

Долговечные бетоны нового поколения

04.02.2019

Аннотация

Предлагается инновационная технология изготовления бетонов на основе специальной химической обработки поверхности зерен цемента. Приведены основные свойства предлагаемых бетонов, в том числе их прочность и долговечность. Рассмотрены рациональные области применения супердолговечных бетонов и конкретные примеры их применения при возведении сооружений эксплуатирующихся в экстремальных условиях окружающей среды. Предложен альтернативный подход оценки долговечности супердолговечных бетонов.

Ключевые слова: обработка поверхности, многофункциональный бетон, оценка качества, применение долговечных бетонов

Введение

По мнению автора, при разработке рецептуры любых бетонов сегодня основное внимание должно уделяться не снижению себестоимости, а в первую очередь повышению их долговечности. Следует признать, что супердолговечный бетон это, как правило, высокопрочный и даже суперпрочный бетон. К сожалению общепринятой классификации бетонов по прочности (и по долговечности тоже) в настоящее время не существует. Как правило высокопрочным считается бетон с марочной прочностью выше 60 МПа. Для бетонов с прочностью более 120 МПа иногда употребляется также термин особопрочный бетон. В развитых странах для обозначения бетонов обладающих одновременно разными свойствами имеется общепризнанное наименование - многофункциональные бетоны (High Performance Concrete). Этим понятием объединены бетоны с таким сочетанием свойств, которые недостижимы при их традиционном изготовлении, например сочетание высокой прочности затвердевшего бетона и наливной консистенции бетонной смеси. По оценкам японских ученых срок службы супердолговечных бетонов может достигать 500 лет. Необходимо отметить, что в национальные стандарты некоторых стран уже включены требования к многофункциональным бетонам.

Выдающимся примером создания и применения высокопрочных(долговечных) бетонов является построенная в Норвегии платформа для добычи нефти в Северном море высотой 470 метров рассчитанная на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 30 метров и сроке эксплуатации не менее 100 лет. Аналогичные платформы построены на океаническом шельфе Северного Ледовитого океана, которые сегодня эксплуатируются в зоне сплошного многолетнего ледового покрова, подвижки которого развивают огромные срезающие усилия.

Следует отметить, что возведение сооружений из бетонов с высокой долговечностью (и прочностью) непросто даже при современном развитии науки о бетонах, поскольку для этого сегодня должен применяться высокопрочный цемент марки 600...700, мытые и фракционированные заполнители (песок и щебень), микрозаполнители и гиперпластификаторы. Укладка таких бетонов в железобетонные конструкции представляет определенные трудности, поскольку они как правило имеют консистенцию бетонной смеси не выше 5 сантиметров (по осадке конуса) и, по этой причине, при укладке смесей в конструкции требуют применения мощного уплотняющего оборудования - глубинных вибраторов. Кроме того, такой бетон содержит в 1,5 ...2 раза больше компонентов чем обычный, причем некоторые из этих компонентов вводятся в бетонную смесь в очень малых количествах и для гарантии их равномерного распределения в бетоне требуются специальные смесители весьма сложной конструкции.

Еще одной проблемой для бетонных смесей, приготовленных по общепринятой сегодня технологии является их расслоение и водоотделение. Это происходит по ряду причин и в основном из-за недостатка или отсутствия в составе заполнителей мелкой фракции(от 50 до 150 микрон). Из-за расслоения бетонной смеси после затвердевания такие бетоны имеют различные дефекты и большое водопоглощение, что приводит к их низкой долговечности.

Основные принципы новой технологии

Предлагаемая автором технология при ее создании по производственной необходимости была направлена на создание бетонов с очень высокой прочностью. В ходе создания таких бетонов были опробованы разные способы решения поставленной задачи начиная с намагничивания воды и заканчивая помолотом цемента в жидком азоте[1,2]. В результате долговременных исследований было установлено, что успешно решить поставленную задачу можно за счет химической обработки поверхности зерен цемента пластификатором на специальной установке. Такая технология вначале была названа авторами технологией активации цемента[1], затем переименована в технологию вяжущих низкой водопотребности [2], далее в технологию цементов низкой водопотребности [3] и в современном варианте предлагается как технология производства наноцементов [4,7]. Бетоны изготавливаемые по предлагаемой технологии можно считать бетонами 5 поколения имея в виду, что

бетоны первого поколения имели в своем составе только цемент, заполнители и воду. Второе поколение бетонов содержало цемент, заполнители, воду и пластификаторы. Третье поколение (наиболее распространенное сегодня) содержит в своем составе цемент, заполнители, воду и суперпластификаторы. Четвертое поколение содержит цемент, заполнители, воду, гиперпластификаторы и микрозаполнители. Поскольку предлагаемая технология включает в себя еще и обработку поверхности зерен цемента, автор предлагает считать изготавливаемые на ее основе бетоны пятым поколением.

Главным отличием и решающим преимуществом разработанной технологии является то, что впервые в мире удалось ввести в цементный бетон до 10% количество пластификатора[2] и получить очень хороший результат, хотя до этого считалось, что введение даже 1,5 % пластификатора заведомо приводит к негативным последствиям. Оказалось, что в зависимости от количества введенного пластификатора может быть получен цемент, зерна которого покрыты либо сплошной оболочкой пластификатора либо эта оболочка покрывает их только частично(фрагментарно). Толщина такой сплошной оболочки, рассчитанная теоретическим путем оценивалась авторами технологии в 20 - 150 нанометров [1,2]. В 2012 году толщина этой оболочки была экспериментально измерена и составила от 50 до 100 нанометров[6], что хорошо согласуется с первоначальным теоретическим расчетом. При этом оказалось, что поверхность зерен не просто покрывается слоем пластификатора, а сам пластификатор активно взаимодействует с минералами цементного клинкера и образует на поверхности зерен цемента сложные органо-минеральные соединения, которые полностью изменяют вид и скорость реакции портландцемента с водой (реакцию гидратации). Несмотря на то, что в процессе исследований были испробованы самые различные устройства для обработки поверхности зерен цемента (в том числе вибромельницы, планетарные мельницы, струйные мельницы, дезинтеграторы), оптимальным вариантом реализации технологии было признано использование обычной шаровой мельницы, используемой на цементных заводах [2]. Оказалось, что разработанная технология обеспечивает не только изготовление бетонов высокой прочности и долговечности, но также и наливную самоуплотняющуюся консистенцию бетонных смесей (осадка конуса 22 - 24 см) с одновременным понижением водоцементного отношения более чем в 2 раза (до 0,20 - 0,22). Это позволило при изготовлении супердолговечных бетонов отказаться от обязательного применения высокопрочных цементов, мытых и фракционированных заполнителей, а также от гиперпластификаторов и микрозаполнителей.

Основные характеристики и эффективность предлагаемых бетонов

Одной из важнейших задач современной науки о бетонах является повышение долговечности. Общеизвестно, что эта задача будет решена если удастся понизить проницаемость бетона для хлористых солей и других веществ, агрессивных по отношению к бетону и арматуре на порядок, то есть в десять и более раз. В этом случае бетоны будут обладать полной водонепроницаемостью и пониженной способностью к капиллярному всасыванию водных растворов солей. Необходимо констатировать, что достичь этих параметров по старым технологиям приготовления бетонов практически невозможно. Предлагаемая технология кардинально повышает такие характеристики бетона как его прочность - до 200 МПа, морозостойкость - до марки F2000, водонепроницаемость - до марки W50, стойкость бетонов в сульфатных средах - в 10 - 20 раз [2,4,5]. Предлагаемая технология позволяет изготавливать даже кислотостойкий бетон на основе обычного портландцемента без применения жидкого стекла и кварцевого микрозаполнителя. Свойства предлагаемых бетонов и эффекты от применения предлагаемой технологии показаны в таблице на примере бетона прочностью 150 МПа. Указанные в таблице характеристики бетонов взяты из работ автора и ряда других источников, в том числе из [2,3,4,5].

Материалы.	Стандартная технология	Предлагаемая технология	Эффекты от применения
Бетонная смесь.	многофункциональных бетонов (High Performance Concrete)	механохимической активации	технологии
Бетон			
Цемент	M600 и более. Должен быть без минеральных добавок и с содержанием трехкальциевого алюмината не более 6%	Обычный бездобавочный цемент марки 300 - 400 без ограничений по содержанию трехкальциевого алюмината	
Песок	Нужно 3 фракции. Должен быть мытым с содержанием пылевидных частиц до 0,5%	Нужна 1 фракция. Не мытый с содержанием пылевидных частиц до 10%.	

Доступность материалов.

Снижение

	Нужно 2 фракции. Шероховатый, и		себестоимости
Щебень	мытый с содержанием пылевидных частиц до 0,5%. Лещадность не более 10%	Нужна 1 фракция. Не мытый с содержанием пылевидных частиц до 5%. Лещадность до 30%	
Пластификатор	С водоредуцирующей способностью не менее 40%	С водоредуцирующей способностью 20%	
Микрокремнезем	Нужен	Не нужен	Упрощение технологии. Снижение себестоимости
Расплав конуса.	Расплав от 1 до 2 см.	Расплав от 60 до 75 см.	Гарантированное заполнение конструкций, в т.ч. густоармированных
Осадка конуса	Осадка конуса от 2 до 5 см	Осадка конуса 22-25см	Однородность свойств бетона по всему объему конструкции.
Водоотделение	от 1 до 2%	от 0,01 до 0,02%	Неразмываемость бетонной смеси в воде
Прочность через 1 сутки	30 МПа	70 МПа	Ускорение строительства
Водо-непроницаемость	25 атмосфер	50 атмосфер	Увеличение срока службы в морской воде до 100 лет
Коэффициент газопроницаемости	0,01 г/ м*ч*Па	0,001 г/ м*ч*Па	Длительное хранение высокотоксичных отходов и материалов
Морозостойкость	1000 циклов	2000 циклов	Увеличение срока службы в обычной среде до 200-400 лет

Применение предлагаемой технологии и бетонов

Очевидно, что предлагаемые бетоны могут найти применение в основном в так называемых ответственных железобетонных конструкциях. В перечень таких конструкций следует по мнению автора включить конструкции составляющие основу сооружений транспортной инфраструктуры (мосты, эстакады, ВПП, дороги), морских сооружений (причалы, подводные сооружения, опоры буровых платформ), подземных сооружений и конструкций (буронабивные сваи, шахтные своды в горных выработках), сооружения для хранения токсичных промышленных отходов (хранилища отработанных элементов с атомных станций, хранилища сильнодействующих и ядовитых веществ).

Кроме того, при изготовлении рядовых бетонов технология позволяет использовать заполнители (песок и щебень) некондиционные с точки зрения действующих ГОСТов. Предлагаемая технология позволяет также перерабатывать или нейтрализовать самые разнообразные промышленные отходы.

Подводный бетон

В данном случае на первое место выходит такие свойства бетонов как низкая размываемость и высокая связность бетонных смесей. При этом по предлагаемой технологии требуется только смешать активированный цемент и обычные заполнители с водой в стандартном смесителе. Механоактивированный цемент в этом случае позволяет отказаться как от использования цемента М600, микрокремнезема, специального полимера и гиперпластификатора, так и от оснащения бетоносмесительного оборудования дополнительными дозаторами для ввода минеральных и химических добавок.

Буронабивные сваи

В этом случае на первое место выходит такое свойство бетонов как большая текучесть бетонных смесей и практически полное отсутствие их расслаиваемости и водоотделения. Предлагаемая технология позволяет обеспечить быстрый набор прочности, в том числе в осенне-зимний период

строительства и одновременно повысить несущую способность буронабивных свай. И в этом случае механоактивированный цемент позволяет отказаться как от использования цемента М600, микрокремнезема, специального полимера и гиперпластификатора, так и от оснащения бетоносмесительного оборудования дополнительными дозаторами для ввода минеральных и химических добавок.

Морские причалы и опоры буровых платформ

В данном случае на первое место выходит такое свойство бетонов как чрезвычайно высокая стойкость к воздействию соленой морской воды. Предлагаемая технология позволяет отказаться от применения сульфатостойкого цемента и при этом обеспечить чрезвычайно высокую стойкость к сульфатной агрессии.

Шахтные своды в горных выработках при добыче алмазов

В данном случае к агрессивному воздействию шахтных вод содержащих сероводород добавляется еще и воздействие вечной мерзлоты. Предлагаемая технология и в этом случае позволяет отказаться от применения любых специальных цементов (в том числе сульфатостойкого) и в итоге снизить себестоимость горных работ.

Оценка долговечности бетонов по ГОСТ

В настоящее время в России долговечность бетонов оценивается по его морозостойкости, которая характеризуется количеством циклов замораживания-оттаивания. Однако количество циклов замораживания-оттаивания по мнению многих ученых [8, 9, 10] не позволяет однозначно определить ожидаемый срок службы бетона в железобетонной конструкции, то-есть его долговечность. Кроме того, сам метод определения морозостойкости имеет многочисленные недостатки из которых наиболее значимыми являются:

- регламентируемое ГОСТ снижение прочности бетона после испытаний (5%) находится в пределах погрешности измерений (15%);
- морозостойкость оценивается без учета статистических методов (в т.ч.к-та вариации прочности);
- не учитывается то, что бетон в конструкциях находится в сжатом или растянутом состоянии, а испытания на морозостойкость проводятся на образцах не испытывающих таких воздействий;
- определение морозостойкости по циклам замораживания-оттаивания занимает много времени;
- ускоренные методики определения морозостойкости не разработаны в достаточной мере.

Исходя из вышеизложенного следует признать, что в настоящее время разработка рецептуры бетонов производится без учета их долговечности, а при контроле морозостойкости на стройке создается только иллюзия такого контроля.

Проблема контроля долговечности предлагаемых бетонов (в порядке обсуждения)

Исследования автора по определению свойств бетонов с прочностью более 60 МПа и особенно с прочностью более 120 МПа показали, что применяемые сегодня методики оценки долговечности бетонов не просто обладают отдельными недостатками, но фактически не применимы к таким бетонам.

В частности, при проведении испытаний этих бетонов на замораживание-оттаивание, контрольные образцы не снижали свою прочность, а наоборот повышали. Кроме того, при испытаниях на водонепроницаемость у таких бетонов не происходило просачивания воды даже при очень высоком давлении. Эти факты можно объяснить только очень высокой плотностью и низкой пористостью таких бетонов, поскольку при исследовании структуры вышеупомянутых бетонов было экспериментально установлено, что они имеют весьма низкую пористость, которая к тому же на 96-98% состоит из мелких замкнутых пор [1, 2, 5].

Автор полагает, что долговечность бетонов наиболее полно характеризует его водопоглощение, поскольку если нет водопоглощения, то нет и разрушения структуры бетона - ни морозного ни химического. В доказательство верности этой гипотезы можно привести следующие общеизвестные данные по определению морозостойкости бетона класса В40(М600) – в питьевой воде при водопоглощении равном 3% его морозостойкость составляет F300, а при водопоглощении 0,3% в этой же воде она возрастает до F900. В соленой воде этот бетон при водопоглощении 3% имеет морозостойкость F50, а при водопоглощении 0,3% в той же соленой воде она возрастает до F800.

Следует отметить, что предпосылки для перехода при контроле долговечности бетонов от

традиционного метода замораживания-оттаивания к другим методам были изложены в работах некоторых ученых еще до эпохи широкого использования в строительстве бетонов высокой плотности(прочности). В частности в работе Сизова [9] была установлена и экспериментально подтверждена взаимосвязь между его прочностью и морозостойкостью, а именно то, что морозостойкость составляет 75% от прочности. Добролюбов в работе [10] предлагал определять морозостойкость бетона по его водопоглощению. В работе Подвального [8] было предложено отказаться от испытаний на морозостойкость при разработке его рецептуры и применять заведомо морозостойкий бетон. Марки по морозостойкости при этом он предлагал заменить на четыре класса в зависимости от условий эксплуатации бетонов [8]. В работах профессора С. В. Шестоперова и академика П. А. Ребиндера также отмечалось, что решением проблемы контроля долговечности бетонов могло бы стать применение заведомо морозостойкого бетона без предварительного проведения его испытаний на морозостойкость. Учитывая вышеизложенное автор предлагает связать существующую оценку долговечности бетона (по его морозостойкости) и новую методику оценки долговечности (по его водопоглощению) исходя из следующего:

- при водопоглощении 3% можно считать, что бетон имеет марку по морозостойкости F300;
- при водопоглощении 1% можно считать, что бетон имеет марку по морозостойкости F600;
- при водопоглощении 0,3% можно считать, что бетон имеет марку по морозостойкости F800;
- при водопоглощении 0,1% можно считать, что бетон имеет марку по морозостойкости F1000;
- при водопоглощении 0,05% можно считать, что бетон имеет марку по морозостойкости F1500.

При других значениях водопоглощения бетона морозостойкость можно оценивать по интерполяции.

Предложения по контролю прочности долговечных(высокопрочных) бетонов

Прочность бетона предлагается определять одновременно в двух местах - на заводе производящем бетонную смесь и на месте возведения железобетонных конструкций.

На заводе производящем бетонную смесь взамен образцов-кубов предлагается изготавливать и испытывать образцы-цилиндры диаметром 100 и высотой 100 мм. Кроме того в обязательном порядке на заводе производящем бетонную смесь следует рассчитывать коэффициент вариации прочности по пунктам 6.4 и 6.6 ГОСТ 18105-2010, который в дальнейшем использовать при оценке прочности в забетонированной конструкции.

На месте возведения железобетонных конструкций прочность бетона на сжатие должна определяться на образцах-цилиндрах диаметром 100 и высотой 100 мм, отобранных (выбуренных) из забетонированных конструкций. Кроме того, на месте возведения железобетонных конструкций в обязательном порядке должен определяться показатель водопоглощения бетона по методике п.п.4.1...4.4 ГОСТ 12730.3-78, по которому затем должна определяться его долговечность(морозостойкость).

Выводы

1. Разработана новая технология изготовления многофункциональных бетонов нового поколения.

Прочность таких бетонов может достигать 200Мпа, а долговечность - 500 лет.

2. При изготовлении супердолговечных бетонов может применяться существующее оборудование бетонных заводов без оснащения их специальными смесителями.

3. Предлагаемая технология позволяет производить долговечные бетоны, используя обычный цемент без нормирования его химического состава.

4. Супервысокая долговечность бетонов может быть обеспечена без применения воздухововлекающих добавок. Стойкость таких бетонов к воздействию агрессивных сред обеспечивается без применения специальных цементов, в том числе сульфатостойкого и химически стойкого.

Список литературы

1. Башлыков Н.Ф., Несветайло В.М. и другие. Исследования по созданию новых эффективных материалов для специальных сооружений // Отчет о НИР// ВИКИ имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 1987.

2. Несветайло В.М. Совершенствование технологии бетонных работ в специальном строительстве на основе применения вяжущих низкой водопотребности //Диссертация на соискание ученого звания кандидата технических наук// ВИКИ имени А.Ф.Можайского, Санкт-Петербург, 1993.

3. Юдович Б.Э., Бабаев Ш.Т. и другие. Цементы низкой водопотребности // Цемент и его применение, № 1, 1997.
4. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента // Московский институт материаловедения и эффективных технологий», 2008.
5. Долгополов Н.Н., Башлыков Н.Ф., Несветайло В.М. Высопрочный бетон из подвижных и литых смесей // Труды ВНИИЖелезобетона, 1988.
6. Бикбау М.Я., Лизунова А.А., Волков И.А. Открытие явления нанокапсуляции дисперсных веществ // Вестник Российской академии естественных наук, серия Физика, № 3, 2012.
7. Несветайло В.М. Инновационная технология монолитного строительства// Строительные технологии, № 6, 2014.
8. Подвальный А.М. О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений//Строительные материалы, № 6, 2004
9. Сизов В.П. Проектирование состава бетонов // Москва, Стройиздат, 1968
10. Добролюбов Г. И. и др. Прогнозирование долговечности бетонов с добавками// Москва, Стройиздат, 1983

Текст подготовил:

Несветайло Вячеслав Михайлович, кандидат технических наук

Адрес страницы: <http://ceiis.mos.ru/presscenter/news/detail/7862065.html>

[ГБУ города Москвы «ЦЭИИС»](#)