основе, минеральная часть которых состоит из микрокремнезема или его смеси с кислой золой-уноса, а органическая часть представлена суперпластификатором или его смесью с регулятором твердения и другими добавками.

Как показывает производственный опыт, гипер- и суперпластификаторы являются очень дорогими и применение их экономически оправдано только в некоторых областях строительства. В то же время комплексные добавки на основе пластификаторов II и III-й группы в сочетании с электролитами и активными минеральными добавками позволяют не только существенно интенсифицировать твердение бетона, но и получать высококачественные высокопрочные бетоны.

Выбор добавок с теми или иными качественными характеристиками обуславливается конкретным строительным объектом, его назначением, географическим расположением, сроками выполнения работ и прочими факторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: справочное пособие / В.С. Рамачандран. – М.: Стройиздат, 1984. – 571 с.
2. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.

Влияние качества уплотнения и условий твердения на физико-технические характеристики бетона

Смычник, А.Н., Романюк Л.Б.

Научный руководитель – Бондарович А.И.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В данных исследованиях использовались материалы для бетона со следующими характеристиками:

- в качестве вяжущего использовали портландцемент марки ПЦ 500-Д0 ПО «Кричевцементошифер»;
- в качестве мелкого заполнителя использовали природный песок Заславльского и Капружинского месторождений ($M_k 2.7$);
- в качестве крупного заполнителя использовали щебень гранитный (марка по дробимости 1400) Микашевичского месторождения обычного дробления и кубовидной формы.

В исследованиях использовали цементно-песчаный бетон и бетон со щебнем гранитным при В/Ц~0,33-36 0,36-040 соответственно, при показателе жесткости $J \sim 15 \dots 25$ с. Образцы бетона уплотняли на виброплощадке со стандартными параметрами в течение времени и под пригрузом, обеспечивающим получение расчетного качества его уплотнения.

Качество уплотнения, как технологический фактор, влияющий на проницаемость бетона, исследовали, варьируя среднюю плотность бетона за счет изменения эффективности уплотнения при формовании образцов.

Фактор времени твердения бетона и его роль в изменении проницаемости оценивали, отслеживая кинетику изменения водопоглощения, используя стандартную методику и водонасыщения под вакуумом бетона в возрасте 3,7,14 и 28 сут твердения.

Влияние условий твердения бетона на его проницаемость оценивали, моделируя условия нормально-влажностного твердения, воздушно-сухие, при хранении образцов открытыми в помещении лаборатории, естественные (при которых образцы помещали в полиэтиленовый мешок и хранили в помещении лаборатории), пропаривание и т.д.

Фактор качества заполнителя и его влияние на проницаемость и другие свойства бетона оценивали по сравнительными характеристикам пропаренных образцов, изготовленных с использованием песка, природного (без промывки) Крапужинского карьера. Использованный крапужинский песок по значению модуля крупности отвечает нижнему допускаемому значению, т.е. $M_n > 2,2$, по ГОСТ 1071-97.

Учитывая, что в процессе исследований идет накопление эмпирического материала для выработки общих рекомендаций важно отследить возможные изменения их свойств не только во времени, но и в сравнении влияния одних и тех же факторов на мелкозернистый бетон и бетон с крупным заполнителем.

На начальном этапе экспериментов исследовали кинетику водопоглощения бетона в зависимости от изменения технологических факторов, затем для основных значений последних определяли водонепроницаемость и коэффициент фильтрации бетона. Параллельно отслеживали изменения кинетики роста прочности бетона в состоянии естественной влажности для различных условий твердения и в водонасыщенном состоянии разной степени.

Водопоглощение и прочность на сжатие определяли на образцах размерами 70x70x70 мм. Водонепроницаемость определяли на образцах-цилиндрах диаметром и высотой в 150мм. Коэффициент фильтрации определяли на образцах в виде усеченного конуса с размером меньшего диаметра 70мм и высотой 50мм.

Исследование изменений в водопоглощении бетона под влиянием различных технологических факторов осуществляли с использованием основных положений ГОСТ 12730.3 и нестандартной методики водонасыщения под вакуумом. Образцы бетона, твердевшие в различных условиях 3,7,4,28 и 90 суток, помещали в воду и определяли количество поглощенной за 24 часа воды. Затем ванну с водой и образцами помещали в вакуумный шкаф и выдерживали еще 24 часа. После чего определял как дополнительное количество поглощенной воды, так и общее водопоглощение бетона. Полученные при вакуумировании значения водопоглощения не ниже соответствующих истинному водопоглощению бетона.

Водонасыщение под вакуумом, в отличие от стандартного метода, создает условия для заполнения капиллярных пор бетона, которые в обычных условиях водонасыщения не заполняются водой из-за противодействия заземления газообразной фазы, что и отражается в росте количества «поглощаемой» жидкости и водопоглощения бетона.

Тенденция роста поглощаемой бетоном воды напрямую связана с условиями его твердения.

Условия твердения, ограничивающие развитие процесса гидратации цемента и приводящие к испарению воды затворения, а в общем итоге к росту капиллярной пористости (например, воздушно-сухие), вызывают рост объема поглощаемой воды в разные сроки твердения и водопоглощение бетона как в проектном возрасте, так и в более позднем возрасте. Например, для 3, 7, 14 и 28 сут. воздушно-сухого твердения образцов мелкозернистого бетона количество «поглощаемой» воды составляет: 47, 80, 96 л

на 1 м^3 и для бетона со щебнем: 35, 57, 80 л, что больше, чем при других условиях твердения. Это есть количественное отражение роста капиллярной пористости бетона, вызванного замедлением процесса гидратации цемента и снижением степени гидратации. В это же время процесс водонасыщения образцов одинакового состава и качества уплотнения, но твердеющих в других, более благоприятных условиях, характеризуются достаточно стабильным ростом количества поглощаемой воды во все сроки твердения бетона, что отражает нормальное развитие гидратационного процесса и связанное с ним формирование структуры цементного камня и бетона более высокой плотности.

В зависимости от условий твердения образцов степень гидратации цемента составила для образцов мелкозернистого бетона и бетона со щебнем нормально-влажностного твердения и хранившихся в полиэтиленовой упаковке 65-70%, при воздушно-сухих 55...61%, после пропаривания – 55%. Следует отметить, что бетон с крупным заполнителем характеризуется при равных условиях несколько меньшей степенью гидратации цемента, чем мелкозернистый. Этот факт согласуется с известными данными о взаимосвязи степени гидратации цемента, при росте плотности бетона.

Выявленные зависимости количественной оценки процесса водонасыщения бетона мелкозернистого и с крупным заполнителем под влиянием условий твердения позволяют оценить общую тенденцию их изменений.

Так, практикуемые достаточно широко (что следует констатировать с сожалением) воздушно-сухие условия твердения бетона (которые ошибочно считают «естественными») по существу недопустимы для цементного бетона, так как приводят к росту водопоглощения бетона до значений превышающих нормируемые. А значит можно ожидать снижения эксплуатационных свойств бетона.

Нормальное развитие гидратационного процесса, обеспечиваемое при твердении бетона в условиях, предотвращающих испарение влаги или пропаривании по «мягким» режимам, закономерно приводит к снижению количества поглощаемой воды и величины водопоглощения бетона. Например, некоторое превышение качественных характеристик бетона над образцами нормально-влажностного твердения наблюдалось при твердении в естественных условиях под «пленкой». Ограниченный объем полиэтиленовой упаковки обеспечил влажность около 95% при аккумуляции теплоты экзотермии при гидратации.

Хотелось бы подчеркнуть, что использование этого приема в производственных условиях («парникового эффекта») может дать существенный экономический эффект в сочетании с благоприятным воздействием на качественные характеристики бетона.

Из приведенных данных о кинетике и количестве поглощаемой бетоном воды следует, что бетон, приготовленный с использованием крупного заполнителя – гранитного щебня, обладает более высоким качеством уплотнения, меньшей по объему пористостью. Как следствие, образцы бетона со щебнем характеризуются меньшим количеством поглощаемой жидкости и величиной водопоглощения, что является предпосылкой для повышения эксплуатационных характеристик.

Снижение качества уплотнения бетона как мелкозернистого, так и содержащего крупный заполнитель при соответствующем росте капиллярной пористости сопровождается повышением проницаемости и ростом количества поглощаемой им воды.

Следует отметить, что снижение средней плотности бетона на 50 кг/м^3 сопровождается увеличением пор примерно на $2...2,5\%$ и, в соответствии с этим, примерно на $20...22\%$ увеличивается количество «поглощаемой» бетоном воды в пересчёте на 1 м .

Из данных, полученных при испытаниях на водонепроницаемость, следует, что качество уплотнения бетона, возрастающее при наличии крупного заполнителя, существенно сказывается на непроницаемости для одинаковых условий твердения образцов. Во всех случаях водонепроницаемость бетона со щебнем выше, чем у мелкозернистого при меньшем расходе бетона.

Изменение прочности бетона под влиянием увлажнения при водонасыщении под вакуумом отражает ее взаимосвязь с пористостью. Чем больше количество поглощаемой воды, тем значительно снижается прочность влажного бетона. Это связано с проявлением в бетоне расклинивающего эффекта жидкой фазы, возникающего под нормально приложенной нагрузкой и прямо зависящего от количества поглощенной им жидкости.

Методика экспериментов на установление взаимосвязи условий твердения, водопоглощения и прочности бетона заключалась в определении изменений прочности мелкозернистого бетона в зависимости от возраста (3, 7, 14 или 28 сут.) и бетона со щебнем в возрасте до 28 сут., степени насыщения водой (естественная влажность для данных условий твердения; водонасыщение за 24 часа и полное водонасыщение под вакуумом) и условий твердения: нормально-влажных; воздушно-сухих; естественных (под пленкой); пропаривание и нормально-влажные после пропаривания. Результаты экспериментов отражают известную закономерность снижения прочности цементного бетона с ростом его пористости при твердении в воздушно-сухих условиях. Из итогов испытаний видна тенденция некоторого превышения роста прочности бетона при воздушно-сухих ус-

ловиях его твердения в первые 3 суток и закономерное ее снижение в дальнейшем, в сравнении с нормально-влажностными.

Анализируя результаты, можно отметить, что наилучшими условиями твердения бетона являются нормально-влажностные, так как при этих условиях твердения все физико-технические показатели оказались выше сравниваемых и удовлетворяют нормируемым значениям.

К тому же, использование крупного заполнителя, в частности – гранитного щебня, позволяет получить более плотную структуру, малопроницаемую для жидкости, как следствие – значение водонепроницаемости выше, водопоглощения – ниже, что напрямую влияет на долговечность и надёжность бетона.

ЛИТЕРАТУРА:

Отчёт о НИР «Влияние качества уплотнения и условий твердения на физико-технические характеристики бетона».

Чалов Д. Л, Слепухо В.Н

Научный руководитель – Юхневский П.И

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Фибробетон – композиционный материал, в котором монолитно соединены и совместно работают в конструкции фибры различных волокон и бетон. Фибра – это волокна из металлов, стекла, полимеров, которые добавляются в бетон для улучшения его механических характеристик.

Утверждение о том, что фибробетон – новейший композиционный материал верно лишь отчасти. Еще в Древнем Египте при строительстве жилья в глину подмешивали солому, шерсть, что придавало стенам дополнительную прочность и трещиностойкость. Такой материал называли саманом и его можно назвать предком фибробетона. Во всем мире развитие дисперсного армирования как альтернатива стержневому происходило постепенно. И изначально оно рассматривалось в качестве помощи к традиционному.

Большой вклад в развитие дисперсноармированных товарных бетонов и растворов с применением волокон внес русский инженер В.П.Некрасов. На заре 20 века он провел исследования по применению дисперсного армирования, в качестве фибровой арматуры он использовал отрезки проволоки малых диаметров. Результаты исследований он подробно изложил в своих работах. Тогда же был получен и первый в мире патент на конструкцию из фибробетона.

Дальнейшее развитие тематики дисперсного армирования было продолжено уже в Советском Союзе в середине прошлого века, было много перспективных и передовых разработок, в теоретической части и в области лабораторных исследований советские ученые добились действительно выдающихся результатов. Но на внедрение новых, передовых материалов уходили десятилетия.

Опыт таких развитых стран, как США, Великобритания, Германия, Франция и Австралия убедительно доказал технико-экономическую эффективность применения сталефибробетона в строительных конструкциях. Не зря производством стальной фибры занимается более 20-ти зарубежных фирм и корпораций. Только в Японии 7 крупных фирм выпускает стальную фибру различных форм, профилей, размеров и прочности, в том числе из коррозионностойкой стали.

Наибольшее распространение, в настоящее время, получила стальная фибра. Объемы ее производства и применения постоянно растут. В миро-

вой практике используется свыше 300 тыс. т. стальной фибры в год. В Белоруссии, к сожалению, объем применения этого перспективного материала значительно меньше. Небольшие объемы применения сталефибробетона (СФБ) в значительной степени объясняются недостаточным его производством и пониманием строителями возможностей и преимуществ материала, дефицитом нормативной документации, недостатком рекламы и отсутствием целенаправленной работы по его применению, особенно со стороны проектных институтов.

Немаловажным фактором, влияющим на невостребованность фибробетона в отечественном строительстве, является его относительно более высокая исходная цена по сравнению с обычным бетоном или железобетоном. Этот фактор действует в первую очередь на уровне отношений между заводом-производителем фибробетона или конструкций из него и подрядной организацией-строителем, которая не хочет брать более дорогой материал, не предусмотренный проектировщиками. Также немаловажным является вопрос качества стальной фибры.

Металлическая фибра улучшает механические характеристики бетона после набора им прочности, т.е. выполняет силовые функции. Армирование бетона такой фиброй способствует увеличению его прочностных характеристик (предел прочности при растяжении увеличивается в 2,5 раза, при изгибе в 3,5 раза и при сжатии в 1,5 раза), ударная прочность повышается в 10 раз, вязкость при достижении предела прочности – в 20 раз, сопротивление истираемости – в 2 раза, трещиностойкость – до 6 раз. Значительно повышается деформативность, морозостойкость, термостойкость, водонепроницаемость и коррозионностойкость бетонных конструкций. Повышение физико-механических свойств СФБ позволяет снизить массу бетонных конструкций.

Как строительный материал, сталефибробетон дает так называемый отложенный экономический эффект. Это происходит за счет более высокой долговечности и износостойкости, эксплуатационной пригодности, увеличения межремонтного ресурса и повышения безопасности сооружений при сейсмических воздействиях и пожарах.

Спектр применения сталефибробетона широк. И каждая из этих областей предъявляет к сталефибробетонным конструкциям свои специфические требования как по механическим, так и по реологическим свойствам.

Однако у проектировщиков и строителей бытует мнение, что на прочностные свойства сталефибробетона влияет только тот фактор – на сколько прочно сцепляется фибра с бетоном. Стальная же фибра является по своей сути той же арматурой и, в связи с этим, в не меньшей мере стоит вопрос – из какого материала должна изготавливаться фибра.

ГОСТ на стальную арматуру делит ее на 6 классов, отличающихся друг от друга в первую очередь по механическим свойствам. А производство стальной фибры ограничивается несколькими марками углеродистой стали, которые изготовители рекомендуют на все случаи жизни.

Отечественные производители стальной фибры мало задумываются о качестве готовой продукции. Главным остается лишь вопрос цены. Поэтому многие производители, для снижения себестоимости фибры, используют вместо высококачественных листа и проволоки отбракованную продукцию или технологические отходы, не считаясь с качеством готовой продукции. Это значительно снижает цену продукции, а также и физико-механические свойства армирующего материала.

В качестве сырья для фибры в Беларуси используется некондиционный корд от шинопроизводства, и как следствие не очень высокое качество изделий. Это связано с тем, что используемая при производстве проволока не всегда имеет одинаковую толщину. К тому же данная фибра должна реализовываться по цене металлолома с учетом производственных расходов. Однако фибра стоит много дороже ее себестоимости.

Но для проектировщиков и строителей, также как и для производителей стальной фибры, главным остается один вопрос – вопрос цены. И ориентируются, главным образом, на цену фибры, стремясь к ее минимизации, забывая старую поговорку что «скупой платит дважды».

Сталефибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из мелкозернистого или тяжелого бетона (бетон-матрица), в котором в качестве арматуры используются стальные фибры, равномерно распределенные по объёму бетона. Совместность работы бетона и стальных фибр обеспечивается за счёт сцепления по их поверхности и анкеровки фибры за счёт периодического профиля и её кривизны в продольном и поперечном направлении

Сталефибробетонные конструкции должны быть обеспечены требуемой надежностью от возникновения всех видов предельных состояний расчетом, выбором материалов, назначением размеров и конструированием.

Выбор конструктивных решений сталефибробетонных конструкций следует производить, исходя из технико-экономической целесообразности применения таких конструкций в конкретных условиях с учетом максимального снижения их материало-, трудо-, энергоёмкости и, стоимости, с учетом повышения долговечности и увеличения межремонтного ресурса. Сталефибробетон рекомендуется применять в конструкциях зданий и сооружений, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, повышение ударной стойкости, сопротивления истиранию, продавливанию и долговечности.

Сталефибробетон рекомендуется для изготовления конструкций, в которых наиболее эффективно могут быть использованы следующие его технические преимущества по сравнению с традиционным железобетоном:

- повышенные трещиностойкость, ударная стойкость, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть;

Для сталефибробетонных конструкций следует применять конструкционный бетон со средней плотностью не менее 2200 кг/м^3 .

Для сталефибробетонных конструкций в зависимости от их вида и условий работы рекомендуется применять конструкционные бетоны следующих видов, классов и марок:

а) тяжелый бетон классов по прочности на сжатие: $C^{16}/_{20}$; $C^{20}/_{25}$; $C^{25}/_{30}$; $C^{30}/_{37}$; $C^{35}/_{45}$; $C^{40}/_{50}$; $C^{45}/_{55}$;

б) мелкозернистый бетон группы А (нормального твердения или подвергнутый тепловой обработке, на песке с модулем крупности свыше $M_k=2,0$) классов по прочности на сжатие: $C^{16}/_{20}$; $C^{20}/_{25}$; $C^{25}/_{30}$;

в) марок по морозостойкости – F50; F75, F100, F150, F200;

г) марок по водонепроницаемости – W4, W6, W8, W10, W12.

Применению сталефибробетона в Беларуси мешают следующие проблемы:

1. Отсутствие исследований в этом направлении, подтвержденных строительной практикой.

2. Высокие требования к составу бетонной смеси (соблюдение фракций заполнителя и т.п.).

3. Плохое качество фибры. Есть, конечно, хорошего качества, но эта фибра на порядок дороже, и в основном вся идет на экспорт.

4. Дисциплина и квалификация рабочих строительных специальностей.

Пути решения проблем с плохим качеством фибр и как следствие фибробетона следующие:

- Пересмотреть нормативную базу и добиться заинтересованности заказчика в рассмотрении сталефибробетона как материала не только для полов.

- Отслеживать качество продаж изделий.

- Заняться разработкой своих инновационных программ по фибробетону, т.к. в РФ в год производят 8-10 тыс. т. стальной фибры, а в Европе – 150 тыс. т, и мы можем этим воспользоваться. Так как по тенденции каждый год в Европе поставки растут, и если заинтересовать отечественных застройщиков, то в РБ потребность в фибробетоне будет возрастать в геометрической пропорции.

Высокопрочный бетон

Якимович Г.Д.

Научный руководитель – Бортницкая М.Г.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

За последние 20 лет в Беларуси и во многих странах мира появилось новое поколение бетонов, высокопрочные бетоны. Прочность этих бетонов равна или выше активности исходного цемента. Эти бетоны отличаются высокой прочностью на растяжение при изгибе и при сжатии, морозостойкостью, трещиностойкостью, ранним набором прочности.

К высокопрочным бетонам можно отнести и высококачественные бетоны имеющие прочность на сжатие в возрасте 2 сут 30-50 МПа, 28 сут - 60-150 МПа, морозостойкость - F600 и более, водопоглощение - менее 1-2%. В настоящее время к высокопрочным относят обычно бетоны с прочностью при сжатии в 28-суточном возрасте 70-150 МПа..

Получение высокопрочных бетонов возможно при использовании стандартных материалов, выпускаемых отечественной промышленностью. Заполнители для высокопрочного бетона должны быть чистыми и обладать хорошим зерновым, Предел прочности крупного заполнителя должен быть на 20 % выше заданной прочности бетона.

Чем выше прочность бетона, тем ниже его пластические свойства – как при кратковременном, так и при длительном нагружении, т.е. такой бетон более хрупок. Испытания опытных призм показывают, что разрушается он практически внезапно, без предварительного образования продольных трещин, свойственных бетонам низкой и средней прочности.

Также получение высокопрочных бетонов возможно при использовании **вяжущих низкой водопотребности (ВНВ)**. Такие бетоны характеризуются высокой морозостойкостью и трещиностойкостью; водопоглощение их ниже, чем у обычных бетонов в 2,0-2,5 раза, а деформация усадки и ползучести - на 10-20%. Водопотребность бетонных смесей на основе ВНВ на 35-50% ниже.

Кинетика твердения бетонов на основе ВНВ существенно отличается от характера нарастания прочности бетона из изопластических смесей с суперпластификатором С-3, изготовленных по традиционной технологии. В возрасте 16 ч нормального твердения бетоны на основе ВНВ(82,4 МПа) имеют кубиковую прочность 25 МПа, в возрасте 1 суток - 60 МПа. Абсолютные значения прочности цементного камня на ВНВ в возрасте 28 и 180 суток составили соответственно 184 и 205 МПа, а контрольных образцов – 81,7 и 98,5 МПа.

Оптимальным условием твердения бетонов на основе ВНВ-100 является естественный режим хранения. Для бетонов на основе ВНВ-50, кроме естественного хранения, обеспечивающего отпускную прочность порядка 15-20 МПа в возрасте 1 суток, может быть применена тепловлажностная обработка при температуре изотермической выдержки +60°C. Для бетонов на основе ВНВ-30 при заводском изготовлении обязательна термообработка по существующим режимам.

В цементном камне на основе вяжущих низкой водопотребности эффективный радиус пор (80 процентов) сдвигается в сторону более мелких пор размером 0,01 мкм, в которых вода замерзает при температуре -20...-40°C, что позволяет бетону твердеть на морозе.

С уменьшением В/Ц повышается вязкость цементного теста, ухудшаются условия приготовления и уплотнения бетонной смеси, увеличивается воздухововлечение. В результате снижается эффективность использования цемента. Поэтому применение более низких В/Ц, требует использования специальных приемов, позволяющих плотно укладывать бетонные смеси.

Микрокремнезём (МК) создаётся путём использования ультрадисперсных отходов производства ферросплавов и кристаллического кремния. Эти отходы представляют собой конденсированные аэрозоли. Высокая эффективность выделяет их в ряду других активных минеральных добавок для бетонов.

По мнению многих авторов, улучшение удобоукладываемости, достигнутое в бетонах с низким В/Ц, объясняется тем фактом, что при введении определенного количества суперпластификатора легкие частицы МК могут заменять некоторое количество воды между флокулированными цементными зёрнами. Некоторые исследователи заостряли внимание на выдающихся пуццолановых свойствах МК. По их мнению, МК может считаться даже суперпуццоланом, гораздо более эффективным и быстродействующим, чем другие виды пуццоланов.

Также опыты показали, что введение в состав цемента тонкодисперсного микрокремнезема существенно замедляет поглощение сульфат-ионов цементным раствором. Цементно-песчаные образцы через 5 мес. испытания в растворе Na₂SO₄ с концентрацией по иону SO₄²⁻ 10000 мг/л были полностью разрушены, в то время как образцы с добавкой 10 % микрокремнезема к этому сроку не имели признаков повреждения.

Кинетика твердения бетонов с МК в нормальных условиях характеризуется интенсивным нарастанием прочности в интервале от 7 до 20 сут. При оптимальной дозировке суперпластификатора (СП) прочность бетона на сжатие в 28-суточном возрасте достигает 95...100 МПа при расходе вяжущего 400 кг/м³ и содержания в нем 10...15% микрокремнезема (подвижность бетонной смеси 2...4 см). При увеличении расхода вяжущего с

400 кг/м³ до 600 кг/м³ за счет снижения В/В до 0,19 в бетонах с оптимальным расходом МК (15%) и дозировкой СП удалось повысить их прочность до 135 МПа. Введение в бетоны на основе портландцемента, микрокремнезема (МК) и суперпластификатора (СП) тонкомолотых минеральных добавок (до 15%) обеспечивало прочность на сжатие в 28-суточном возрасте 145 МПа при использовании тонкомолотой золы и 137 МПа при использовании тонкомолотого шлака. При увеличении содержания тонкомолотых добавок свыше 15% отмечалось снижение прочностных характеристик бетона.

Характер деформаций высокопрочных бетонов с использованием микрокремнезема практически не отличается от деформаций обычных бетонов. В обоих составах бетон раннего возраста несколько увеличивает темпы роста продольных и особенно поперечных деформаций к началу периода предразрушения, что соответствует поведению рядовых бетонов.

Однако введение в бетонную смесь супер- и гиперпластификаторов и реакционноактивных пуццолановых добавок — условие необходимое, но недостаточное для создания высокопрочного (ВПБ) и особо высокопрочного бетона (ОВПБ) с прочностью 150–200 МПа. При введении МК в количестве 15–20% от массы портландцемента можно из самоуплотняющихся бетонных смесей достигнуть прочности бетона 80–100 МПа. Такое значение прочности является предельным для традиционных составов бетона.

Введение суперпластификатора С-3, в количестве 0,4–0,7% сухого вещества от массы цемента повышает как раннюю суточную прочность высокопрочного бетона, так и нормативную в возрасте 28 сут. Для умеренно подвижных смесей это превышение на первые сутки составляет около 50%. А при добавлении каменной муки — в 2–2,5 раза.

При расчете состава бетона по методу абсолютных объемов достижение рациональной реологии обеспечивается увеличением прослойки цементного теста между частицами песка и прослойки цементно-песчаного раствора между зернами щебня

Структура высокопрочных и особо высокопрочных бетонов должна принципиально отличаться от структуры бетонов общего назначения прочностью 30–60 МПа, имеющих компактную упаковку зерен песка в цементном тесте и зерен щебня в цементно-песчаном растворе. Для достижения высокой прочности бетона на вяжущем низкой водопотребности (ВНВ) необходимо также использовать добавку каменной муки для создания рациональной топологической структуры бетона, а не только обеспечить высокий разжижающий эффект СП в ВНВ. Для бетонов высокой прочности более эффективны ВНВ активностью 60–70 МПа, содержание которых в бетоне должно быть 900–1000 кг на 1 м³ бетона.

При твердении в условиях ТВО на прочность бетона существенно влияет температурный режим: с повышением температуры изотермического прогрева прочность возрастает и сразу после тепловлажностной обработки может достигать 90% марочной, что объясняется повышением реакционной способности двуокиси кремния с увеличением температуры щелочной среды.

Для получения пропаренных изделий с более высокой прочностью (200–250 МПа) долю МК можно увеличить до 30 % и использовать кварцевую муку. В этом случае могут быть использованы жесткие режимы тепловой обработки (до 90–95 С) с большой продолжительностью изотермии (до 24–36 ч).

Стабильность и деформативность затвердевшего бетона зависит от его водонасыщения, разности температур и численности циклов замораживания и оттаивания. С повышением водонасыщения сверх максимальной величины замерзающая в порах вода кристаллизуется, что может приводить к росту внутренних напряжений и, как следствие, к нарушению структуры и снижению морозостойкости бетона.

Высокопрочные бетоны, изготовленные по оптимальной технологии, имеют более равномерную структуру, минимальную пористость и вследствие этого пониженную водопроницаемость, а также повышенную морозостойкость.

Кардинальное повышение прочности бетонов с суперпластификаторами достигается рационально подобранным составом и многокомпонентностью бетона, а также за счет рациональной реологии.

Высокая прочность на осевое сжатие ВПБ и ОВПБ (а вместе с ней и высокая хрупкость и непропорционально низкая прочность на осевое растяжение) открывает широкие возможности для дисперсного армирования таких бетонов короткой и тонкой высокопрочной арматурой при низких объемных степенях армирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников, В.И. Основные принципы создания высокопрочных и особо высокопрочных бетонов / В.И. Калашников // Популярное бетоноведение. – 2008. – № 88.

2. Калашников, В.И. Через рациональную реологию – в будущее бетонов – 1. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения / В.И. Калашников // Технологии бетонов. – 2007. – № 5. – С. 8–10.

3. Дворкин, Л.И. Дворкин О.Л. Основы бетоноведения.

4. Берг, О.Я. Щербаков, Е.Н. Писанко, Г.Н. Высокопрочный бетон.

5. Микрокремнезём. Подробное описание. Материал интернет: http://tpkimpet.ru/d/54949/d/mikrokremnezem_podrobnoe_opisanie.doc

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Материалы 67-й студенческой
научно-технической конференции

06 мая 2011 г.

Подписано в печать 29.06.2011.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 5,27. Тираж 70. Заказ 618.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.