



Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



Строительный факультет

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Материалы 69-й студенческой
научно-технической конференции

Минск
БНТУ
2013



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**



Строительный факультет

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Материалы 69-й студенческой
научно-технической конференции**

22–25 апреля 2013 г.

**Минск
БНТУ
2013**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Строительный факультет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Материалы 69-й студенческой
научно-технической конференции*

22–25 апреля 2013 г.

Минск
БНТУ
2013

УДК 691.32

ББК 38.3

А 43

Редакционная коллегия:

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

Рецензенты:

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

Сборник содержит материалы 69-й студенческой научно-технической конференции «Актуальные проблемы технологии бетона и строительных материалов». В издании освещены материалы пленарного заседания, исследующего проблемы технологии производства и особенности эксплуатации бетона и других строительных материалов.

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

ISBN 978-985-550-306-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Волосевич С.В.</i> Эксплуатационные свойства цементов для транспортного строительства и их техническое нормирование.....	4
<i>Ковалёв В.И., Данейко Е.В.</i> Перспективы применения углеродных наноматериалов в цементных бетонах.....	12
<i>Ковалёв В.И., Шилюк Н.А.</i> Определение параметров блоков мозаики гидратированного C_3S по уширению дифракционных отражений.....	18
<i>Курч А.Н.</i> Производство многопустотных плит перекрытия по стендовой технологии методом безопалубочного формования на оборудовании фирмы Weiler Italia.....	22
<i>Милють А.И., Ярмолич А.В.</i> Получение гранитного щебня с улучшенными сцепными качествами.....	28
<i>Насенник Д.А., Приходько В.В.</i> Морозо- и солестойкость бетона, подверженного механическим нагрузкам.....	33
<i>Новицкий Н.Д., Юшин Л.Н.</i> Бетоны для защиты от радиоактивного излучения.....	39
<i>Петроневиц Д.А.</i> Теоретические предпосылки защиты ячеистобетонных изделий гидрофобизирующими составами.....	45
<i>Хожовец Е.Б.</i> Изделия из пористых бетонов для энергоэффективного промышленного и гражданского строительства.....	53
<i>Якимович Г.Д.</i> Применение молотого гранитного отсева в качестве минеральной добавки в бетон.....	57

Эксплуатационные свойства цементов для транспортного строительства и их техническое нормирование

Волосевич С.В.

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

Для сооружений современных автострад, строительства аэродромов, портовых и складских территорий, городских улиц и др. применяются покрытия преимущественно из цементного бетона и железобетона. Цементный бетон по сравнению с асфальтобетоном имеет много положительных свойств — он более прочен, менее подвержен действию повышенных температур в жаркое время года, обладает необходимым сопротивлением трению, возникающему при интенсивном движении транспорта, светлый, а это повышает безопасность движения ночью. Он относительно мало истирается (0,1 мм в год), толщина покрытия из него не превышает 16–22 см.

Достоинство цементно-бетонных покрытий — продолжительность службы примерно 30 лет. Есть дороги, эксплуатируемые 50 лет и находящиеся в хорошем состоянии. У цементно-бетонных покрытий есть и некоторые недостатки: на отдельных участках дорог покрытие вспучивается, появляются трещины. Самый большой недостаток этих покрытий — необходимость устройства деформационных швов как вдоль, так и поперек дорожного полотна из-за усадки цемента. Цементно-бетонные покрытия нужно укладывать на прочные и морозостойкие основания.

Цемент в бетонном покрытии подвергается воздействию многих факторов: возникают температурные напряжения при солнечном облучении, нагреве от теплового потока горячих выхлопных газов автотранспорта, двигателей реактивных самолетов и др. Несмотря на небольшую толщину покрытия температуры внешней поверхности и нижнего слоя различаются, что может вызвать даже коробление плиты. Так, например, внешняя поверхность бетонных плит, охлажденная ночью, может покрываться трещинами оттого, что силы, вызывающие сжатие верхнего слоя, не могут вызвать соответ-

ствующего сжатия внутренней части плиты. Цемент в бетонном покрытии подвергается многократному замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию. Поскольку покрытие выдерживает попеременно повторяющиеся нагрузки от движения транспорта и многократного действия атмосферных факторов, большое значение приобретает выносливость бетона. По данным ряда исследований предел выносливости цементного бетона составляет около 50–55% предела его прочности при сжатии и 30–70% при изгибе (при нагружениях до 2 млн. циклов). Цементный камень, его содержание в бетоне, структура и другие свойства влияют на выносливость бетона. [1]

Замечено, что при подобных воздействиях разрушение бетона начинается с цементного камня. Микроразрушения в бетоне, образующиеся при первом нагружении, оказывают решающее влияние на прочность при воздействии многократно-повторяющейся нагрузки. Число нагружений, которые выдерживает бетон, зависит от того, насколько превышена граница R_T^0 . Переход через R_T^0 приводит к разрушению при многократно повторяющейся нагрузке, что было установлено по результатам испытаний на базе циклов повторения нагрузок; предел выносливости бетона при сжатии возрастает с увеличением призмной прочности. Установлено, что повышение однородности структуры цементного камня увеличивает выносливость бетона.

Существует область оптимальных значений $V/C=0,4-0,5$, при которой выносливость наибольшая. Этому способствует также повышение удельного расхода цемента на 1 м^3 бетона, а также применение цемента с повышенным содержанием алюмоферритов кальция. Добавка хлористого кальция уменьшает выносливость, в то время как поверхностно-активные вещества (ЛСТМ, С-3, ГКЖ-94, и др.) улучшают степень однородности цементного камня и повышают выносливость бетона. Определенное влияние оказывает природа применяемого щебня. Было установлено Грушко И. М., что наиболее высокие показатели выносливости достигаются при использовании известнякового щебня. Пропаривание снижает выносливость бетона. Известно, какое большое значение имеет сопротивление цементного бетона истиранию в дорожном покрытии; установлено, что сопротивляемость цементного камня истиранию значительно

ниже, чем у заполнителя в бетоне, особенно если он характеризуется высокой твердостью. В дорожных и аэродромных покрытиях бетон разрушается под воздействием солей, преимущественно хлоридов, применяемых для оттаивания поверхности покрытия от снега и льда. Существенно влияет на долговечность цементно-бетонного покрытия и деформация грунтов основания – вспучивание при сильном увлажнении и замерзании. Мы видим, что цемент в бетоне дорожных покрытий должен противостоять действию разнообразных агрессивных факторов, что создает весьма тяжелые условия для его службы.

Цементно-бетонные покрытия бывают различными; они разделяются па монолитные и сборные, однослойные и двухслойные, армированные и неармированные, причем применяется как обычный бетон, так и предварительно напряженный. Цемент для каждой из этих конструкций должен удовлетворять дополнительным специфическим требованиям. Так, например, в связи с усадкой цемента устраивают швы сжатия, расширения, коробления и рабочие; однако в предварительно напряженных конструкциях нет швов сжатия, а расстояния между швами расширения достигают значительных размеров. В связи с этим в исследованиях, посвященных цементам для бетонов дорожных покрытий, значительное внимание уделялось тому, в какой степени физико-химические характеристики цемента влияют на качество бетонного дорожного покрытия. [1,2,3] Несомненно, что цемент должен быть высокопрочным и быстро твердеть. Опыт эксплуатации автодорог и результаты исследований показывают, что современный алитовый высокопрочный портландцемент по строительно-техническим свойствам удовлетворяет основным требованиям, предъявляемым к бетонным дорожным покрытиям при введении в его состав добавок поверхностно-активных веществ. Минералогический состав цементов для бетона дорожных и аэродромных покрытий приведен в таблице.

Таблица

Клинкерный минерал	Содержание клинкерного минерала, % массы клинкера, применяемого для изготовления цемента	
	для бетона дорожных и аэродромных покрытий	для железобетонных изделий и мостовых конструкций
C ₃ A, не более	7	7
(C ₃ A+C ₄ AF),	24	-

не более		
C_3S , не менее	55	55

Для этих изделий должен поставляться один из видов цемента по ГОСТ 10178:

- ПЦ 400-Д0-Н, ПЦ 500-Д0-Н – для всех изделий;
- ПЦ 500-Д5-Н – для труб, шпал, опор, мостовых конструкций независимо от вида добавки (для напорных труб должен поставляться цемент высшей категории качества I или II группы по эффективности пропаривания по ГОСТ 22236);
- ПЦ 400-Д20-Н, ПЦ 500-Д20-Н – для бетона дорожных и аэродромных покрытий, при применении в качестве добавки гранулированного доменного шлака не более 15%.

Начало схватывания портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий должно наступать не ранее 2 ч, портландцемента для труб - не ранее 2 ч 15 мин от начала затворения цемента. Это позволяет перевозить пластичную бетонную смесь к месту ее укладки на большие расстояния. Для цементно-бетонных покрытий можно применять шлакопортландцемент высоких марок, а также напрягающий портландцемент с малой энергией самонапряжения.

Тонкость помола портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий с добавкой шлака, кроме пластифицированного, должна характеризоваться удельной поверхностью не менее 2800 см²/г.

Содержание щелочных оксидов (Na_2O и K_2O) в пересчете на Na_2O ($Na_2O + 0,65 K_2O$) в цементах для дорожных и аэродромных покрытий не должно превышать 0,8% массы цемента. Массовая доля щелочных оксидов в цементах, изготавливаемых с использованием белитового (нефелинового) шлака, в пересчете на Na_2O не должна быть более 1,2 %. По механической прочности цемент должен соответствовать маркам 400 и 500 по ГОСТ 10178-85. Водоотделение цемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий и изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций не должно быть более 28%.

Цемент для бетона дорожных и аэродромных покрытий не должен обладать признаками ложного схватывания.

Тонкость помола пластифицированного портландцемента для бетона дорожных и аэродромных покрытий с добавкой шлака должна быть такой, чтобы при просеивании сквозь сито с сеткой №008 по ГОСТ 3584 проходило не менее 88% массы просеиваемой пробы. В состав бетонной смеси при ее приготовлении следует вводить пластифицирующие, гидрофобно-пластифицирующие либо воздухововлекающие добавки, если они не входят в состав портландцемента.

В настоящее время ведется пересмотр ГОСТ 30515 и ГОСТ 22266, а также разрабатывается новый стандарт ГОСТ Р... «Цементы для транспортного строительства» (ГОСТ Р 55224). Утверждение этих стандартов намечено на 2012 год, а предполагаемый срок введения в действие – 2013 год. С этого же срока должны быть отменены без замены ГОСТ 10178 и 310.1 - 310.4, а также ГОСТ 30515 и ГОСТ 22266 с заменой на новые редакции этих стандартов.

До настоящего времени специального стандарта на цементы, используемые в транспортном строительстве, в России не было. Цементы для бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также для изготовления железобетонных изделий и конструкций, используемых в транспортном строительстве (трубы, шпалы, опоры ЛЭП, мостовые конструкции и т. п.), выпускались по ГОСТ 10178. В этом стандарте кроме общих требований, предъявляемых ко всем цементам, содержится пункт, устанавливающий дополнительные требования к дорожным цементам. В связи с предстоящей отменой ГОСТ 10178 и острой потребностью повысить долговечность дорожных покрытий возникла необходимость разработать специальный стандарт на эти цементы. Стандарт должен как минимум сохранить существующий уровень показателей прочности и предусмотреть повышение требований по показателям, непосредственно влияющим на долговечность бетонов, используемых в транспортном строительстве. Как и для других цементов, должна быть также обеспечена унификация требований российского стандарта с европейскими в части классификации, методов испытаний и т. д.

В Европейском союзе отсутствуют специальные нормы на цементы для транспортного строительства. Вместо них в статусе пре-стандартов действуют ENV 13282-1:2000 и ENV 13282- 2:2000 со-

ответственно на быстро и нормально твердеющие вяжущие для автомобильных дорог. Особенностью указанных европейских документов является то, что они относятся не собственно к цементам для дорожного строительства, а к смесям заводского изготовления, непосредственно используемым в дорожном строительстве путем затворения водой наподобие сухих строительных смесей. В преамбулах к обоим престандартам указано, что требования к цементам в них не устанавливаются, поскольку эти требования установлены EN 197-1. В престандартах лишь указано, что содержание портландцементного клинкера в быстротвердеющих вяжущих должно быть не менее 20 %, а в нормально твердеющих не менее 10 % их массы. В качестве основных компонентов, каждого из которых в быстротвердеющем вяжущем должно быть не менее 20 % (а в нормально твердеющем — не менее 10 %), могут быть использованы доменный гранулированный шлак, кислая и основная золы ТЭС, пуццолана, известняк и другие добавки, упомянутые в EN 197-1. При изготовлении нормальнотвердеющих вяжущих можно использовать также золу от сжигания топлива в кипящем слое, сталерафинировочные шлаки и другие материалы. В обоих престандартах приведены требования к прочности вяжущего, тонкости помола, срокам схватывания, равномерности изменения объема, содержанию SO_3 .

В наших условиях опыт европейских стран по производству вяжущих для дорожного строительства может быть полезен, однако с учетом резкого различия климатических и других природных условий в различных странах, большой протяженности дорог применение специальных требований к цементам для транспортного строительства представляется обязательным.

В США специальные стандарты на цементы для транспортного строительства отсутствуют. Применяют любые предусмотренные проектной документацией цементы из числа включенных в стандарты ASTM. Для бетонов дорожных и аэродромных покрытий применяют бездобавочные цементы по ASTM C 150: тип I (общестроительный), тип II (умереннотермичный), тип III (быстротвердеющий). Те же типы цементов, а также тип IV (низкотермичный) и тип V (сульфатостойкий) применяют для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций. Для дорожных оснований применяют цементы с минеральными добавками по ASTM C 595. Во всех случаях при проектировании и строительстве дорог долж-

но выполняться законодательство соответствующего штата. Однако при строительстве высокоскоростных автомагистралей на всей территории США применяют также стандарт Американского общества высокоскоростных автомагистралей AASHTO M85. Тем не менее, различия между ASTM C 150 и AASHTO M 85 несущественны. Номенклатура цементов и основные физико-механические требования в обоих нормативных документах одинаковы. Различия состоят лишь в том, что стандарт автодорожного общества содержит умеренные ограничения по предельному содержанию в клинкере C_3S и удельной поверхности цемента.

В Китае, где строительство новых автомобильных трасс и железнодорожных линий в начале XXI века по сравнению с другими странами ведется наиболее интенсивно, требования к цементам для автомобильных дорог отражены в стандарте на общестроительные цементы GB 175-2007, а также в специальном стандарте на дорожные цементы GB 13693-2005.

Основные технические требования GB 13693:

- по прочности цементы должны соответствовать классам 32,5; 42,5; 52,5 по GB 175;
- установлены ограничения по фазовому составу клинкера: $C_3A < 5\%$, $C_4AF < 16\%$, $MgO < 5\%$;
- в отличие от стандартов других стран введены требования по усадке цемента – не более 0,1 % в течение 28 сут при твердении в сухих условиях, и по истираемости — не более 3 кг/м²;
- удельная поверхность цемента при испытаниях методом воздухопроницаемости (по Блейну) должна быть в пределах 300 - 450 м²/кг;
- следует определять прочность цемента на изгиб в возрасте 3 и 28 сут.;
- выделен низкощелочной дорожный цемент, который должен содержать не более 0,6 % R_2O в пересчете на Na_2O . Однако согласно стандарту предельное содержание R_2O в цементе следует устанавливать соглашением сторон.

В проекте ГОСТ Р [3] предусматривается следующая классификация цементов для транспортного строительства по назначению:

- для бетона дорожных и аэродромных покрытий (одежд);
- для бетона дорожных оснований;

- для изготовления железобетонных изделий и мостовых конструкций, используемых в транспортном строительстве;
- для укрепления грунтов.

Для всех наименований и типов цемента определены требования к клинкеру, применяемым классам прочности, виду и содержанию добавок. Предусмотрено, что клинкер цемента для дорожных и аэродромных покрытий может содержать не более 7 % C_3A и сумму ($C_3A + C_4AF$) не более 24 %, а также C_3S не менее 55 %. Этот цемент может выпускаться типов ЦЕМ I или ЦЕМ II, в последнем случае только со шлаком (не более 15 %). Клинкер цемента для железобетонных изделий и конструкций может содержать не более 7 % C_3A и не менее 55 % C_3S . Этот цемент может выпускаться только типов ЦЕМ I или ЦЕМ II-III. Более низкие требования предъявляются к цементам для дорожных оснований и особенно к цементам для укрепления грунтов.

Классификация цементов по всем параметрам основывается на действующем ГОСТ 31108, и через него проект ГОСТ Р... гармонизирован с европейскими стандартами.

Таким образом, проект ГОСТ Р... «Цементы для транспортного строительства» не уступает европейским и американским стандартам, а в части наличия требований к прочности на растяжение при изгибе даже превосходит последние. Проект не уступает также китайскому стандарту, хотя и не содержит требований по усадке и истираемости бетона дорожных покрытий. Однако нет данных, которые подтверждали бы целесообразность введения в стандарт на цемент этих критериев, поскольку они характеризуют свойства не столько цемента, сколько бетонных смесей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. С. М. Рояк, Г. С. Рояк Специальные цементы. М. ГСИ, 1983. – с.278.
2. ГОСТ 10178 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия».
3. ГОСТ Р 55224 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия».
4. З.Б. Энтин, «О разработке новых стандартов», Журнал «Цемент и его применение», Ноябрь – Декабрь 2011, с. 34-39.

Перспективы применения углеродных наноматериалов в цементных бетонах

Ковалёв В.И., Данейко Е.В.

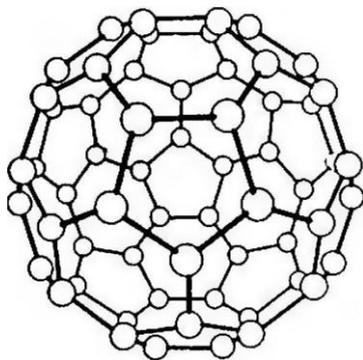
Научный руководитель – Рябчиков П.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Среди множества конструкционных материалов с все возрастающим темпом на лидирующие места вырывается железобетон. Перспективы внедрения этого строительного материала в проектирование конструкций самого различного типа уже давно ни у кого не вызывают сомнения. Но, несмотря на все очевидные достоинства, железобетонные конструкции имеют ряд существенных недостатков, таких как: большая масса конструкций, возможность коррозии бетона, его недостаточная прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и т.д. Большинство этих и многих других минусов устраняются путем повышения прочности и плотности, а также сцепления с заполнителем и арматурой цементного камня, являющегося неотъемлемой частью железобетонного конгломерата, при прочих равных условиях играющую решающую роль в обеспечении качества готового материала.

В современных условиях все большую значимость приобретает знание, способность и умение управлять процессами структурообразования при получении различных строительных материалов на уровне размеров элементарных частиц, из которых «строится» данный материал. Целенаправленное воздействие на формирование наноструктуры, например, твердеющего цементного камня, может обеспечить создание более однородной и плотной взаимной «упаковки» гидрокристаллических новообразований и, на этой основе, не только управлять кинетикой перехода вязкопластичной бетонной смеси в твердофазное состояние – цементный бетон, но и обеспечить более высокий уровень его плотности и прочности, что является базисом для повышения несущей способности, долговечности и эксплуатационной надежности строительных конструкций, изготовленных с его использованием.

Проблеме использования нанотехнологий в строительном материаловедении и, в частности, в технологии бетона посвящено множество публикаций последних лет. Управление формированием структуры бетона на микроуровне всегда являлось одной из самых приоритетных задач в строительном материаловедении. До недавнего времени методы воздействия на микроструктуру бетона сводились к следующим: механоактивация цемента (эффект кавитации), омагничивание воды затворения, введение микродисперсной двуокиси кремния (микрокремнезем, золы-уноса и т.д.) в аморфной форме, применение иных различных микрокристаллических затравок.

В 1985 г. Харольдом Крото и Ричардом Смоли были открыты фуллерены – форма, состоящая из 60 атомов углерода. Это открытие было удостоено в 1996 г. Нобелевской премии по химии. В 1991 г. Иижима обнаружил новую форму углерода - продолговатые трубчатые углеродные образования, названные «нанотрубками». Разработка Кретчмером и Хаффманом технологии их получения в макроскопических количествах положила начало систематическим исследованиям поверхностных структур углерода. Основным элементом таких структур является графитовый слой – поверхность, выложенная правильными пяти- шести- и семиугольниками (пентагонами, гексагонами и гептагонами) с атомами углерода, расположенными в вершинах. В случае фуллеренов такая поверхность имеет замкнутую сферическую или сфероидальную форму (см. рис.), каждый атом связан с 3 соседями и связь – sp^2 .



Наиболее распространенная молекула фуллерена C₆₀ состоит из 20 гексагонов и 12 пентагонов. Ее поперечный размер – 0.714 нм. При определенных условиях молекулы C₆₀ могут упорядочиваться и образовывать молекулярный кристалл. При определенных условиях при комнатной температуре молекулы C₆₀ могут упорядочиваться и образовывать молекулярные кристаллы красноватого цвета с гранцентрированной кубической решеткой, параметр которой равен 1,41 нм.

Изменчивость форм, структурирования (конфигураций) и размеров неизбежно сопровождается непостоянством свойств углеродных наноматериалов. Этот эффект усиливается изменчивостью соотношения образующихся параллельно с много- и одностенными нанотрубками, разнообразными многогранниками и нановолокнами, УНМ иных материалов: аморфного углерода, металла, ультрадисперсных наночастиц. Общим недостатком первоначально разрабатываемых технологий был низкий выход собственно углеродного наноматериала, что сопровождалось соответствующим ростом его себестоимости и позволяло производить УНМ только для исследовательских целей.

С позиций эффективного воздействия УНМ на процессы структурообразования, твердения и на прочность цемента (соответственно – цементного бетона, как базового строительного материала) особую значимость имеют высочайшая потенциальная энергия ультрадисперсных УНМ и их свойство в определенных условиях получения формировать тончайшие волокна значительной (до десятков микрон) длины.

Особенность и уникальность применения вещества УНМ, характеризующегося огромным потенциалом поверхности ультрадисперсных частиц, заключается в достижении положительного результата, выраженного ростом прочности цементного камня, при дозировках в сотых и даже тысячных долях процента от массы цемента.

Можно предположить, что использование волокнообразных УНМ позволит решить проблему повышения ударной вязкости (хрупкости) и деформативности высокопрочных бетонов, увеличить прочность на растяжение (осевое и при изгибе) традиционных конструктивных бетонов и обеспечить одновременно рост их способности сопротивляться сжимающим нагрузкам, а также возникаю-

щим при сложноподвижном состоянии. Кроме этого означенный эффект может обеспечить существенное повышение прочности подвижных конструктивно-теплоизоляционных и теплоизоляционных бетонов, благодаря чему возможен рост их теплоизолирующей функции, что является одной из сложнейших в решении проблем строительного материаловедения. Основанием для такого утверждения является общепризнанный постулат теории разрушения хрупких материалов (включая бетон) от усилий, превышающих предел их прочности на растяжение и возникающих в поперечной плоскости к направлению приложения сжимающей нагрузки. Аналогией означенного эффекта на макроуровне является прием армирования бетона металлической фиброй, а также щелочестойким стекловолокном и другими волокнистыми материалами.

Некоторые выводы о влиянии УНМ-добавок на свойства цементного камня и цемента можно сделать, опираясь на серию научно-исследовательских работ и опытов, проведенных в НИИЛ БиСМ БНТУ и кафедре ТБиСМ БНТУ в период с 2006 по 2012 гг. с использованием различных веществ УНМ (получаемые по различным технологиям, разработанным в институте «ИТМО» НАН Беларуси).

Результаты поисковых исследований, целью которых являлась проверка возможности и оценка вероятной эффективности применения полученных в Институте тепло- и массообмена отечественных углеродных наноматериалов в цементных бетонах, дали в целом оптимистический ответ на этот вопрос в виде установленной положительной динамики роста активности цемента, прочности цементного камня и отсутствия отрицательных воздействий на стандартизированные свойства цемента.

В процессе выполнения экспериментов был апробирован широкий спектр веществ УНМ, различающихся видом исходного сырья и особенностями технологии получения, с целью снижения стоимости конечного продукта и повышения его качественных характеристик.

Отработаны технологические приемы введения малых количеств УНМ в твердофазный порошкообразный материал – цемент, выполнены начальные исследования структурно-морфологических изменений в продуктах гидратации клинкерных минералов цемента и особенностей формирования их структуры под влиянием вещества УНМ. Выявлены разновидности вещества УНМ и условия, со-

ответствующие проявлению ими благоприятного воздействия на процессы взаимодействия цемента с водой и кинетику роста прочности цементного камня и бетона. Общая ориентация выполненных и продолжающихся исследований на бетоны плотной и поризованной структуры рациональна и оправдана как достигнутой общей положительной тенденцией в результатах исследований, так и значимостью этих материалов для строительной отрасли Беларуси и с учетом их роли в мировом строительном производстве.

С учетом изложенного можно сформулировать следующие направления исследований, преследующие цель создания и развития нанотехнологий применительно к строительному материаловедению и, в частности, в технологии бетонов:

- производство веществ углеродных наноматериалов с заданными структурными и физическими характеристиками;
- производство веществ УНМ с устойчиво прогнозируемыми структурными и физическими характеристиками при минимальной стоимости конечного продукта;
- производство кремнеземсодержащих наноматериалов, а также высокопрочных волокнообразных УНМ;
- исследования морфологических и структурных изменений в продуктах гидратации цемента, модифицированного УНМ, для целенаправленного воздействия на формирование структуры и свойств цементного камня и бетона;
- создание строительных материалов со специальными физико-техническими и эксплуатационными свойствами;
- развитие научных основ и разработка технологий, способов и приемов применения ультрадисперсных наноматериалов при производстве бетонов и иных строительных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваучский М.Н. Направленное формирование упорядоченной надмолекулярной структуры гидратированных минеральных вяжущих. Вестник гражданских инженеров, 2004, №2(3), с.44 – 47.
2. Яковлев Г.И. Нанодисперсная арматура в цементном пенобетоне//Технологии бетонов, № 3, 2006, с. 68-71.
3. Артамонова, О.В. Формирование структуры и управление прочностными свойствами гидросиликатных систем модифициро-

ванных ультра - и наноразмерными частицами / О.В. Артамонова, Д.Н. Коротких, Е.М. Чернышев // Первая международная конференция: Деформация и разрушение материалов, Москва, 13-16 ноября 2006, тез. докл. Москва, 2006, с. 514-516.

4. Пухаренко, Ю.В. Наноструктурирование воды затворения как способ повышения эффективности пластификаторов бетонных смесей / Ю.В. Пухаренко, В.А. Никитин, Д.Г. Летенко // Строительные материалы. – Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006, № 9, с. 11-13.

5. Королев, Е.В. Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками и фуллеренами / Е.В. Королев, Ю.М. Баженов, В.А. Береговой // Строительные материалы - Наука. – 2006. – № 8. Приложение к научно-техническому журналу «Строительные материалы», 2006, №9, с. 2-4.

6. Лотов, В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий. / Строительные материалы. – 2006, №8. - с. 10-12.

Определение параметров блоков мозаики гидратированного C_3S по уширению дифракционных отражений

Ковалёв В.И., Шилюк Н.А.

Научный руководитель – Юхневский П.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Идеальных кристаллов, в которых все атомы находились бы в положениях с минимальной энергией, практически не существует. Отклонения от идеальной решетки могут быть временными и постоянными. Временные отклонения возникают при воздействии на кристалл механических, тепловых и электромагнитных колебаний, при прохождении через кристалл потока быстрых частиц и т. д. К постоянным несовершенствам относятся:

1) *точечные дефекты* (межузельные атомы, вакансии, примеси). Точечные дефекты малы во всех трех измерениях, их размеры по всем направлениям не больше нескольких атомных диаметров;

2) *линейные дефекты* (дислокации, цепочки вакансий и межузельных атомов). Линейные дефекты имеют атомные размеры в двух измерениях, а в третьем - они значительно больше размера, который может быть соизмерим с длиной кристалла;

3) *плоские или поверхностные дефекты* (границы зерен, границы самого кристалла). Поверхностные дефекты малы только в одном измерении;

4) *объемные дефекты*, или макроскопические нарушения (закрытые и открытые поры, трещины, включения постороннего вещества). Объемные дефекты имеют относительно большие размеры, несоизмеримые с атомным диаметром, во всех трех измерениях.

Точечные дефекты повышают энергию кристалла, так как на образование каждого дефекта была затрачена определенная энергия. Вокруг пустого узла или атома в междоузлии решетка искажена. Точечный дефект можно рассматривать в первом приближении как центр сжатия или расширения в упругой среде. Напряжения и деформации вокруг такого центра убывают обратно пропорционально третьей степени расстояния от него. Важной особенностью точеч-

ных дефектов является их подвижность. Перемещение дефектов связано с преодолением потенциальных барьеров, высота которых определяется природой дефекта, структурой решетки и направлением перемещения дефекта. Перескоки вакансий приводят к перемещению атомов, т. е. к самодиффузии примесных атомов замещения. Вакансионный механизм - основной диффузионный механизм.

Реальный кристалл, как известно, состоит из скопления большого числа мелких кристаллов неправильной формы, которые называются зернами или кристаллитами. В свою очередь зерно не является монокристаллом, построенным из строго параллельных атомных слоев. В действительности оно состоит как бы из мозаики отдельных блоков, кристаллографические плоскости в которых повернуты друг относительно друга на небольшой угол – порядка нескольких минут. Такое строение зерна носит название мозаичной структуры, а составляющие ее блоки называют блоками мозаики.

Одним из наиболее доступных и распространенных способов нахождения размеров кристаллитов и микронапряжений в поликристаллических пленках является анализ уширения рентгеновских дифракционных пиков. Размер кристаллитов D может быть определен с использованием простой формулы Шеррера:

$$D = \frac{0.9 \times \lambda}{\beta \times \cos \theta},$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения; θ – угол дифракции, β – полная ширина дифракционного отражения на полувысоте интенсивности пика с учетом поправки на инструментальную составляющую β_0 .

Метод измерения размеров кристаллитов по формуле Шеррера может быть использован только в том случае, когда диаметр отдельных свободных от напряжений кристаллитов в поликристаллической пленке менее 10^{-4} см. Когда же к уширению линий приводят не только размерные эффекты, но и наличие напряжений, необходимо использовать более строгий метод для нахождения и разделения вкладов в уширение линий от различных источников.

Полное уширение β_1 можно определить, как

$$\beta_t^2 = \left(\frac{0,9 \cdot \lambda}{D \cdot \cos \theta} \right)^2 + (4\varepsilon \cdot \tan \theta)^2 + \beta_0^2$$

Экспериментально наблюдаемые уширения нескольких дифракционных пиков можно использовать для вычисления как среднего размера частиц D , так и микронапряжений одновременно. Для нахождения этих параметров необходимо построить зависимость ширины дифракционных пиков от угла Брэгга, и методом наименьших квадратов найти значения диаметров D , ε и β_0 .

Были выполнены рентгенодифракционные исследования гидратированного C_3S на автоматизированном дифрактометре ДРОН-7 в излучении $CuK\alpha$ при условиях фокусировки по Брэггу-Брентано 0-2 θ . Трехкальциевый силикат затворяли водой при В/Ц=1,0 и водой с добавкой суперпластификатора СП-1 в количестве 1% от массы трехкальциевого силиката. Образцы твердели 28 суток в нормально-влажностных условиях, затем высушивали на воздухе при температуре 20-25 $^{\circ}C$, размалывали в агатовой ступке и пробу просеивали через сито с сеткой №008.

Количество добавки	Экспериментальные данные				
	Интенсивность максимума пика Альфа1, I_{max}	Положение максимума пика Альфа1, $2\theta_{max}$	Межплоскостное расстояние, d, nm	Полуширина, w	Размер кристаллитов, nm
-	22,9	26,17	0,340	0,449	20,16
	43,8	29,33	0,304	0,274	33,21
	18,8	31,99	0,279	0,140	-
	15,0	50,04	0,182	0,140	-
1% С-3	18,8	26,07	0,341	0,580	15,63
	48,9	29,35	0,304	0,515	17,67
	38,1	32,00	0,279	0,140	-
	11,9	50,08	0,182	0,140	-

В процессе гидратации C_3S образуются гидросиликаты группы С-S-H (I) типа 1.4 нм тоберморита и С-S-H (II) типа женнита. Для

C-S-H (I) характерными являются пики с $d=0,304$ нм; $0,28$ нм; $0,182$ нм, а для C-S-H (II) - $d=0,340$ нм; $0,283$ нм; $0,183$ нм и др.

С введением C-3 в количестве 1% от массы C_3S происходит уменьшение блоков мозаики с 20-33 до 15-17 нм, что приводит к значительному повышению прочности твердеющей структуры. Чем меньше блоки мозаики, тем выше их химическая активность, и тем более когерентно они связаны с другими фазами структуры, и тем выше прочность. Когда блоки мозаики сильно разориентированы, то при приложении внешней нагрузки происходит интерференция сдвиговых перемещений дислокаций и их затухание. Такая интерференция упрочняет структуру.

Введение в цементные материалы атомных примесей в виде химических добавок способствует образованию дефектов в кристаллических решетках гидросиликатов кальция и легированию структуры, что приводит к затруднению движения дислокаций и повышению прочности композита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев А. И., Рампель А. А. Нонокристаллические материалы, Москва: Физматлит, 2000, - 224 с.
2. Коршунов А. Б.// Аналитический метод определения параметров тонкой кристаллической структуры по уширению рентгеновских линий. Заводская лаборатория. 2004.№ 2.с. 27-32.
3. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. Байковой А. И. и Кузнецовой Т. В., М.: Мир. 1996. – 560 с.

Производство многопустотных плит перекрытия по стендовой технологии методом безопалубочного формования на оборудовании фирмы Weiler Italia

Курч А.Н.

Научный руководитель – Коваженкова В. И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Производство многопустотных плит перекрытия организовано на инновационной технологии безопалубочного формования на оборудовании фирмы “Weiler Italia”. На линии изготавливаются плиты высотой 220 мм, шириной 1,2 и 1,5 м, длиной до 9 м, армированные проволокой и арматурными прядями. Данная технология предлагает свободу выбора: большая длина плиты, легкость ее нарезки под любым углом – дают возможность уйти от традиционных решений при проектировании расстояний между несущими перекрытиями и воплотить в жизнь самые смелые решения.

Преимуществом использования плит является:

- малый вес, что позволяет уменьшить нагрузку и количество строительных элементов для фундамента и надземной части;
- высокие прочностные характеристики изделий из высокопрочного бетона (С 30/37 и выше) и высокопрочной арматуры (S1400);
- точность размеров, что позволяет сэкономить время при монтаже и значительно уменьшить затраты материалов.

Экономия бетона происходит за счет пустот. При этом уменьшается расход бетона, и нет необходимости увеличивать структурную толщину плиты благодаря высокой жесткости плит. Экономия стали осуществляется за счет использования высокопрочной стальной проволоки. С участка длиной 3,5 м экономия составляет 50% стали по сравнению с количеством, необходимым для производства массивных плит. В настоящее время производство пустотных плит является настолько современным и автоматизированным, что применение рабочей силы сокращается на 40% по сравнению с используемой рабочей силой при производстве массивных плит.

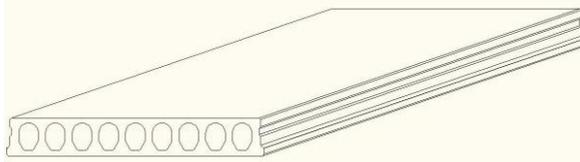


Рис. 1 – Многopустотная плита перекрытия

Технологический процесс

- подготовка производственных дорожек
- распределение и анкеровка арматурных прядей и проволоки
- нанесение разделительной смазки
- натяжение арматурных прядей и проволоки
- бетонирование дорожки
- термообработка
- расслабление арматурных прядей и проволоки
- раскрой монолита на плиты
- распалубка, доводка, отгрузка изделий

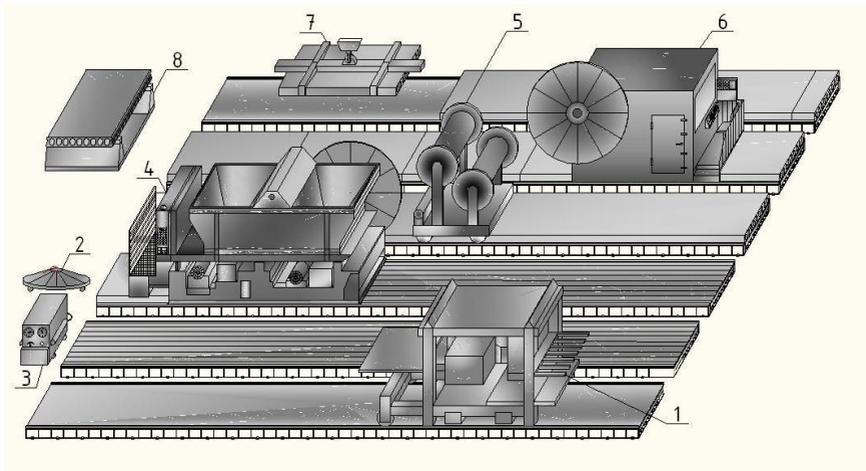


Рис. 2 – Технологическая схема:

1 – многооперационная машина, 2 – катушка, 3 – натяжная станция, 4 – слипформер, 5 – катушка для размотывания теплоизоляционного полотна, 6 – пила, 7 – грузозахватный механизм траверсы, 8 – стенд доводки.

Подготовка производственных дорожек. Многооперационная машина устанавливается на формообразующие кромки производственной дорожки с помощью крана и подключается к электросети. Очистка от остатков бетонной смеси производится посредством вращающейся металлической щетки при перемещении машины вдоль производственной дорожки. Прорезиненный скребок подхватывает остатки и перемещает к активной стороне дорожки.

Распределение и анкеровка арматурных прядей и проволоки. Бухты с арматурой устанавливаются в катушки и подаются в цех механическим способом. Для распределения и анкеровки арматурных прядей и проволоки сначала пропускают вручную их концы через отверстия контрфорса пассивной стороны в соответствии со схемой армирования и путем фиксации устанавливают клиновыми зажимами в соответствующие пазы многооперационной машины. Затем производится сматывание арматурных прядей и проволоки с катушек и перемещение их до противоположного контрфорса активной стороны дорожки. Клиновые зажимы устанавливаются на свободные концы арматурных прядей и проволоки на активной стороне дорожки, а на пассивной стороне обрезаются канаты и проволоки с помощью угловой шлифмашины с установленным отрезным кругом и также устанавливаются клиновые зажимы на свободные концы арматурных прядей и проволоки на контрфорсе пассивной стороны. Машина возвращается к контрфорсу пассивной стороны дорожки, и операция повторяется до полного армирования производственной дорожки.

Нанесение разделительной смазки. До нанесения разделительной смазки на стенде устанавливаются проволоки и арматурные пряди на фиксаторы поддерживающей траверсы. Затем опускаются форсунки в рабочее положение. Нанесение разделительной смазки на формообразующие поверхности производится путем аэрозольного распыления при перемещении машины вдоль производственной дорожки. Многооперационная машина перемещается на другую производственную дорожку посредством мостового крана.

Натяжение арматурных прядей и проволоки. Натяжения производится гидравлической станцией с домкратами со стороны контрфорсов активной стороны производственной дорожки. Сначала устанавливаются страховочные цепи на дорожке с шагом 12 м и защитный экран. Затем включается гидравлическая станция и уста-

навливается параметр требуемого натяжения. Свободный конец арматурной пряди или проволоки устанавливается в соответствующее отверстие домкрата. Натяжение арматурных прядей - 900 МПа, а проволоки - 600 МПа. При натяжении пряди и проволоки перемещаются и устанавливаются в пружинные захваты гидравлической станции.

Бетонирование осуществляется слипформером. Уплотнение бетонной смеси происходит четырьмя центробежными вибраторами, установленными на вибрационном финишере. Девять подвижных пуансонов образуют пустоты в изделии. Для заглаживания применяется заглаживающее устройство. Слипформер устанавливается на формообразующие кромки производственной дорожки с помощью мостового крана и подключается посредством питающего кабеля к электросети. Для обеспечения рабочего положения арматурных прядей устанавливается распорка. Из БСЦ в передаточной тележке поступает бетонная смесь, выгружаемая в приемный бункер. После загрузки бетонной смеси приемный бункер подается к месту строповки краном, откуда перемещается к месту установки слипформера. После выгрузки в приемный бункер слипформера бетонной смеси он включается и вводится программа рабочего цикла посредством сенсорного монитора бортового компьютера. Устанавливается ручной режим работы слипформера и формование нижнего слоя происходит только с участием заслонки переднего бункера. После отформованного нижнего слоя дорожки слипформер останавливается, при этом совмещаются отверстия заднего расходного бункера и начала заформованного нижнего слоя изделия. Устанавливаются фиксаторы защитного слоя верхней поверхности. Дальнейшее формование происходит в автоматическом режиме. Форму изделию придают непосредственно стенд, пуансоны, формообразующие пластины бокового профиля и заглаживающие устройства. После окончания формования слипформер перемещается на мосты вывода оборудования и отключается от электросети. После формования слипформер устанавливается на площадку технического обслуживания, где производится его очистка от остатков бетонной смеси при помощи гидродинамического аппарата высокого давления.

Термообработка. Свежеотформованная полоса накрывается посредством тележки теплоизоляционным полотном для поддержания

температурной среды в пределах до 65°С. В качестве теплоносителя используется пар $T=120^{\circ}\text{C}$, который подается по регистрам, вмонтированных по всей длине стенда. Для восполнения потерь давления в технологических процессах нагрева циркуляционным насосом пар подается под давлением 0,8 МПа. Собственное давление пара 0,2 МПа. Процесс термообработки автоматизирован. В автоматическом режиме ведется контроль температуры и давления пара. Режим термообработки составляет 12-18 часов.

Снятие напряжения. После термообработки происходит 90%-ый набор требуемой прочности изделий. Это необходимая прочность для достижения усилия предварительного натяжения, которое обеспечивает наилучшее сцепление бетона с арматурными прядями и проволокой. После остывания обрезают арматурные пряди и проволоки с помощью обрезающего диска шлифовальной машины в месте их выхода из монолита. Обрезка ведется последовательно от центра дорожки к краям. По истечению двух часов после обрезки арматурных прядей и проволоки производят сматывание теплоизоляционного полотна.

Резка – это процесс раскроя изготовленного бетонного монолита на плиты требуемой длины. Резка монолита на плиты производят пилой, которая предварительно устанавливается краном на дорожку и подключается к электросети и водопроводу. Диск пилы устанавливается в соответствии с длиной изделия или в соответствии с произведенной ранее разметкой. Точность резки контролируется лазерным устройством. Включается привод вертикального перемещения пилы и подача воды. Пропил бетонного полотна ведется на глубину 213 мм, и диск перемещается после включения горизонтального привода. Пропил ведется на всю ширину дорожки до срабатывания концевого выключателя. Вода требуется для охлаждения пилы. Затем производят пропилов остального монолита.

Маркировка, распалубка, доводка, отгрузка. Готовые изделия маркируются. Затем их с производственной дорожки распалубливают грузозахватным механизмом и перемещают на стенд (кантовать) для доводки лицевой поверхности и фасок при необходимости и устанавливают пластиковые заглушки. Перемещение плиты на тележку для вывоза на склад готовой продукции производят также грузозахватным механизмом траверсы. Плиты безопалубочного формования могут применяться в зданиях, возводимых по действу-

ющим проектам, взамен плит с круглыми пустотами, изготавливаемых по агрегатно-поточной или конвейерной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог «Wi Tech. Concrete technology». Милан – WiTech, 2010г.

2. Серия рабочих чертежей Б.1.041.1-4.08 «Плиты перекрытий железобетонные многопустотные предварительно напряженные безопалубочного формования шириной 1500 мм, 1200 мм, армированные канатной арматурой класса S1400 Ø9 и Ø12 мм»

3. Журнал «Знак качества» №8'11. Минск - ЗАО "Промышленное содружество", 2011г.

4. И. В. Шихренко «Краткий справочник инженера-технолога по производству железобетона», 2-е издание. Киев - «Будивэльнык», 1989г.

5. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. Москва -. Стройиздат, 1984.

Получение гранитного щебня с улучшенными сцепными качествами

Милюць А.И., Ярмолич А.В.

Научный руководитель – Гурбо Н.М.
Белорусский национальный технический
Минск, Беларусь

Достаточно широко в современном строительстве применяется кубовидный гранитный щебень – это очень прочный нерудный материал, получаемый из плотных горных пород на специальных дробильно-сортировочных установках, применяемый в качестве заполнителя для тяжелого бетона, асфальтобетона, а также для дорожных и других видов строительных работ. Кубовидный щебень – это результат наиболее прогрессивного и перспективного направления в технологии дробления, ведь частицы, имеющие кубовидную форму, плотно прилегают друг к другу и эффективно повышают прочность, долговечность и другие свойства материала. Кажущаяся простота производства щебня – дробление горных пород – обманчива, так как современные технологии производства строительных материалов и изделий на их основе предъявляют все более высокие требования к качеству щебня.

В своей работе мы рассматривали факторы, влияющие на прочность сцепления цементного камня с заполнителем, а так же способы повышения сцепных качеств щебня. Явления, происходящие в зоне контакта между заполнителем и цементным тестом, в зависимости от состава соприкасающихся фаз, а также способа формования и условий структурообразования при твердении бетона, могут либо привести к образованию дефектов структуры, либо способствовать её упрочнению. При существующей технологии, не предусматривающей специальных мер для повышения прочности и плотности контакта между вяжущим и заполнителем, контактная зона в растворах и бетонах, как правило, является слабым местом структуры. [1] Особенно это наблюдается при увеличении крупности заполнителя, повышении водоцементного отношения. Поэтому важнейшей задачей технологии бетона является достижение улучшения

сцепления в зоне контакта. При хорошем сцеплении и высокой прочности цементного камня и заполнителей будет реализовываться благоприятное влияние разгрузки цементного камня, и прочность бетона возрастет. При формировании и последующем твердении бетона в его объеме образуется поровое пространство. Образующаяся пористость обусловлена многочисленными химическими и физико-механическими изменениями, происходящими в структуре затвердевшего бетона в зависимости от минералогического состава и дисперсности цемента, В/Ц, соотношения составляющих бетона, гранулометрии и формы заполнителей, технологии приготовления бетонной смеси и условий ее твердения.

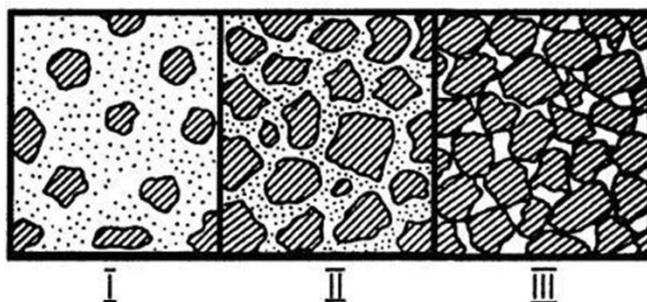


Рис.1 Типы структур бетонной смеси I – смесь с плавающим заполнителем; II – смесь с плотной упаковкой заполнителей; III - крупнопористая смесь с недостатком цементного теста

Помимо этого, в контактной зоне локализуется значительное количество микродефектов и микротрещин структуры, чему в определенной мере способствует водоотделение и седиментация, протекающие в свежееуложенной бетонной смеси; усадочные деформации твердеющего бетона; различные коэффициенты расширения заполнителя и теста; процессы гидратации теста и рекристаллизации гидратных новообразований; агрессивная среда; замораживание – оттаивание; взаимодействие щелочи с заполнителем и т. д.

Трещины в контактном слое могут составлять до 60–70% от общего количества трещин в бетоне. Все это ослабляет контактный слой, нарушает монолитность, снижает однородность и прочность бетона, а в конечном итоге — его долговечность. [2]



Рис.2 Трещины в структуре бетона

Согласно А. Е. Шейкину с соавторами, к факторам, которые влияют на прочность сцепления цементного камня с заполнителями, относятся, в частности:

- 1) характер и степень чистоты поверхности зерен заполнителей;
- 2) химико-минералогический состав зерен заполнителей;
- 3) прочность цементного камня (с увеличением прочности цементного камня прочность сцепления при прочих равных условиях возрастает);
- 4) влагосодержание бетона к моменту испытания (с увеличением влагосодержания бетона при прочих равных условиях прочность сцепления цементного камня с заполнителем уменьшается). [3]

Процесс дробления известен своим высоким пылесодержанием. На современных камнедробильных заводах каменную пыль удаляют путем промывки заполнителя водой. Для снижения содержания пыли в воздухе, а также улучшения сцепных качеств щебня используются свойства воды и растворов ПАВ смачивать пылевые частицы и связывать их между собой, с кусками породы и прочими предметами, на которые осаждается пыль. Для повышения пылеподавления в воду добавляют ПАВ (смачиватели): ДБ, ОП-7, ОП-10, ДС-РАС, ДС-На и др. Они вводятся в водопровод либо централизованно на центральные станции, либо на участках с помощью дозаторов смачивателей. Одним из способов усиления прочности сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителя является нанесение на чистую поверхность щебня тонкого слоя минерально-

го состава, способного образовывать сильные химические связи, как с поверхностью заполнителя, так и вступать в реакцию с новообразованиями цементного камня. Особенно высокие прочностные характеристики бетона были получены при модифицировании гранитного щебня с помощью ПАВ катионного типа (добавки, в которых углеводородная часть молекул входит в состав катиона). Добавка несет положительный заряд и состоит из аминов, соли аминов, и четырехзамещенных аммониевых оснований. Аналогичные результаты были получены, когда минеральную поверхность заполнителей модифицировали солями поливалентных металлов. Для модифицирования поверхности гранита использовались *Al*, *Fe*, *Mg* и др. Для оценки эффективности модифицирования поверхности гранитного щебня были проведены следующие экспериментальные исследования – щебень фракций 5-10 РУПП «Гранит» обрабатывали водными растворами солей $FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3 + FeCl_3$, $MgSiF_6$. После обработки щебень высушивался в естественных условиях, а затем его применяли в качестве заполнителя для бетонных смесей. [4]

Все приведенные нами способы получения щебня с повышенными сцепными качествами производились на заводах по добыче и переработке горных пород. Но, как известно, при долгом хранении материала в складских помещениях на поверхности щебня могут образовываться пылевидные и другие микрочастицы, которые не способствуют достижению поставленной цели. Альтернативой в данном случае может быть дробление гранита непосредственно на заводах-изготовителях строительных материалов в мобильных дробилках, с последующей промывкой готового щебня водой и обработкой поверхности растворами ПАВ.

Помимо привычных механических способов дробления широкое распространение получило электроимпульсное дробление, основанное на разрушении материала путем использования электрических разрядов, пробивающих находящиеся в жидкости зерна материала. Прохождение по траектории канала разряда через твердое тело обеспечивается использованием импульсов электрического напряжения определенной продолжительности и формы. Образующаяся при этом ударная волна вызывает растягивающие напряжения и разрывает тело. Экспериментальными исследованиями установлено существенное увеличение толщины и микротвердости контактной зоны минеральных заполнителей электроимпульсного дробления по

сравнению с заполнителями механического дробления. Так, у гранитного заполнителя электроимпульсного дробления микротвердость увеличивается в 1,1-1,2 раза при увеличении толщины контактной зоны 1,3-1,5 раза и составляет соответственно 10-30 мкм и 15-40 мкм. [5]

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Ю. Любимова, Э. Р. Пинус. Процессы кристаллизационного структурообразования в зоне контакта между заполнителем и вяжущим в цементном камне.
2. Ю. В. Чеховский. Понижение проницаемости бетона.
3. Шейкин А. Е. Структура и свойства цементных бетонов.
4. А. В. Бусел, Н. П. Матвейко. Коррозия и несиловые факторы разрушения дорожно-строительных материалов. Способы защиты.
5. Каляцкий И. И., Курец В. И., Цукерман В. А., Филькенштейн Г. А. Основы электроимпульсной дезинтеграции и перспективы ее применения в промышленности.

**Морозо- и солестойкость бетона,
подверженного механическим нагрузкам**

Насенник Д.А., Приходько В.В.

Научный руководитель – Бондарович А.И.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В процессе эксплуатации на территории Беларуси бетон дорожных и аэродромных покрытий, тротуаров и других зон благоустройства городов и поселений подвергается за зимний период года переходам через нулевую отметку около 100 и более раз, то есть воспринимает порядка 50 циклов попеременного замораживания-оттаивания. Применение в качестве противоморозных реагентов солей хлора формирует эксплуатационную среду, характеризующуюся комплексным агрессивным воздействием на бетон. Последнее «накладывается» на и без того сложный механизм разрушительного действия знакопеременных температур и усиливает его деструктивный эффект.

Развитие теории морозостойкости бетона характеризуется множеством гипотез о причинах и механизме разрушения бетона при совместном действии на него воды и мороза, начиная с классического физического воздействия давления воды, замерзающей в его порах. Роль расширения воды при замерзании учитывается и в современных гипотезах, но само по себе это физическое явление не может полностью объяснить процесс разрушения бетона. В этой связи большое значение для развития теории морозостойкости бетона имеют выполненные в период 30-60-х годов XX века работы, по существу сформировавшие современные представления о причинах и механизме морозной деструкции бетона и технологических мероприятиях для повышения его долговечности.

Обобщая разнообразные гипотезы, включая основы теории миграции влаги в пористых телах, констатируем, что механизм нарушения структуры бетона, подвергаемого попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии, чрезвычайно сложен. Он представляет собой сочетание деструктивных факторов,

включая давление льда при кристаллизации свободной воды; гидродинамику ее перемещения (миграции) под влиянием градиента тепла и влагосодержания (термовлагопроводности); гидростатическое давление защемленной в тупиковых порах и дефектах структуры жидкости; напряжения, возникающие от разницы температурных деформаций составляющих бетона и цементного камня (на макро- и микроуровне в контактных зонах); усталостные (постепенно увеличивающиеся) дефекты структуры от многократно повторяющихся знакопеременных деформаций; понижение со временем концентрации растворенных в «поровой» жидкости продуктов гидролиза цемента, как за счет образования нерастворимых гидрокристаллов (отражение продолжающейся реакции цемента с водой), так и из-за «подсоса» жидкости развивающимися дефектами структуры в период оттаивания образцов, что увеличивает содержание свободной воды в объеме бетона, и др. В случае использования хлористых солей-антиобледенителей или испытательных солевых растворов действие означенных факторов на бетон дополняется следующим. Во-первых, кристаллизационным давлением накопившейся соли, образовавшейся после пересыщения ее раствора в малых по объемам дефектах структуры цементного камня, в зоне контакта составляющих бетона и микротрещинах зерен заполнителя. При этом механизм образования и увеличения дефектов структуры может проявиться как за счет роста кристаллов соли, так и за счет «обжатия» их, например, прослойкой (оболочкой) цементного камня при «отрицательных» деформациях в период охлаждения бетона. Возникающие при этом растягивающие усилия в цементном камне, вызывают появление в нем трещин. Во-вторых, усилением процесса миграции воды и ростом влагоемкости бетона, в объеме пор которого накапливается соль. Соответственно возрастает, в сравнении с водой, эффект раскливающего действия в устье трещин (дефектов) тонких пленок жидкости-раствора. В-третьих, возникает напряженное состояние на уровне микроструктуры цементного камня из-за локальных микроэффектов градиента температур (эндокринный эффект), сопровождающих процесс «очагового» растворения – кристаллизации соли.

Цель экспериментов заключалась в выявлении закономерностей изменения свойств бетона под комплексным воздействием циклического замораживания-оттаивания (насыщения в растворе NaCl –

высушивания) и механических нагрузок (статических и динамических). С учетом того, что продолжительное воздействие этих агрессивных по отношению к бетону факторов должно в какой-то момент привести к нарушениям его структуры, отслеживали изменение скорости прохождения ультразвукового импульса во взаимосвязи с изменяющимися свойствами бетона: прочностью, изменениями массы, проницаемостью.

Исследования осуществили на трех партиях образцов. Для первой партии циклическое замораживание-оттаивание вели по 3-му методу ГОСТ 10060 как для дорожного бетона с охлаждением образцов (70x70x70 мм) до $-(50...55)^{\circ}\text{C}$ и оттаивание при $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ в жидкости, но вместо 5% водного раствора NaCl в емкостях использовали водопроводную воду. На этом этапе исследований исключили влияние солевого воздействия на бетон.

Вторую партию образцов циклически насыщали в 5 % растворе NaCl (температура $\sim 15...18^{\circ}\text{C}$) в течение 16 ч с последующим высушиванием в сушильном шкафу при температуре $\sim 60^{\circ}\text{C}$ в течение 7...8 ч. Условия эксперимента были ужесточены тем, что разогретые при высушивании образцы бетона помещали в раствор соли без предварительного охлаждения на воздухе.

Третью партию образцов бетона подвергали стандартным испытаниям замораживанием-оттаиванием по 3-му методу ГОСТ 10060-95 при температуре $-(50...55)^{\circ}\text{C}$ в 5 % - ом растворе NaCl.

Статическую механическую нагрузку на образцы бетона имитировали загрузкой их после оттаивания (через каждые 5 циклов замораживания-оттаивания) под прессом с усилием примерно до 20; 30; 50 и 70 % от прочности бетона в проектном возрасте (28 сут.), а при испытаниях на солестойкость – с такой же периодичностью и усилиями, но после насыщения в растворе соли.

Динамическую (ударную, сосредоточенную) механическую нагрузку на оттаявшие (насыщенные в растворе соли) образцы бетона имитировали 10-ю ударами копра – плотномера динамического (СТБ 1242; масса груза $\sim 2,5$ кг; высота падения – 300 мм; точка касания – острое конуса с углом при вершине 60 град.) по одной из их поверхностей через каждые 5 циклов замораживания-оттаивания (насыщения-высушивания).

Для получения сравнительных характеристик в каждой партии образцов бетона имелись контрольные, которые подвергали циклическому замораживанию-оттаиванию (насыщению-высушиванию) без дополнительного воздействия механических нагрузок.

По результатам испытаний были построены графики (рис. 1, 2), которые отражают тенденция изменения прочности и скорости ультразвука контрольных и основных образцов бетона

Анализ данных испытаний бетона на морозостойкость в «среде-воде» и в растворе свидетельствует, что для контрольных образцов (отсутствует механическая нагрузка) сохраняется общая закономерность некоторого роста прочности бетона на начальном этапе испытаний до 30...35 циклов в воде и до 10...20 циклов в растворе соли. Затем прочность бетона закономерно снижается при более высоком темпе для испытаний в солевом растворе. Если оценить эти изменения по количеству циклов, то получается, что влияние солевого раствора проявляется, примерно, в 2...3-х кратном ускорении процесса деструкции (по началу снижения прочности) бетона.

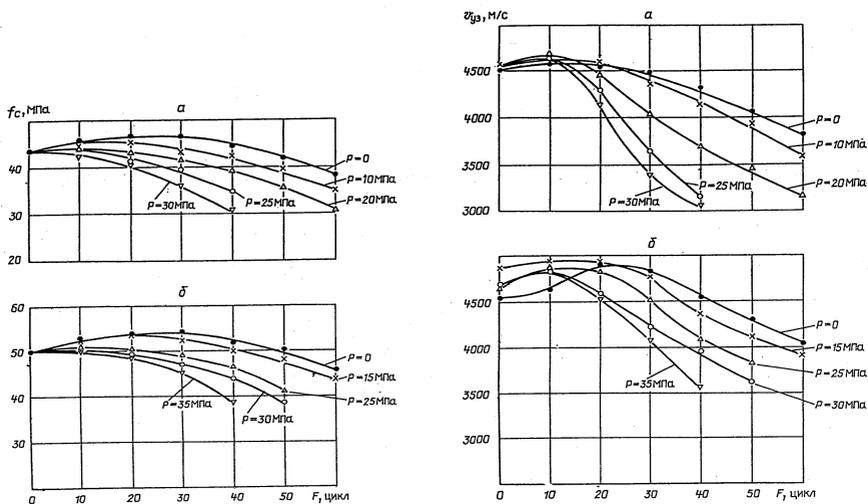


Рис 1. Тенденция изменения прочности и скорости ультразвука контрольных ($P=0$) и основных образцов мелкозернистого бетона (а) и бетона со щебнем (б) под воздействием циклического замораживания-оттаивания в «среде-воде» при $t = -(50...55)^\circ\text{C}$ и статической механической нагрузки

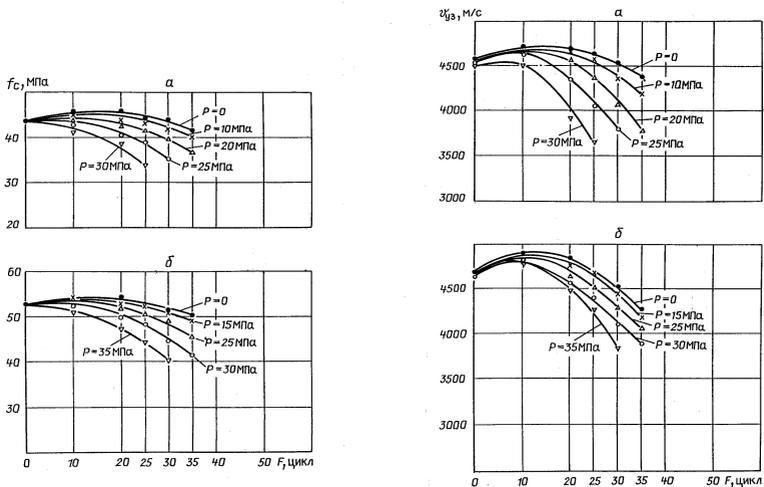


Рис 2. Тенденция изменения прочности и скорости ультразвука контрольных ($P=0$) и основных образцов мелкозернистого бетона (а) и бетона со щебнем (б) под воздействием циклического замораживания-оттаивания в растворе соли при $t = -(50...55) ^\circ\text{C}$ и статической механической нагрузки

Сопоставление данных воздействия на бетон эффектов «размораживания» и солевой коррозии в сочетании с механическими нагрузками показывает следующее.

Если статически приложенная нагрузка не превышает 40 % от проектной прочности бетона (уровень нижней границы трещинообразования), то при циклических испытаниях на морозостойкость (как в «среде-воде», так и в растворе соли) изменения в прочности бетона практически одинаковы для контрольных и нагружаемых образцов.

С ростом нагрузки до 50...60 % от проектной (в экспериментах до 20...25 МПа для мелкозернистого и до 25...30 МПа для бетона со щебнем), процесс его деструкции при циклических испытаниях на морозостойкость активизируется. В случае, когда механические нагрузки достигают уровня 65...75 % от проектной прочности бетона, т.е. соответствующего или превышающего верхнюю границу его трещинообразования (в экспериментах равнялась ~ 30 МПа для

мелкозернистого и ~ 35 МПа для бетона со щебнем), процесс деструкции и снижения прочности бетона прогрессирует уже после 10...20 циклов замораживания-оттаивания (при ускоренном развитии процесса в растворе соли). Это связано с тем, что означенный уровень нагрузки приводит к образованию в объеме бетона «необратимо» раскрытых трещин, не исчезающих после снятия нагрузки. Они проницаемы для воды и растворенной в ней соли, что (в сочетании с разрушающими факторами циклического замораживания-оттаивания) приводит к ускоренной деструкции бетона и резкому снижению его прочности.

При испытаниях в солевом растворе подтверждено, что отрицательный эффект от ударных сосредоточенных динамических нагрузок соответствует уровню воздействия на бетон статических нагрузок, превышающих верхнюю границу его трещинообразования, включая снижение в 2...3 раза износостойчивости образцов бетона.

Выявленные по результатам исследований закономерности позволяют понять причины ускоренной деструкции бетона, подверженного в процессе эксплуатации комплексному воздействию среды, усиленному механическими нагрузками. Обобщение полученных данных дает основание для назначения предельных уровней нагрузок на бетон разнообразных покрытий, а также для установления требований к прочности бетона при их проектировании с учетом условий эксплуатации. Взаимосвязь изменений скорости ультразвука, отражающих изменения структуры бетона в процессе эксплуатации, создает необходимые предпосылки для разработки методики оперативного контроля (оценки) состояния и прогнозирования долговечности бетона покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965.- 195 с.
2. Дементьев Г.К. Условие долговечности бетона и железобетона. – Куйбышев: Куйбышевское книгоиздат, 1955.- 120 с.

Бетоны для защиты от радиоактивного излучения

Новицкий Н.Д., Юшин Л.Н.

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

В связи с развитием ядерной энергетики и все более широким использованием атомной энергии в научных исследованиях, промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении необходимо обеспечить защиту обслуживающего персонала и окружающей территории от опасных радиоактивных воздействий.

Естественные радиоактивные вещества и искусственно получаемые радиоактивные изотопы воздействуют на живую ткань посредством испускаемых ими при распаде α -, β -, γ - лучей и нейтронов. α -лучи (потоки ядер гелия) и β -лучи (потоки электронов) обладают сравнительно небольшой проникающей способностью. Значительно опаснее γ -лучи, представляющие собой поток фотонов, и нейтронное излучение. γ -лучи имеют скорость света и обладают большой проникающей способностью. Закон ослабления γ -излучения, проходящего через вещество, состоит в следующем: при последовательном увеличении толщины слоя вещества на одну и ту же величину интенсивность излучения уменьшается в одном и том же определенном отношении. Так называемый слой половинного ослабления уменьшает интенсивность излучения в 2 раза. Два таких слоя ослабят излучение в 4 раза, и каждый последующий слой будет дополнительно ослаблять излучение вдвое. Исходя из этого (с учетом некоторых других факторов) рассчитывается толщина защитного ограждения, необходимая для ослабления излучения до допустимой нормами интенсивности. Толщина слоя половинного ослабления γ -излучения зависит от плотности вещества-поглотителя: чем тяжелее материал, тем меньше толщина ограждения.

Незаряженные частицы нейтроны также обладают большой проникающей способностью. Не взаимодействуя с заряженными частицами атомов на расстоянии (как α - и β - частицы), они замедляются только при соударениях. Наибольший эффект поглощения

энергии нейтронов имеет место при соударении их с частицами близкой к ним массы, например с ядрами водорода – протонами. В этом случае энергия нейтрона распределяется примерно поровну между двумя столкнувшимися частицами, т. е. нейтрон при каждом соударении значительно тормозится. При соударении с тяжелыми ядрами нейтрон отражается при сравнительно малой потере скорости. Поэтому в отличие от излучения наибольшее замедление нейтронов имеет место в веществах, содержащих легкие элементы, особенно водород. Веществом-замедлителем может служить, в частности, вода.

Материал	Плотность материала, г/см ³	Толщина слоя половинного ослабления, см		
		от проникающей радиации	от радиоактивного заражения	от нейтронов
Вода	1,0	23,1	13,0	2,7
Древесина	0,7	33,0	18,5	9,7
Стекло	1,6	14,4	8,1	11,6
Бетон	2,3	10,0	5,7	12,0
Сталь	7,8	3,0	1,7	11,5
Свинец	11,3	2,0	1,2	12,0
Лёд	0,9	26,0	14,5	2,7

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

В качестве основного вяжущего для защитных бетонов и растворов используют портландцемент. [1-7] Сложные цементы, эффективные в качестве защиты от нейтронов всех энергетических групп и реакторного γ -излучения, могут быть изготовлены с использованием свинца, например, свинцово-бариевый и железо-свинцово-бариевый цементы. Изделия на основе этих цементов могут эксплуатироваться при температуре 550°C. [1; 2; 6] Свинцовый порошок в виде добавки вводят в состав вяжущего, представляющего собой

соединение редкоземельных элементов, в частности карбонатов гадолиния. Из него изготавливают экраны и плиты биологической защиты; прочность вяжущего в возрасте 48 часов близка к прочности гипса и портландцемента.

Важной составной частью бетона являются заполнители. Они образуют жёсткий скелет, который омоноличивается с помощью цементного камня в искусственную породу. [8; 9]

На сплошность контакта цементного теста и камня с поверхностью крупного заполнителя существенно влияют водоцементное отношение (В/Ц), а также размеры и форма заполнителей. При повышенных значениях В/Ц за счёт водоотделения при виброуплотнении, седиментации цемента и последующей контракции под зерном крупного заполнителя образуются пустоты и ослабленные зоны с пониженной объёмной концентрацией, как исходного цемента, так и гидратных новообразований, возникающих при последующем твердении. При чрезмерно высоких значениях В/Ц возможно расслоение бетонной смеси и возникновение ослабленных зон и пустот также и над зёрнами крупного заполнителя. На графике показана зависимость прочности бетонов, приготовленных на растворах прочностью свыше 20 МПа, от В/Ц. [6]

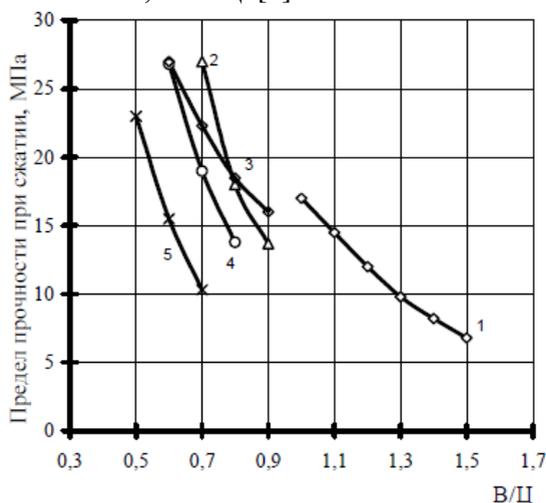


Рис. 1. Зависимость прочности бетона на разных заполнителях от В/Ц:
1 - барит; 2 - магнетит; 3 - чугунный скрап; 4 - кварцевый песок;
5 – лимонит

Как видно из графика, увеличение прочности заполнителей приводит к повышению прочности бетона. Причём у всех бетонов на указанных заполнителях, кроме баритового, происходит значительное изменение прочности в небольшом интервале изменения В/Ц. [6]

Исследование действия нейтронного излучения на различные виды заполнителей показало, что поток нейтронов может вызывать в облучаемом материале образование дефектов кристаллической решётки, частичный или полный переход одной полиморфной модификации в другую, аморфизацию кристаллических веществ. Эти структурные изменения могут проявляться в неизотропной линейной деформации образцов (до 6-7%), увеличении объёма (до 18 %), уменьшении плотности (до 15 %). [6; 7]

С увеличением температуры облучения степень радиационного изменения свойств бетона уменьшается вследствие преимущественного отжига дефектов в минералах при облучении. Наиболее значительно влияние температуры у силикатных пород (магматических и осадочных); увеличение температуры облучения с 40 до 100, 200 и 270°C эквивалентно уменьшению флюенса нейтронов соответственно в 3-5, 5-8, 10-20 раз. Влияние температуры на радиационное изменение карбонатных пород и руд в диапазоне 40-270 °C малозаметно, что позволяет судить о том, что более предпочтительными заполнителями для бетона защиты реакторов АЭС являются карбонатные, основные и ультраосновные магматические породы и руды. [1; 2; 5; 6; 7]

Для повышения радиационной стойкости целесообразно применение литых бетонов и растворов с большой подвижностью и повышенным расходом цемента, так как с увеличением объёма цементного камня в растворе и бетоне при облучении в них преобладают положительные структурные изменения, что повышает прочность и модуль деформаций после облучения; повышению радиационной стойкости системы «бетон-раствор» на радиационно-деформативных заполнителях способствует также снижение крупности заполнителя.

Эффективность поглощения γ -излучения у особотяжёлых бетонов в 1,5 раза выше, чем у обычных, но они дороже в 3-4 раза. Под действием нейтронов в таких бетонах возникает вторичное γ -излучение с высокой энергией, поэтому появляется необходимость

в дополнительной защите или увеличении существующей на 18-20%.

Для улучшения защитных свойств бетонов и растворов рекомендуется вводить в их состав добавки – соли стеариновой и других жирных кислот в количестве 2,5-3,5 % (в частности, соединения свинца, висмута, вольфрама, циркония, железа, олова, кадмия, лития, бария). Такие добавки повышают защитные свойства бетонов по отношению к нейтронному и γ -излучению. [1; 2; 5]

Значительно улучшает защитные свойства бетона наличие в составе портландцемента бария. Например, слой обычного цементного камня толщиной 10 мм снижает интенсивность потока γ -квантов в 1,52 раза, слой цементного камня с 30% ВаО – в 2 раза, а такой же слой свинца – в 2,65 раза. Моноалюминат бария обладает высокими огнеупорными свойствами и в то же время является воздушным вяжущим веществом. Добавление сульфата кальция придаёт ему гидрофильность, что обуславливает рост прочности цемента при водном твердении. [1]

Для повышения вероятности захвата медленных и тепловых нейтронов (без образования жёсткого γ -излучения захвата) в бетон иногда добавляют соединения бора, например колеманит, датолит, борокальцит.

Бор является эффективным поглотителем нейтронов. Введение его в бетон приводит к уменьшению средней энергии, выделяющейся при захвате нейтронов, более чем в 2 раза и, как следствие, к снижению тепловыделения и перераспределению его по толщине.

Самым выгодным из борсодержащих руд является колеманит, так как он сравнительно дешев и содержит 30 % B_2O_3 и большое количество кристаллизационной воды.

Рекомендуется также добавлять в бетон размолотое стекло пикрес, содержащее 8-12 % оксида бора (B_2O_3).

Свойства радиационно-защитных бетонов зависят от вида компонентов, применяемых для их изготовления. Как правило, в названии бетона используется название горной породы заполнителя.

Анализ данных, приведённых в литературе [1-6], позволяет сделать вывод о том, что бетоны и растворы на основе тяжёлых заполнителей из железных руд, хромита, барита, серпентинита обладают достаточно хорошей радиационной стойкостью. Эти бетоны спо-

собны без существенного ухудшения строительно-технических свойств выдерживать длительное действие радиации с интегральным потоком нейтронов до $5 \cdot 10^{24}$ н/м² при рабочих температурах до 500°С. При локальных перегревах такие бетоны устойчивы до 1100°С, хотя и теряют до 70% исходной прочности. Содержание связанной воды после сушки (Т=110°С) – 2-3%, после нагрева до 500°С – 1-1,5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаровский А.Н., Защитные свойства строительных материалов/ А.Н. Комаровский. – М.: Атомиздат, 1971. – 238с.
2. Рояк С.М. Специальные цементы/ С.М. Рояк, Г.С. Рояк. – М.: Стройиздат, 1993.
3. Прошин А.П., Строительные растворы и бетоны для защиты от радиации/ А.П. Прошин, Е.В. Королёв, В.С. Демьянова, П.Г. Комохов. – Пенза: ПГУСА, 2005.
4. Гордон С.С. Структура и свойства тяжёлых бетонов на различных заполнителях/ С.С. Гордон. – М.: Стройиздат, 1969.
5. Дубровский В.Б. Строительные материалы и конструкции защиты от ионизирующих излучений/ В.Б. Дубровский, З. Аблевич. – М.: Стройиздат, 1983.
6. Королев Е.В., Методика и алгоритм синтеза радиационнозащитных материалов нового поколения./ Е.В. Королев, А.П. Самошин, В.А. Смирнов, О.В. Королева, А.П. Гришина – Пенза, ПГУАС, 2009. – 130с.
7. Дубровский В.Б., Строительство атомных электростанций/ В.Б. Дубровский, П.А. Лавданский, И.А. Енговатов – М., Издательство АСВ, 2006 – 332с.
8. Бетон. Том II./ Справочник под ред. П.Г. Комохова. – СПб.: НПО Профессионал. – 2009.
9. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение: учебное пособие для строит. спец. вузов/ И.А. Рыбьев. – М.: Высшая школа, 2002.

УДК 666.973.6

Теоретические предпосылки защиты ячеистобетонных изделий гидрофобизирующими составами

Петроневиц Д.А.

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

Большая часть ячеистобетонных изделий предназначена для использования в ограждающих конструкциях зданий, для сооружения наружных стен и покрытий. [1, 2] Опыт их эксплуатации показывает, что проникающая во внутренние слои влага ускоряет процессы деструкции материала под влиянием атмосферных воздействий. Предотвратить влагонакопление или не допустить вообще проникание влаги в конструкцию можно путем придания ей свойств водонепроницаемости, водостойкости и гидрофобности.

Принципиальное различие этих понятий в следующем.

Водонепроницаемость – способность материала с развитой микро- и макропористостью препятствовать прониканию через него жидкой и парообразной влаги.

Водостойкость – способность материала сохранять свою прочность при увлажнении, характеризуется коэффициентом размягчения КР, который рассчитывается:

$$КР = R_{нас}/R_{сух} ,$$

где $R_{нас}$ – прочность материала в насыщенном водой состоянии, $R_{сух}$ – прочность материала в сухом состоянии.

Это и нерастворимость материала в воде, являющейся активным полярным растворителем, который может при длительном контакте растворять некоторые водонепроницаемые материалы.

Гидрофобность (водоотталкивание) – способность материала не смачиваться водой, проиллюстрированная на рис.1. Эксплуатационные качества ячеистобетонных панелей в значительной степени зависят от их влажностного состояния на сорбционной стадии. Поэтому задача совершенствования эксплуатационных качеств яче-

истого бетона сочетается с задачами улучшения его влажностных характеристик и влажностного режима ограждений в целом.

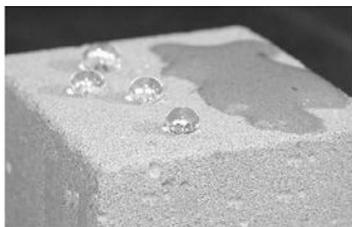


Рис. 1 Характер распределения воды при увлажнении ячеистого бетонного образца, левая часть которого обработана гидрофобизирующим составом

Повышение атмосферостойкости ячеистого бетона может осуществляться *конструктивными* и *технологическими* способами. Конструктивные способы призваны препятствовать увлажнению поверхности стен и внутренних слоев ограждения. Они состоят из мероприятий по водоотводу (защитные козырьки, отливы, обделки и др.), герметизации стыков элементов ограждения (стен, оконных заполнений) и влагозащитных покрытий (наружные защитно-декоративные и внутренние пароизоляционные).

По методам водоотвода накоплен большой опыт, однако применяемые в массовом строительстве решения не обладают требуемой надежностью. Неудовлетворительный водоотвод – одна из основных причин увлажнения панелей стен. Обеспечение надежности герметизации стыков – актуальная проблема современного панельного строительства, так как существующие решения не обеспечивают полную влагозащиту внутренних слоев панелей, поскольку стык образован их водонепроницаемыми торцовыми гранями.

Нанесение защитных покрытий изменяет механизм взаимодействия стеновых ограждений с жидкой влагой и влажной средой. В зависимости от условий эксплуатации влагозащитные покрытия выполняют с обеих или с одной стороны (наружной и внутренней). Для стен, работающих в агрессивных и влажных средах, эффективны трещиностойкие защитные покрытия на основе битумных материалов, латексов и искусственных каучуков, полимеризационных и поликонденсационных композиций, которые полностью влаго- и пароизолируют конструкцию. Паропроницаемые защитно-декоративные покрытия, в самой идее которых заложено требова-

ние обеспечения паропроницаемости и водонепроницаемости, широко применяют для отделки поверхностей стен зданий.

Исследования [3] показывают, что повышение паропроницаемости отделок может быть достигнуто за счет уменьшения коэффициента их заполнения до значений $K = 1 - S_{\text{шв}} = 0,60 \dots 0,65$ ($S_{\text{шв}}$ – доля поверхности, приходящаяся на площадь швов между плитами или дробленным материалом). В частности, для отделок из ковровой стекломозаики увеличение швов от 3 до 6 мм повышает паропроницаемость в 1,5 раза и обеспечивает требования [2], регламентирующие сопротивление слоя наружу от зоны конденсации не более чем на 30% этой величины для внутреннего слоя.

Однако с ростом ширины швов резко повышается водопроницаемость поверхности панели. Гидрофобные покрытия из кремнийорганических полимеров, рассмотренные ниже, разрешают противоречия требований к паропроницаемости и водонепроницаемости. Технологические методы улучшения влажностного режима ограждений оценивают по следующим признакам: снижение технологической и построечной влажности, совершенствование структурных характеристик материала.

Технология приготовления сырьевой смеси для изготовления стеновых панелей из ячеистого бетона требует введения в неё такого количества воды, которое в 3-5 раз превышает количество воды, необходимое для гидратации вяжущего. Частичное удаление этой влаги происходит в процессе тепловлажностной обработки панелей. Применение рациональных режимов автоклавирования (продувка сухим воздухом и вакуумирование автоклава) позволяет довести послеавтоклавную влажность ячеистого бетона до 10% против 20-22% при обычных режимах обработки [3]. Однако в процессе последующей заводской отделки панелей их влажность возрастает на 3-7% и дополнительно увеличивается на 5-15%. Построечную влажность можно уменьшить посредством монтажа «с колес», сокращения сроков монтажа здания и исключения мокрых процессов отделки.

Эффективный способ снижения построечной влажности – поверхностная гидрофобизация панелей, хранящихся на открытых заводских или приобъектных складах. В эксплуатационный период величина равновесной влажности их материала определяется его структурой и гидрофильностью стенок пор и капилляров. Улучше-

ние дифференцированной пористости ячеистого бетона исследовано в работе [3], где обоснована эффективность создания двухмодальной структуры пористости, т.е. состоящей из макропор ($r > 10^{-5}$ м), микропор ($r < 10^{-7}$ м) и не содержащей мезопор ($r = 10^{-5} \div 10^{-7}$ м). Такая структура создается путем использования фракционированного порообразователя, а также виброотжимным вспучиванием ячеистобетонной массы и обеспечивает минимальную сорбционную влажность.

Термины гидрофильность и гидрофобность, распространенные в практической терминологии, недостаточно точно передают характер взаимодействия воды с твердыми телами по сравнению с терминами смачиваемость и несмачиваемость. Смачиваемость характеризует процесс, происходящий при контакте поверхности твердого тела с жидкостью – образование новой поверхности раздела фаз (твердое тело – жидкость). На молекулярном уровне процессы, протекающие при смачивании, аналогичны физико-химическим процессам адсорбции и вызываются теми же силами межмолекулярного взаимодействия. По времени адсорбция может предшествовать смачиванию (если твердое тело находилось в парах смачивающей жидкости) либо протекать одновременно с ним.

В процессе смачивания имеет место как физическая, так и химическая адсорбция. При смачивании за счет свободной поверхностной энергии твердого тела совершается работа адгезии W_a по преодолению сил межмолекулярного взаимодействия в жидкости, величина которых характеризуется работой когезии W_K . С энергетической точки зрения основные случаи взаимодействия жидкости с твердым телом характеризуются следующими соотношениями работ адгезии и когезии: несмачивание ($W_a < 1/2 W_K$); ограниченное смачивание ($W_a > 1/2 W_K$); полное смачивание ($W_a < W_K$).

Для характеристики смачивания применяют также величину $B = \cos\theta$ (функцию краевого угла θ , образуемого поверхностью жидкости по периметру контакта с твердой поверхностью), связанную с адгезией-когезией уравнением $B = \cos\theta = (2W_a/W_K) - 1$. Используя меру смачивания B , качественная характеристика следующая:

$B = \cos\theta < 0$ ($\theta > 90^\circ$) – плохое смачивание, несмачивание;

$B = \cos\theta > 0$ ($0 > \theta > 90^\circ$) – ограниченное смачивание;

$B = \cos\theta = 1$ ($\theta = 0$) – полное смачивание;

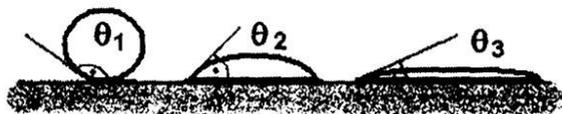


Рис.2 Краевой угол смачивания

Значение $B = \cos\theta = 0$ ($\theta = 90^\circ$) характеризует точку инверсии смачивания (точка, при которой гидрофильная поверхность, адсорбируя поверхностно-активное вещество, становится гидрофобной, т. е. отвечающей краевому углу в 90°).

Идея гидрофобизации базируется на различной величине работы адгезии по отношению к воде, характерной для разных материалов. Нанесение на смачиваемую поверхность вещества, нейтрализующего ее активные центры и уменьшающего свободную поверхностную энергию, приводит к снижению работы адгезии и инверсии смачивания. Гидрофобизаторы – это вещества, которые, адсорбируясь в результате физической или химической адсорбции поверхностью твердого тела, уменьшают ее смачиваемость водой. Адсорбция молекул гидрофобизатора может изменять и другие эксплуатационные и физико-технические характеристики обрабатываемого материала: цвет и фактуру поверхности, способность к адсорбции ею частиц пыли, паро- и воздухопроницаемость материала, а также повышать его эксплуатационную прочность, морозостойкость и химическую стойкость. Органические гидрофобизаторы могут связываться с поверхностью обрабатываемого материала в результате физических процессов (парафин, петролатум, битум и др.) или химического (например, мылонафт, образующий при реакции с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ нафтены кальция) взаимодействия. При перенасыщении пор материала плохо связываемым физически адсорбируемым гидрофобизатором последний с повышением температуры может вытекать из пор [3] и его нужно вводить в материал в количествах, исключающих перенасыщение им порового пространства.

Хемосорбируемые (хемосорбция – процесс адсорбции, при котором адсорбируемое вещество вступает в химическое взаимодействие с адсорбирующим веществом) покрытия, обладающие большей гидрофобностью ($\theta=160^\circ$), чем покрытия физически адсорби-

руемых гидрофобизаторов (парафин $\theta=105^\circ$), и поэтому более эффективны. Органические гидрофобизаторы имеют большие размеры макромолекул (расплавленные битум 1000-2000 А^о, парафин 800-900 А^о), которые кольматируют поры материала и уменьшают его водо-, паро- и воздухопроницаемость. Их применение целесообразно в случае необходимости устройства гидро- и пароизоляционного покрытия и для обработки внутренних поверхностей панелей стен зданий с влажным режимом помещений.

При нанесении органических гидрофобизаторов на поверхность материала (битумно-петролатумные, стирольные и др. составы) изменяются его декоративные качества, поэтому поверхность изделий необходимо покрывать декоративным слоем. Низкая паропроницаемость материалов, обработанных органическими гидрофобизаторами, ограничивает их использование для отделки наружных поверхностей панели, так как приводит к влагонакоплению под поверхностным слоем в результате затруднения воздухообмена с наружным воздухом.

В отличие от органических кремнийорганические гидрофобизаторы не кольматируют поры материала, а создают на их поверхности тонкий слой сорбированных молекул, что приводит к инверсии смачивания. При этом капиллярные силы изменяют свое направление и обеспечивают водонепроницаемость материала, а для диффузии водяного пара препятствия не создаются. Основное преимущество кремнийорганических гидрофобизаторов состоит в том, что в процессе хемосорбции происходит сшивание силоксановых цепей и образование сплошной высокомолекулярной пленки полимера на поверхности, прочно связанной с ней и имеющей гидрофобные углеродородные радикалы, расположенные снаружи. Кремнийорганические вещества образуют моно- и полимолекулярные пленки.

Важная особенность кремнийорганических гидрофобизаторов – способность полимолекулярных пленок к разворачиванию в мономолекулярные при образовании новых свободных поверхностей в материале вследствие трещинообразования в поверхностных слоях ограждающих конструкций. Поэтому гидрофобные кремнийорганические покрытия способны к «самозалечиванию» в процессе эксплуатации.

Исследование химической стойкости кремнийорганических полимерных пленок свидетельствует об их высокой сопротивляемости

действию химических реагентов. В условиях эксплуатации кремнийорганические гидрофобные покрытия подвергаются интенсивному влиянию атмосферных факторов, в результате чего происходит их термоокислительная и фотохимическая деструкция. Кроме того, на поверхности гидрофобной пленки адсорбируются посторонние гидрофильные частицы, наблюдается ветровая эрозия покрытия. Это приводит к гидрофилизации поверхности гидрофобных пленок в течение 5-6 лет эксплуатации [3]. Однако гидрофобные пленки, защищенные от непосредственного воздействия указанных факторов, не изменяют своих гидрофобных свойств, а в отдельных случаях даже увеличивают угол смачивания. Поэтому глубинная гидрофобизация внутренней поверхности пор и капилляров материала позволяет значительно повысить долговечность гидрофобных покрытий на основе кремнийорганических полимеров.

Гидрофобные пленки кремнийорганических полимеров бесцветны и при нанесении их на материалы последние не изменяют своих декоративных качеств, как это имеет место с органическими гидрофобизаторами, причем установлено увеличение цветостойкости материалов, покрытых кремнийорганическими пленками гидрофобизаторов.

Эффективность гидрофобизации кремнийорганическими полимерами возрастает при учете химического состава ячеистого бетона. Наиболее доступны органилсиликонаты натрия: этилсиликонат ГКЖ-10, метилсиликонат ГКЖ-11. [4] Однако они менее эффективны из-за своей сильной щелочности (рН до 13) для гидрофобизации материалов щелочного характера, к которым относится газосиликат.

Для газосиликата наиболее пригодны полиорганилгидросилоксаны и полиорганилсилоксанола. Они хорошо растворяются в органических растворителях (бензол, толуол) и не растворяются в воде и низших спиртах. При применении растворов полиорганилгидросилоксанов и полиорганилсилоксанов в органических растворителях для гидрофобизации крупногабаритных изделий необходимо сложное технологическое оборудование, чтобы удалять вредные испарения растворителя. Промышленность выпускает устойчивые (50%) эмульсии кремнийорганических гидрофобизаторов.

Из полиорганилгидросилоксанов широко распространена полиэтилгидросилоксановая жидкость $(C_2H_5SiOH)_n$ ГКЖ-94 [4], которая является универсальным гидрофобизатором и пригодна для обработки большинства строительных материалов, наиболее атмосферостойка и химически стойка среди кремнийорганических гидрофобизаторов. Наличие в полиэтилгидросилоксановой жидкости ГКЖ-94 активного водорода (1,3-1,42%) определяет её способность реагировать с гидроксильными группами гидро- и алюмосиликатов кальция и эффективно гидрофобизировать газосиликат. [3]

Сейчас же все более широко используются в промышленности такие гидрофобизаторы как «Типром-М», «Интераквил», «Гидроизол», которые превосходят ГКЖ-10,11,94 по ряду показателей. [5]

Таким образом, гидрофобизация – сравнительно недорогой и быстрый способ придания водоотталкивающих свойств ячеистобетонной поверхности. Она может проводиться с помощью специальных распылителей, но может и выполняться вручную. Однако эффективность данного метода для ячеистых бетонов малой плотности ($\rho_0 \leq 500 \text{ кг/м}^3$) требует еще дополнительного изучения. [5]

ЛИТЕРАТУРА:

1. Инструкция по изготовлению изделий из ячеистого бетона: СН 277-80. – М.: Стройиздат, 1981. – 41с.
2. Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления. ТКП 45-5.03-137-2009 (02250); МАиСРБ – Мн. 2010.-38с.
3. А.Ф. Гаевой, Б.А. Качура. Качество и долговечность ограждающих конструкций из ячеистого бетона. Харьков. 1978г. – 210с.
4. ГОСТ 24211. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. М. Стандартинформ, 2010г. – 17с.
5. Кузнецов Д.В. Методы защиты наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков. Дис. канд. тех. наук. Уфа, 2006. – 153с.

**Изделия из пористых бетонов для энергоэффективного
промышленного и гражданского строительства**

Хожовец Е.Б.

Научный руководитель – Опекунов В.В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Целью данной работы является научно-технический анализ существующих технологий производства изделий из пористых бетонов и выработка технических предложений и рекомендаций по рациональному их применению в различных видах строительства.

Объект исследований – изделия из пористых бетонов для энергоэффективного промышленного и гражданского строительства. Предмет исследований – изделия из ячеистых и других пористых бетонов.

Научно-техническая политика в области строительства, проводимая в РБ, включает переход на конструктивные схемы (системы) энергоэффективных объектов, которые предполагают массовое использование изделий из пористых бетонов. В нормативных документах стран СНГ нет определения пористых бетонов. Предлагается ввести следующее определение: пористыми бетонами называются бетоны с общей пористостью не менее 50 %. В РБ производят пористые бетоны в основном в виде различных ячеистых бетонов. Установившиеся термины в области ячеистых бетонов на основе различных вяжущих систем приняты в СТБ 1570 «Бетоны ячеистые. ТУ».

Виды основных пористых бетонов, производимых в СНГ:

1) Автоклавный ячеистый бетон на основе активированного механо-химическим способом микрозаполнителя моносо состава и неактивированного алюминиевого газообразователя (доля в объеме производства > 56 %).

2) Автоклавный ячеистый бетон на основе активированного механо-химическим способом микрозаполнителя моносо состава и активированного алюминиевого газообразователя.

3) Автоклавный ячеистый бетон с поверхностной гидрофобизацией.

4) Неавтоклавный цементный ячеистый бетон на основе неактивированного микрозаполнителя моносоостава.

5) Неавтоклавный цементный ячеистый бетон на основе микрозаполнителя моносоостава, активированного механо-химическим способом.

6) Неавтоклавный цементный ячеистый бетон с поверхностной гидрофобизацией.

7) Бетон на основе пористых заполнителей (пенополистирола, керамзита и т.п.) и плотной цементной вяжущей системы (доля в объеме производства < 25 %).

8) Бетон на основе пористых заполнителей и поризованной цементной вяжущей системы (доля в объеме производства < 10 %).

9) Негидрофобизированный перлитобетон, изготовленный путем перемешивания сухих компонентов.

10) Перлитобетон, изготовленный путем перемешивания сухих компонентов, с поверхностной гидрофобизацией.

11) Гипсобетон на основе пористых органических заполнителей (пенополистирола и т.п.).

12) Гипсобетон на основе пористых неорганических заполнителей.

13) Перлитогипсобетон.

14) Газо-, пеногипс.

15) Гипсобетон с волокнистым наполнителем, активированным механическим способом.

Изделия из ячеистых бетонов средней плотностью $\rho_0 \leq 800 \text{ кг/м}^3$ относят к теплоэффективным. Физико-технические свойства автоклавного ячеистого бетона позволяют применять его для устройства несущих и ограждающих конструкций в различных областях строительства. Благодаря своим качествам этот вид бетона наибольшее распространение получил в гражданском строительстве. При этом его используют в зданиях различной этажности, как с каркасными, так и стеновыми несущими системами. Из ячеистого бетона возводят несущие конструкции стен зданий высотой до 5 этажей включительно.

Основная номенклатура изделий из пористых бетонов:

- 1) Блоки стеновые (мелкие, крупные; марки по средней плотности D350-D1100; СТБ 1117);
- 2) Плиты покрытия/перекрытия (только армированные, обязательна защита от коррозии; $\rho_0=700-1000 \text{ кг/м}^3$; СТБ 1189);
- 3) Панели стеновые (для объектов гражданского и промышленного назначения $\rho_0 \geq 700 \text{ кг/м}^3$; СТБ 1185);
- 4) Плиты теплоизоляционные ($\rho_{\text{ср}} \leq 400 \text{ кг/м}^3$);
- 5) Плиты звукопоглощающие ($\rho_{\text{ср}} = 300-400 \text{ кг/м}^3$);
- 6) Лестничные марши (СТБ 1330-2002) и др.

В ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» установлены новые значения сопротивления теплопередаче (R_T) ограждающих конструкций.

Согласно ТКП 45-3.02-113-2009 «...системы утепления должны проектироваться с наружной (холодной) поверхности стены...».

В многоэтажном строительстве применяют, как правило, разнообразные конструктивные схемы объектов с самонесущими стенами. На рис. 1 представлено техническое решение, в котором блоки выдвинуты с образованием консольных выступов, между которыми размещают теплоизоляционный материал.

В настоящее время на стадии разработки находится аналогичное техническое решение самонесущей стены, позволяющее увеличить консольный выступ (вылет) блоков и повысить за счет этого качество верхнего узла сопряжения стены с плитой перекрытия.

Расчеты показывают, что заполнение увеличенного объема между консольными выступами теплоизоляционным материалом с теплопроводностью около $0,07 \text{ Вт/(мК)}$ толщиной, например, 180-200 мм обеспечивает необходимый уровень теплотехнической однородности стены по высоте здания.

Массовое применение в энергоэффективном строительстве стеновых и теплоизоляционных изделий из пористых бетонов отвечает директиве Президента РБ № 3 от 14 июля 2007 г. «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» и требованиям «Комплексной программы по проектированию, строительству и реконструкции энергоэффективных жилых домов в Республике Беларусь (РБ) на 2009-2010 гг. и на перспективу до 2020 г.».



Рис. 1 – Строящийся дом со стенами с консольными выступами

ЛИТЕРАТУРА

1. Опекунов, В.В. Пористые бетоны: моногр. / В.В. Опекунов. – Гродно: ГрГУ, 2011. – 193 с.
2. Опекунов, В.В. Основные физико-технические свойства ячеистых бетонов автоклавного твердения / В.В.Опекунов // Вопросы внедрения норм проектирования и стандартов европейского союза в области строительства : материалы науч.-метод. семинара, Минск, 29 мая 2012 г.: в 2 ч. / БНТУ; редкол.: В.Ф.Зверев [и др.]. – Минск, 2012. – Ч. 2. - С. 96-102.
3. Сажнев, Н.П. Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика / Н.П. Сажнев, Н.Н. Сажнев, Н.Н. Сажнева. – Минск: Стринко, 2010. – 460 с.
4. Галкин С.Л. Применение ячеистобетонных изделий. Теория и практика / С.Л. Галкин, Н.П. Сажнев, Л.В. Соколовский. – Минск: Стринко, 2006. – 448 с.

**Применение молотого гранитного отсева
в качестве минеральной добавки в бетон**

Якимович Г. Д.

Научный руководитель – Смоляков А. В.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Гранитный отсев – результат дробления гранитной породы на заполнители для бетона на РУПП «Гранит». Экспериментальные исследования влияния добавки гранитного отсева на свойства бетона показали, что введение гранитного отсева в качестве заполнителя вызывает ухудшение основных характеристик бетона: прочности, морозостойкости, защитных свойств по отношению к арматуре. Однако, была выявлена целесообразность замены части цемента тонкомолотым ($S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$) гранитным отсевом при испытании свойств цементного камня. Это вызвало необходимость выяснить влияние добавки молотого гранитного отсева на свойства бетона.

Для испытаний использовались пробы молотого гранитного отсева с $S_{уд} \sim 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ при дозировках 10%, 20% и 30% от массы цемента. Проводились испытания влияния на основные эксплуатационные характеристики: прочность, морозостойкость, водопоглощение, твердение в воде, коррозионная защита по отношению к арматуре.

Влияние на прочность бетона. Целью этих исследований было выявление оптимума и возможного допустимого количества вводимой минеральной добавки с позиций снижения прочности бетона.

Для проведения испытаний в качестве базовых были приняты основные составы бетона ОАО "Минскжелезобетон", которые внедряющей организацией не используются, но применяются в строительной отрасли Беларуси.

Методика проведения экспериментов включала приготовление бетонных смесей, определение осадки конуса, изготовление образцов-кубов с ребром 100 мм, твердение бетона в двух вариантах: при нормально-влажностных условиях и при пропаривании по режиму: предварительная выдержка – 2 ч; подъем температуры до $80...85^{\circ}\text{C}$

– 3 ч; изотермическая выдержка – 6 ч; остывание образцов в камере – 4 ч; остывание образцов после распалубки – 4 ч.

Нормальное твердение. Основным результатом этих экспериментов является подтверждение возможности введения до 20% молотого гранитного отсева в цемент без существенного снижения прочности бетона классов С12/15...С32/40.

Практически во всех случаях образцы бетона, приготовленного на цементе с содержанием добавки до 20%, обеспечили требуемую прочность, соответствующую заявленному классу.

Тепловлажностная обработка. Целью исследований являлось не только выявление закономерностей влияния вещества минеральной добавки на темп роста прочности бетона в условиях прогрева ($t \sim 80...85^{\circ}\text{C}$), но и возможное ее влияние на изменение прочности бетона в дальнейшем.

По результатам эксперимента можно сделать вывод о возможности введения в цемент 20% добавки молотого гранитного отсева без снижения проектной прочности пропаренного бетона и без снижения прочности непосредственно после пропаривания, что важно для производства преднапряженных железобетонных изделий и конструкций.

Следует констатировать несколько более высокий уровень относительной прочности образцов пропаренного бетона из жестких бетонных смесей сразу после прогрева (75...82%), в сравнении с бетоном из пластичных смесей (72...79%). В то же время, пропаренный бетон незначительно, но "недобирает" прочности к проектному возрасту, в сопоставлении с данными для образцов нормально-влажностного твердения. Это известное в технологии бетона явление, и здесь нет зависимости, связанной с наличием или отсутствием в цементе минеральной добавки.

Влияние на водопоглощение бетона. Водопоглощение бетона, характеризующее наличие и объем открытой пористости бетона, одновременно дает информацию для прогноза его морозостойкости, т.к. последняя непосредственно зависит от количества «поглощаемой порами» бетона воды.

Водопоглощение бетона определили по стандартной методике ГОСТ 12730.3 с начальным насыщением образцов-кубов с ребром 100 мм; возраст – 28 сут. нормально-влажностного твердения.

Результаты испытаний свидетельствуют о следующем: с увеличением дозировки минеральной добавки в цементе от 10 до 20 % от массы вяжущего водопоглощение бетона возросло на 2,4% и 5 % соответственно. Повышение дозировки до 30 % от массы цемента сопровождается резким ростом водопоглощения бетона (12 %). Введение в бетон пластификатора I-ой группы, способствовавшего снижению водосодержания бетона и уменьшению объема капиллярной пористости, что обеспечило на исходном уровне величину водопоглощения бетона.

Таким образом, сочетание качественной добавки пластификатора и минеральной добавки из гранитного отсева позволяет получать бетон, состояние структуры которого соответствует бетону, приготовленному на бездобавочном портландцементе.

Влияние на морозостойкость бетона. Основным структурным фактором повышения способности бетона сопротивляться морозной деструкции является снижение капиллярной пористости.

Введение в бетон (цемент) минеральных добавок обычно влияет на морозостойкость следующим образом:

1. Инертные добавки, как и активные минеральные добавки естественного происхождения, снижают морозостойкость бетона при замещении части цемента в нем.

2. Добавки искусственного происхождения, например добавки шлака, также снижают морозостойкость бетонов. Вместе с тем, известно, что при дозировках шлаков до 10 ... 20 % от массы цемента в сочетании с введением в бетон пластификаторов можно получить материал достаточной для наружных ограждающих конструкций морозостойкости.

Морозостойкость бетона определили ускоренным методом по ГОСТ 10060: с насыщением, замораживанием (при $t = -55 \dots -60^\circ\text{C}$) и оттаиванием в 5 % растворе NaCl ($t \sim 18^\circ\text{C}$).

Изменения прочности образцов бетона в процессе испытаний. Из полученных данных следует, что бетон с минеральной добавкой 10 % от массы цемента выдержал до 300 циклов, 20 % – до 250-300 циклов и при 30 % – до 150 циклов. Очевидно, что увеличение доли минеральной добавки из молотого гранитного отсева в цементе способствует снижению морозостойкости бетона, в сравнении с приготовленным на бездобавочном портландцементе.

Твердение в воде. Дальнейшее испытание проводилось с целью установления пригодности использования цемента с добавкой гранитного отсева в строительстве подводных сооружений. Для этого бетонные образцы после распалубки помещались в воду, и их масса измерялась в течение 60 сут.

Анализ полученных данных показал, что изменение массы образцов в процессе твердения в неагрессивной среде соответствует изменениям прочности бетона всех исследованных составов при общей тенденции более интенсивного увеличения ее в первые 3-7 сут. твердения и последующего замедления темпов роста. Однако и к 60 сут. твердения бетон приращивал массу за счет «подсоса» воды. Это явление связано с развитием процесса гидратации цемента и отражает его кинетику во времени.

Анализ изменений прочности бетона образцов водного твердения, т.е. наиболее благоприятных условий для цементного бетона, показывает, что введение минеральной добавки в цемент, хранившийся 60 сут., взамен 10, 20 и 30 % клинкера снижает ее к проектному возрасту (28 сут.) на 7,5 %; 13,6 % и 34,5 % соответственно; для возраста 3 сут. снижение составляет 9 %; 24 % и 50 % соответственно. В случае использования свежемолотого цемента прочность бетона оказалась практически равной прочности образцов без минеральной добавки.

Влияние на защитные свойства по отношению к арматуре. Коррозия стали в бетоне строительных конструкций не допускается, поскольку ее развитие приводит к уменьшению площади сечения арматуры и вызывает появление трещин в бетоне, снижение жесткости и несущей способности конструкций, которые невозможно учесть и рассчитать.

Для надежной защиты арматуры в бетоне необходимо, чтобы щелочность среды бетона, оцениваемая водородным показателем рН, была не ниже 11,8; при меньших значениях рН возможна коррозия арматуры в бетоне. Понижение рН среды в бетоне наблюдается при уменьшении концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вследствие выщелачивания его проточной водой.

Исследования возможного коррозионного воздействия минеральной добавки на арматуру в бетоне по методике СТБ 1168 проводили при разовом насыщении бетона водой со снятием поляриза-

ционных кривых и при циклическом насыщении в 5% растворе NaCl и высушивании.

Физико-химическая сущность исследований в том, что под влиянием положительного потенциала, приложенного к арматуре, побуждается движение отрицательно заряженных ионов к арматуре. Чем больше свободных отрицательно заряженных ионов в жидкой фазе, тем сильнее ток и его плотность, и тем значительнее опасность коррозии арматуры в бетоне.

Методика изготовления образцов. Вода затворения – питьевая вода по ГОСТ 2874. В качестве арматуры использованы стержни $d = 10$ мм из стали Ст 3 по ГОСТ 5781, которые были очищены, отшлифованы и обезжирены ацетоном и забетонированы по центральной оси образцов в соответствии с СТБ 1168. Образцы твердели 28 сут. в нормальных условиях.

Одноциклические испытания. В соответствии с положениями стандарта СТБ 1168 образцы насыщали питьевой водой до постоянной массы, а затем образец помещали в сосуд испытательной установки, заполненный водой.

Сущность электрохимических испытаний заключалась в получении данных для построения анодной поляризационной кривой. Для этого для каждого образца поочередно выявляли величину установившегося отрицательного потенциала стальной арматуры. Затем ее поляризовали от величины выявленного $E_{уст.}$ (мВ), до потенциала +1000 мВ, в течение 60 мин и ступенчато (через каждые 100 мВ) регистрировали величину силы тока.

Методика циклических испытаний. При контроле коррозионного состояния стальной арматуры под действием внешней агрессивной среды путем циклических испытаний армированные образцы подвергают 20 циклам попеременного насыщения в 5 % растворе NaCl и высушивания, после чего проводят электрохимические испытания. На основании результатов испытаний строят соответствующие анодные поляризационные графики и анализируют полученные данные.

На основании одноциклических и циклических испытаний коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне на портландцементе с минеральной добавкой из молотого гранитного отсева можно сделать вывод об отсутствии ее влияния на активизацию стали, т.е. вещество молотого гранитного отсева не вызывает коррозии

стали. Бетон с минеральной добавкой в количестве до 20 % от массы цемента обеспечивает сохранность стальной арматуры без признаков ее коррозии, как для обычного армирования, так и в случае преднапряжения арматуры. То есть, по условию сохранности арматуры в железобетоне цемент с добавкой молотого гранитного отсева может применяться без ограничений.

В результате испытаний доказана возможность использования молотого гранитного отсева в качестве минеральной добавки в цемент с замещением до 20% массы цемента без ухудшения основных эксплуатационных характеристик бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батяновский Э.И. Особоплотный бетон сухого формования. – Мн.: НПООО «Стринко», 2002. – 224 с.
2. Строительные материалы: Справочник / Ред. А.С. Болдырев, П.П. Золотов. – М.: Стройиздат, 1989. – 567 с.
3. Юхневский П.И., Широкий Г.Т. Строительные материалы и изделия: Учебное пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – 476 с.
4. ГОСТ 310.0-5. Цементы. Методы испытаний.
5. ГОСТ 30459. Добавки для бетонов. Метод определения эффективности.
6. ГОСТ 10180. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
7. СТБ 1545. Смеси бетонные. Методы испытаний.
8. ГОСТ 18105. Бетоны. Правила контроля прочности.
9. СТБ 1168. Метод контроля коррозионного состояния стальной арматуры в бетоне и защитных свойств бетона.

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА
И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Материалы 69-й студенческой
научно-технической конференции*

22–25 апреля 2013 г.

Подписано в печать 15.08.2013. Формат 60×84 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 3,66. Уч.-изд. л. 2,86. Тираж 50. Заказ 815.

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