

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ БЕТОНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.М. НЕСВЕТАЙЛО, канд. техн. наук, Госэкспертиза, г. Москва

Ключевые слова: цементные бетоны, механохимическая активация, портландцемент, наноцемент, многофункциональные бетоны, микронаполнители, гиперпластификаторы, долговечность, водопоглощение

Keywords: cement concrete, mechanical and chemical activation, Portland cement, nanocement, high performance concrete, the micro fillers, hyperplasticizers, durability, water absorption

Предложена новая концепция создания цементных бетонов на основе механохимической активации портландцемента и его модификации в наноцемент. Приведены свойства бетонов, разработанных автором, в том числе их полная непроницаемость для жидкостей и газов. Приведены примеры применения сверхдолговечных бетонов на основе наноцементов при возведении сооружений и конструкций, которые эксплуатируются в экстремальных условиях окружающей среды

Введение

В настоящее время окончательно признано, что при создании новых бетонов основное внимание будет уделяться не снижению их себестоимости, а разработке более долговечных и технологичных вариантов. Для таких бетонов было предложено специальное наименование — многофункциональные бетоны (High Performance Concrete). Под этим понятием были объединены бетоны с таким сочетанием свойств, которые невозможны при использовании обычных цементов, традиционного приготовления бетонных смесей и их стандартной укладки, например, сочетание высокой долговечности и самоуплотняющейся (наливной) консистенции. По оценкам японских ученых, срок службы таких бетонов может достигать 500 лет. Необходимо отметить, что в национальные стандарты некоторых стран уже включены требования к многофункциональным бетонам.

Впечатляющим примером применения разновидности многофункциональных бетонов, а именно высокопрочных и долговечных, является построенная в Норвегии платформа для добычи нефти в Северном море. Ее высота — 470 метров, и она рассчитана на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 30 метров. Срок эксплуатации платформы — не менее 100 лет. Аналогичные платформы построены на океаническом шельфе Северного Ледовитого океана, которые эксплуатируются в зоне сплошного многолетнего ледового покрова, подвижки которого развивают огромные сдвигающие усилия. В качестве примера можно также привести мост, построенный в восточной Канаде. Его длина — 13 км, опоры погружены в воду на глубину более 35 метров. Срок службы — 100 лет.

Следует признать, что строительство сооружений и конструкций из бетонов с высокой долговечностью и проч-

ностью, — непростая задача даже при современном развитии науки о бетонах, поскольку для этого в обязательном порядке должен использоваться цемент марки 600, мытые и фракционированные заполнители, активные минеральные добавки (микронаполнители), гиперпластификаторы и еще некоторые специальные компоненты.

Укладка и уплотнение таких бетонных смесей представляет определенные трудности, поскольку они имеют консистенцию от 3 до 5 см по осадке конуса и по этой причине требуют применения мощного уплотняющего оборудования (глубинных вибраторов).

Кроме того, такой бетон содержит в 2 раза больше компонентов, чем обычный бетон, причем некоторые из них вводятся в бетонную смесь в очень малых количествах. К тому же для гарантии равномерного распределения компонентов требуется оснащение смесительных установок дополнительными трактами подачи компонентов в виде микродозаторов, а также применение специальных смесителей.

Общеизвестно, что в бетонах, приготовленных по традиционной технологии, наблюдается достаточно сильное расслоение и водоотделение бетонных смесей. Это происходит по ряду причин и в основном из-за отсутствия в составе заполнителей сверхмелкой фракции: от 50 до 150 микрон (0,05 — 0,15 мм). В результате бетоны, приготовленные по стандартной технологии, после затвердевания имеют большое водопоглощение и, как следствие, низкую долговечность. Долговечность бетона сегодня оценивается по его морозостойкости. При этом определение морозостойкости прямым методом занимает очень много времени, а ускоренные методики из последней редакции ГОСТа исключены.

Ускоренные методики по косвенным показателям (водопоглощение, скорость ультразвука и прочие) сегодня не разработаны в достаточной мере и на практике не применяются. Таким образом, следует признать, что разработка рецептуры бетонов сегодня фактически производится без учета его долговечности. В этой связи автор полагает, что долговечность бетонов наиболее правильно определять по показателю его водопоглощения. Если нет водопоглощения, то нет и разрушения структуры бетона от воздействия мороза и химической агрессии.

В доказательство верности этой гипотезы можно привести общеизвестные данные по морозостойкости бетона

марки 600 на портландцементе. В нормальной среде при водопоглощении равном 3% его морозостойкость составляет F300, а при водопоглощении 0,3% она возрастает до F900. То же самое наблюдается и в агрессивной среде. При водопоглощении 3% морозостойкость бетона в агрессивной среде равна F50, а при 0,3% возрастает до F800. Наноцементы позволяют производить бетоны с максимально низким водопоглощением.

Основные принципы новой технологии

Целью многолетних работ автора и других исследователей, работающих над этой проблемой, было и остается создание простой и доступной технологии приготовления многофункциональных бетонов (High Performance Concrete). В настоящей статье будет рассмотрена одна из разновидностей многофункциональных бетонов, а именно супердолговечный сверхпрочный бетон из самоуплотняющихся смесей с применением механохимической обработки цемента. В ходе создания такого бетона нами были опробованы разные способы решения поставленной задачи, начиная с намагничивания воды и заканчивая помолем цемента в жидком азоте [1]. В результате долговечных исследований было установлено, что успешно решить поставленную задачу можно за счет механохимической обработки обычного портландцемента на специальной установке. Такая технология сначала была названа технологией активации цемента [1], затем переименована в технологию вяжущих низкой водопотребности [2], далее – в технологию цементов низкой водопотребности [3] и в современном варианте она предлагается как технология наноцемента [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 дополнительно содержало простейшие пластификаторы, третье (наиболее распространенное сегодня) содержит в своем составе суперпластификаторы, а четвертое (High Performance Concrete) дополнительно содержит гиперпластификатор и микрозаполнитель. Предлагаемая технология включает механохимическую обработку портландцемента и его модификацию в наноцемент. Автор предлагает считать бетоны, изготавливаемые на основе наноцементов, бетонами пятого поколения.

Главным отличием и решающим преимуществом технологии механохимической активации цемента является то, что впервые в мире удалось ввести в цементный бетон повышенное (до 10%) количество пластификатора [2]. Оказалось, что в зависимости от количества пластификатора может быть получен цемент, зерна которого покрыты или сплошной оболочкой пластификатора, или только частично. Толщина такой оболочки, рассчитанная теоретическим путем на начальном этапе разработки технологии, оценивалась нами в 20–150 нанометров [1]. В 2012 году толщина этой оболочки была экспериментально измерена и составила от 50 до 100 нанометров, что хорошо согласуется с нашим

первоначальным теоретическим расчетом [6].

Несмотря на то, что в процессе исследований были опробованы самые различные устройства для механической обработки цемента, в том числе планетарные, струйные и вибромельницы, дисмембраторы и еще ряд других устройств. Оптимальным вариантом реализации технологии было признано использование обычной шаровой мельницы, применяемой в производстве портландцемента [2].

Разработанная технология обеспечивает наливную самоуплотняющуюся консистенцию бетонных смесей (осадка конуса 22–24 см) и одновременно понижает водоцементное отношение бетонных смесей более чем в 2 раза (до 0,20–0,22). Это дает возможность отказаться от обязательного применения цемента М600, гиперпластификаторов и высококачественных заполнителей и, в конечном счете, позволяет изготовить практически вечный бетон.

Область применения новых бетонов

Одной из важнейших задач современного бетоностроения является защита железобетонных конструкций от коррозии. Общеизвестно, что эта задача будет решена, если удастся на порядок (в десять и более раз) понизить проницаемость бетона для хлористых солей и других веществ, агрессивных по отношению к бетону и арматуре. Бетоны на наноцементе обладают полной водонепроницаемостью и пониженной способностью к капиллярному всасыванию водных растворов солей. Такие бетоны могут найти применение при захоронении токсичных и радиоактивных отходов, консервации отработавших блоков атомных станций и ядерных установок и в других случаях, когда необходимо обеспечить сохранение непроницаемости сооружений на очень длительные сроки.

Предлагаемая механохимическая активация портландцемента и его модификация в наноцемент кардинально повышают такие характеристики бетона, как прочность (до 200 МПа), сульфатостойкость (до 90–98%), морозостойкость (до марки F2000) и водонепроницаемость (до марки W50) [2,4,5]. По результатам исследований, проведенных автором, применение наноцемента повышает стойкость материалов в сульфатных средах как минимум на порядок [2,5]. Преимущества наноцементов показаны в табл.1 на примере бетона прочностью 150 МПа. Характеристики бетонов, указанные в таблице, взяты из работ автора и других источников, в том числе из [2,3,4,5].

По мнению автора, подобные бетоны могут также найти широкое применение при возведении мостов, дорог и морских сооружений: причалов, морских платформ и т.п. Необходимо констатировать, что достичь этих параметров на существующих материалах и по старым технологиям практически невозможно. С помощью предлагаемой технологии может изготавливаться даже кислотостойкий бетон на основе обычного портландцемента без применения жидкого стекла и кварцевого микрозаполнителя.

Таким образом, технология механохимической активации позволяет получить бетоны, которые можно отнести к многофункциональным по показателям водонепроницае-

Таблица 1. Требования к бетонным смесям и сравнительные характеристики высокопрочных и долговечных бетонов для производства на основе портландцемента и наноцемента

Материалы и достигаемые свойства бетонной смеси и бетона	Технология многофункциональных бетонов (High Performance Concrete)	Технология механохимической активации	Эффекты от применения технологии
Цемент	M600 и более. Должен быть без минеральных добавок и содержанием трехкальциевого алюмината не более 6%	Наноцементы всех классов	Доступность материалов. Снижение себестоимости
Песок	3 фракции. Должен быть мытым с содержанием пылевидных частиц до 0,5%	1 фракция. Немытый с содержанием пылевидных частиц до 10%.	
Щебень	2 фракции. Шероховатый и мытый с содержанием пылевидных частиц до 0,5%. Лещадность не более 10%	1 фракция. Немытый с содержанием пылевидных частиц до 5%. Лещадность до 30%	
Пластификатор с водоредуцирующей способн.	не менее 40%	не менее 20%	
Микрокремнезем	Нужен	Не нужен	Упрощение технологии Снижение себестоимости
Распływ конуса, см Осадка конуса	от 1 до 2 от 2 до 5	от 60 до 75 от 22 до 25	Гарантированное заполнение конструкций, в т.ч. густоармированных
Водоотделение, %	от 1 до 2	от 0,01 до 0,02	Однородность свойств. Неразрываемость бетонной смеси в воде
Прочность в 1 сутки, МПа	30	70	Ускорение строительства
Водонепроницаемость	25	50	Увеличение срока службы в морской воде до 100 лет
Коэффициент газопроницаемости, г/м ³ *ч*Па	0,01	0,001	Длительное хранение высокотоксичных отходов и материалов
Морозостойкость максимальная, циклы	1000	2000	Увеличение срока службы бетонов до 200 лет

мости, высокой стойкости в сульфатных средах и морозостойкости (наряду с высокой прочностью). Применение этой технологии можно считать решением проблемы создания бетонов, сохраняющих эксплуатационную пригодность в чрезвычайно длительные сроки.

Рассмотрим более подробно некоторые примеры применения предлагаемой технологии.

Подводный бетон

В данном случае на первое место выходят такие свойства бетонов, как низкая размываемость и высокая связность бетонных смесей. При этом по нашей технологии требуется только смешать активированный цемент и обычные заполнители с водой в стандартном смесителе. В этом случае наноцемент 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.

Бутонабивные сваи

Здесь 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 наноцемент позволяет отказаться от цемента М600, микрокремнезема, специального полимера и гиперпластификатора; от оснащения бетоносмесительного оборудования дополнительными дозаторами для ввода минеральных и химических добавок.

Морские причалы и опоры буровых платформ

Вне конкуренции такое свойство бетонов, как чрезвычайно высокая стойкость к воздействию соленой морской воды. Предлагаемая технология и наноцементы позволяют отказаться от применения сульфатостойкого цемента и при этом обеспечить чрезвычайно высокую стойкость к сульфатной агрессии.

Шахтные своды в горных выработках

К агрессивному воздействию шахтных вод содержа-

щих сероводород добавляется еще и воздействие вечной мерзлоты. Наша технология и наноцемент позволяют отказаться от применения любых специальных цементов (в т.ч. сульфатостойкого) и в итоге снизить себестоимость горных работ.

Выводы

1. Разработана простая и надежная технология производства одной из разновидностей бетонов пятого поколения – супердолговечных бетонов типа High Performance Concrete. Прочность таких бетонов на основе наноцементов может достигать 200 МПа.

2. При изготовлении бетонов пятого поколения может применяться существующее оборудование бетонных заводов без оснащения их дополнительными дозаторами для минеральных и химических добавок.

3. Технология позволяет производить сверхдолговечные бетоны, используя стандартные портландцементы классов 42,5 и 52,5 без нормирования их химического состава путем их модификации в наноцементы.

4. Высокая долговечность бетонов может быть обеспечена наноцементами без применения гиперпластификаторов и воздухоовлекающих добавок. Стойкость бетонов на наноцементе к воздействию агрессивных сред обеспечивается без применения специальных цементов, в том числе сульфатостойкого и химстойкого.

Библиографический список

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. Высокопрочный бетон из подвижных и литых смесей // Труды ВНИИЖелезобетона, 1988.
6. Бикбау М.Я. 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.