

Лекция 7. Бетоны нового поколения

Всем известно, что бетон является самым широко используемым в строительстве искусственным материалом, ведь для его изготовления используется местное, распространенное сырье. В середине 20-го века в бетон стали вводиться различные виды добавок, улучшающих его свойства, а в конце 20-го века появились модифицированные бетоны "нового поколения", имеющие высокие технологические и эксплуатационные характеристики, позволяющие возводить эстетичные и долговечные сооружения.

Одним из используемых в производстве бетонов "нового поколения" модификаторов является модификатор бетона серии МБ, который представляет собой порошкообразный композиционный материал на органоминеральной основе, минеральная часть которого состоит из микрокремнезема или его смеси с кислой золой-уноса, а органическая часть представлена суперпластификатором или его смесью с регулятором твердения и другими добавками. В зависимости от соотношения микрокремнезема и золы-уноса в минеральной части модификаторы подразделяются на четыре типа, которые обозначаются МБ-01, МБ-30С, МБ-50С и МБ-100С.

Модификаторы серии МБ предназначены для производства бетонов с высокими эксплуатационными свойствами, в том числе сверхвысокопрочных, которые обычно можно получить только благодаря совместному использованию микрокремнезема и суперпластификатора.

Однако в отличие от обязательного компонента таких бетонов - микрокремнезема, являющегося легким и пылевидным материалом насыпной плотностью $0,2 \text{ т/м}^3$, а в уплотненном состоянии – $0,5 \text{ т/м}^3$, и поэтому создающего технологические проблемы и проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды при транспортировке, модификаторы более транспортабельны и технологичны, что не приводит к повышению сопутствующих производству бетона затрат. Так как модификаторы являются композиционными материалами полифункционального действия, при их использовании улучшаются и технологические свойства бетонных смесей, для производства которых уже нет необходимости в пластифицирующих добавках.

Технические эффекты от использования модификаторов бетона серии МБ, это: получение на обычном портландцементе М400 или М500 и обычных заполнителях из твердых пород:

- высокопрочных (прочность на сжатие 60-80 МПа) и сверхвысокопрочных (прочность на сжатие выше 80 МПа) бетонов, в том числе мелкозернистых;
- бетонов с высокой ранней прочностью при твердении в нормальных условиях (25-40 МПа в 1 сут);
- бетонов низкой проницаемости для воды и газов (марка по водонепроницаемости W16-W20);
- высокоподвижных (ОК=22-24 см) бетонных смесей повышенной связности - нерасслаиваемости;

- бетонов повышенной долговечности (стойкости к сульфатной и хлоридной агрессии, воздействию слабых кислот, морской воды, повышенных до 400°С температур и морозостойкости).

Бетоны с модификатором серии МБ были использованы при строительстве таких уникальных объектов, как Торгово-Рекреационный комплекс на Манежной площади (бетон класса В40-В60, W12, F300), стилобатная часть здания "Реформы" (бетон класса В45, W20, F1000), подземный комплекс "Парк-Сити" ММДЦ "Москва-Сити" (бетон класса В35-В60, W12-W20, F200-F1000), Ульяновская эстакада (бетон класса В55, W14, F300), постамент памятника "Петру I" (бетон класса В35, W12, F300), здание "Смоленский Пассаж" (бетон класса В40, W12, F300), денежное хранилище СДМ Банка (бетон класса В40, W12), торговый центр на Курском вокзале (бетон класса В30, W12), системы транспортных тоннелей и развязок 3го транспортного кольца (бетоны классов В30-В40, W12, F1000-F1200), а также при реконструкции здания Кремля (бетон класса В50, W16), .

Еще одним из уникальных объектов является стадион "Локомотив", при строительстве которого была решена проблема повышенного тепловыделения в процессе твердения массивных конструкций пилонов изготавливаемых из литого бетона класса В60 (расход цемента за счет использования модификатора бетона составил 500 кг/м³). Та же проблема была решена при изготовлении блоков обделки Лефортовского тоннеля на заводе №18 МПЖБ.

Так же модификаторы бетона использовались при бетонировании коллекторов для инженерных коммуникаций, путепроводов тоннельного типа и канализационных коллекторов, что позволило за счет получения бетона высокой водонепроницаемости (W20 и выше) решить проблему коррозии и долговечности конструкций.

При использовании бетонов с модификатором для бетонирования ядра и колонн высотных жилых зданий, за счет увеличения прочности конструкций была существенно уменьшена площадь их сечения, что позволило увеличить жилую площадь здания. В настоящее время в Башкирии ведется строительство ГЭС, где уже уложено около 220 тыс. кубометров бетона. Применение модификатора серии МБ позволило использовать местные материалы с повышенным содержанием щелочей при приготовлении бетонной смеси и получать бетоны с высокой водонепроницаемостью.

Одной из областей применения модификаторов бетона серии МБ является производство сухих смесей. Использование модификатора в мелкозернистых сухих смесях позволяет получить самоуплотняющиеся бетоны без признаков водоотделения с классом по прочности - В60-В80, водонепроницаемостью выше W20 и, при использовании воздухововлекающих или газообразующих добавок, морозостойкостью F1000.

Активный рост строительства в последние годы затрагивает массу проблем, связанных с экологией. Раньше этому вопросу не уделялось должного внимания. В настоящее время уровень загрязнения окружающей среды настолько высок, что необходимо принимать серьезные меры.

Использование при производстве модификаторов серии МБ микрокремнезема и золы-уноса позволяет решить проблему утилизации отходов, образующихся в процессе газоочистки печей при производстве кремнийсодержащих сплавов, а также отходов ТЭС.

Так в период с 1996 по 2002 г.г. было произведено 22 000 т. модификаторов серии МБ, что позволило утилизировать 20 000 т. отходов.

Так же всем известно, что цементная промышленность, на ряду с металлургической и химической, занимает одно из самых высоких мест по уровню загрязнений окружающей среды, а использование одной тонны модификаторов бетона серии МБ в среднем экономит 2,5 - 3,0 т. цемента.

Таким образом, использование модификаторов бетона серии МБ позволяет решить комплексную проблему: с одной стороны получение технологичных бетонных смесей и долговечных бетонов с высокими техническими характеристиками, а с другой стороны - утилизация отходов, экономия электроэнергии при производстве цемента и защита от загрязнений атмосферы окружающей среды.

Особенности бетонов нового поколения

- Низкий удельный расход цемента на единицу прочности, как следствие, снижение стоимости производства
- Повышенная в несколько раз долговечность
- Высокая удельная прочность
- Увеличенные теплофизические свойства, которые сохраняются в течение нескольких десятков лет
- Повышенная экологичность
- Более высокие показатели огнестойкости
- Увеличенная стойкость к коррозии, низким температурам
- Отсутствие расслоения смеси
- Возможность корректировки деформации производных элементов

Какими бывают бетоны нового образца

К первой категории относятся бетоны с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами – **высокофункциональные**. Они универсальны в применении, обладают высокими показателями прочности, долговечности и упругости. Чаще всего используются при строительстве мостов, высотных зданий, тоннелей, паркингов и других специальных инженерных сооружений.

Следующий вид это составы, быстро приобретающие максимальную прочность, – **самоуплотняющиеся**. Они не расслаиваются при значительной подвижности раствора, обладают высокой плотностью и однородностью. Вязкость состава корректируется загустителями, в составе которых полиэтиленгликоль, гидролизованный крахмал, природные биополимеры, целлюлоза. Железобетонные конструкции при использовании этого состава не требуют дополнительной обработки, поскольку поликарбоксилат в составе пластификатора надежно защищает от коррозии. Материал получается очень плотным, без крупных пор.

Бетоны, не имеющие в своем составе крупно-зернистых и кусковых заполнителей, называются **реакционными**. Характеризуются они высокой прочностью и уровнем текучести, итоговый материал получается с минимумом пор и микротрещин. Введение в состав стальной микрофибры дает повышение растяжимости и прочности бетона при изгибе, в некоторых областях этот материал может составить конкуренцию стали. Этот тип бетона характеризуется высокой долговечностью, стойкостью к воздействию хлоридов, сульфатов, кислот, крайне низкой проницаемостью и повышенной морозо- и износостойкостью.

В составе **бездефектных** бетонов есть базальтовая фибра, в качестве пластификатора используются углеродные наночастицы. За счет своего состава материал имеет увеличенную прочность на изгиб и сжатие, повышенные тепло- и звукоизоляционные свойства, быстрее твердеет. Процент брака изделий из такого бетона практически равен нулю.

Основные принципы создания таких бетонов и расчет их состава отличаются от традиционных. Поэтому, если вы хотите использовать высококачественную смесь, обратитесь к профессионалам. Наши мастера замешают бетон в нужном вам объеме с точным соблюдением всех пропорций. Кроме этого, мы можем привезти готовую смесь на объект в удобное для вас время и предоставить в аренду бетононасос.

Нанотехнология -это область науки и техники, связанная с разработкой устройств размером порядка нанометра (одной миллиардной доли метра) т.е. устройств составляющих от нескольких десятков до нескольких тысяч атомов. Основное назначение таких устройств -- работать с отдельными атомами и молекулами (межатомные расстояния в биологических молекулах измеряются десятками долями нанометра).

При помощи применения нанотехнологии и небольших добавок наночастиц в состав различных традиционных строительных материалов строительная наука получила возможность модернизировать их производство и улучшить полезные свойства. Таким образом, напрашивается однозначный вывод: будущее строительства - за комбинированными и сложными материалами. Сегодня нанотехнологии начинают все активнее применяться в строительстве, хотя стоит признать, что они применялись и прежде. Просто тогда они еще не назывались этим новомодным термином. Приведу конкретный пример: цемент, проходя систему гидратации, имеет отчасти размеры наночастиц, и, соответственно, - приобретает их свойства.

Сегодня у науки появились новые возможности для изучения подобных явлений, поскольку исследовательская техника постоянно совершенствуется. В настоящее время в прогрессивных странах мира более 20% строительных компаний активно применяют в своей работе различные материалы, созданные с использованием нанотехнологий. Ученые в этой области трудятся уже довольно долго. В результате их кропотливого труда сейчас в строительстве используют высокопрочную сталь, разнообразные нанопокртия, высокопрочный бетон.

В соответствии с результатами испытаний, проводимых по специальным методикам, было выявлено, что срок службы зданий, построенных с применением нанотехнологий, превышает в 2-5 раз срок службы самых прочных построек конца 20 начала 21 века. Так, к примеру, современные сооружения возводимые большинством столичных и региональных строительных фирм рассчитаны на вековой срок службы. В то время как постройки городов будущего, отстроенные с использованием нанотехнологий, способны простоять до 500 лет.

Строительные компании все чаще начинают задумываться о целесообразности использования новых материалов, поскольку функциональных возможностей и особенностей классических материалов не всегда хватает для выполнения самых распространенных задач. Именно поэтому сегодня все чаще можно слышать о применении нанобетона, в основе которого лежат самые современные и уникальные технологии производства. Модифицированные добавки, которые входят в состав этого строительного материала, обладают повышенными свойствами и устойчивостью к воздействию разных негативных факторов.

Физико-механические свойства этого материала не вызывают никаких вопросов или нареканий. Основные достоинства нанобетона заключается в том, что он может похвастаться легким весом, высокой устойчивостью к разным воздействиям, а также позволяет значительно сократить финансовые расходы на выполнение основной части строительных работ.

Первые модификации нанобетона начали появляться в далеком 1997 году, когда специалисты из Санкт-Петербургского университета начали заниматься соответствующими разработками. Как только удалось доказать, что этот материал может похвастаться уникальными свойствами, его разработкой и внедрением уже начали заниматься специалисты из других городов, поскольку это привело бы к возникновению огромного спроса. Одновременно шли работы по разработке нанодобавок к такому бетону, которые могли бы значительно улучшить его свойства и характеристики [2].

Нанобетон, разработанный российскими учеными, при нанесении на железобетонную конструкцию имеет свойство заполнять даже ее микропоры, при этом данный стройматериал полимеризуются и восстанавливает прочность конструкции. Кроме того, новое вещество может вступать в реакцию с коррозионным слоем проржавевшей арматуры и восстанавливать ее сцепление с бетоном. Другим немаловажным преимуществом российского нанобетона перед зарубежными аналогами является более низкая стоимость.

Отходы химической промышленности и песок с водой - основные ингредиенты, которые разбавляются определенными материалами, состав которых зачастую держится производителями в секрете. Это позволяет им привлекать огромное внимание заинтересованных покупателей. Нанобетон может поставляться в различных объемах, но все же лучше заранее определиться с нужным его количеством. Несмотря на достаточно высокую стоимость этого материала, спрос на него постоянно растет. Именно поэтому

у производителей нет «спокойных» дней, в которые они не занимались бы разработкой новой уникальной формулы для производства бетона.

В индивидуальном строительстве и для сооружения не несущих перегородок в помещениях различного назначения используют лёгкие напенобетоны. Среднеплотные нанобетоны обладают повышенной прочностью, которая делает их перспективным материалом для сооружения мостовых конструкций, покрытий дорог и аэродромов. Наноматериалы с высокими и сверхвысокими прочностными характеристиками находят своё применение при строительстве шахт лифтов, разнообразных несущих конструкций в сооружениях промышленного, гражданского и жилищного назначения.

При использовании нанобетонов можно выделить два основных направления, это - реконструкция разрушенных сооружений и возведение новых зданий. При реставрационных мероприятиях добавление вновь разработанных составов к разрушенным железобетонным элементам обеспечивает заполнение всех пор и микротрещин и полимеризацию с восстановлением прочности сооружения. Нанобетон, нанесенный на разрушенную коррозией арматуру, вступает во взаимодействие с окисленным слоем, заменяет его, восстанавливая сцепление строительной смеси и металла арматуры. Использование группы нанометодов и широкого спектра наноматериалов в различных сочетаниях дает возможность управлять свойствами строительных смесей на основе минеральных вяжущих, которые не обязательно относятся к цементам. Общим признаком нанобетонов является обладание определенными преимуществами благодаря специальной структуре, задаваемой на наноуровне.

Чтобы получить новые свойства материала, в состав бетона добавляются наночастицы оксида кремния, поликарбоксилата, диоксида титана, углеродные нанотрубки и фуллерены. Сейчас успешно развивается производство бетона с добавками базальтового фиброволокна и углеродными нанокластерами. Введение специальных добавок - наноинициаторов - позволяет значительно улучшить физико-механические характеристики бетона, повысив его прочность на 150%, морозоустойчивость - на 50%, снизив в три раза вероятность трещинообразования. Бетоны с нанодобавками могут выдерживать температуру до 800°C. Изготовленные из этого материала облицовочные плитки содержат в своей структуре нанотрубки, которые под воздействием кислорода выделяют атомарный кислород, обладающий бактерицидными свойствами. Вес конструкции из такого бетона в шесть раз меньше аналогичного показателя традиционного материала.

К нанообразованиям относят: фуллерены, многоатомные молекулы углеродных полимеров типа C₆₀, C₇₀ и нанотрубки - молекулы, содержащие миллионы атомов углерода. Введение в бетонные смеси коротких углеродных нанотрубок и наночастиц фуллероидного типа - астраленов в количестве менее, чем 10⁻³ % приводит к росту в составе цементного камня протяженных структур длиной в сотни мкм. Наличие таких образований является ничем иным, как микродисперсным самоармированием цементного камня, что

приводит к соответствующему упрочнению бетонов на основе таких нанодобавок. Эти молекулы можно увидеть при использовании суперсовременных атомно-силовых и туннельных микроскопов. Фуллерены и нанотрубки производят с помощью вольтовой дуги или лазера. Нанообразованиям придают необходимую ориентацию, которая обеспечивает им свойства полупроводников, проводников, сверхпроводников, высочайшую прочность и другие полезные качества.

С помощью нанотехнологий целесообразно регулировать не только прочность бетона, которая в современном строительстве и так находится на высоком уровне, а уделять внимание другим свойствам, например, долговечности. В первую очередь, актуальным является решение проблемы длительного хранения сухих строительных смесей без снижения потребительских характеристик. Нанобетон значительно отличается по своим свойствам от бетона обычного, в частности, он более легкий - почти в 1,5 раза и более прочный -- примерно в 2,5 раза. Нанобетон изготавливается на основе стандартной смеси для бетона, в которую вносят нанодобавку из песка. Такая технология также позволяет увеличить энергосберегающие свойства бетона. Применение нанобетона в строительстве еще только начинается - его можно использовать как обычный строительный материал, который при всех своих положительных чертах еще и имеет достаточно низкую стоимость.

Также нанобетон можно использовать для восстановления конструкций, которые потеряли свою прочность со временем или в результате коррозии. Так как данный материал способен проникать в самые мелкие трещины и щели, заполнять их, а затем восстанавливать единую прочную структуру строения. Интересным направлением использования структурирующих наноинициаторов бетонных смесей является предварительное их нанесение на твердые носители и использование сухих комбинированных добавок. В качестве микрофибры-носителя наноинициаторов используют высокомолекулярные базальтовые микроволокна длиной 100-500 мкм, волокна. Такой метод можно определить, как динамическое дисперсное самоармирование бетона. Гранулированный наноструктурирующий наполнитель, предназначенный для производства конструкционных бетонов, обладающих повышенными теплоизоляционными свойствами.

Использование таких наполнителей позволяет получать легкие бетоны с плотностью 1100 - 1400 кг/куб. м общей пористостью до 85%, причем 75 - 80% пор являются закрытыми, то есть не поглощающими воду. Поэтому, несмотря на существенное уменьшение плотности, водопоглощение бетона снизится в два раза по сравнению с бетонами на основе традиционных легких наполнителей. Наряду с этим наполнитель, почему он и называется наноструктурирующим, активно воздействует на цементную матрицу, увеличивая долю наночастиц в продуктах гидратации цемента.

Введение в бетонные смеси микрокремнезема для рационального использования в количестве не менее, чем 3-10 % можно использовать бетон в следующих направлениях строительной индустрии:

- при изготовлении несущих и ограждающих конструкций для транспортного, промышленного и гражданского строительства, в том числе подземных и гидротехнических сооружений;
 - при возведении монолитных железобетонных массивов с модулем поверхности менее трех, к которым предъявляются требования по обеспечению пониженной кинетики тепловыделения;
 - при строительстве конструкций из бетонов низкой проницаемости (марок по водонепроницаемости W16 - W20), повышенной коррозионной стойкости (без вторичной защиты) и морозостойкости при одновременном обеспечении высокой прочности;
 - при изготовлении конструкций из бетонов высокой (классы B45 - B60) и сверхвысокой (классы выше B60) прочности, изделий из пластичных бетонных смесей;
 - при необходимости обеспечения высокой ранней прочности (на уровне 25 - 30 МПа в возрасте 1 - 2 суток), достаточной для распалубки конструкций и их нагружения;
 - при возведении специальных конструкций с использованием высокопластичных нерасслаивающихся бетонных смесей;
 - при возведении преднапряженных железобетонных конструкций с учетом возможностей ранней передачи напряжений с арматуры на бетон;
 - при устройстве высокоплотных и прочных защитных покрытий способом пневмобетонирования ("мокрого" торкретирования) и при ремонтно-восстановительных работах на ответственных сооружениях;
 - при возведении уникальных конструкций и сооружений из высокопрочного и сверхвысокопрочного дисперсно-армированного бетона (фибробетона);
 - при устройстве сооружений из бетона сверхнизкой проницаемости для консервации и захоронения отходов, в том числе радиоактивных сооружений.
- Кремнезоль (КЗ) представляет собой водный коллоидный раствор диоксида кремния. Другими словами, это взвесь в воде частиц диоксида кремния. Исследованиями, проведенными в Университете путей сообщений (г. Санкт-Петербург), установлено, что введение КЗ в количестве 1% от массы цемента позволяет повысить прочность при сжатии и изгибе до 50%, а также долговечность изделий.

Кремнезоль оказывает на цемент тройное воздействие:

1. усиливает гидратацию
2. блокирует поры, то есть снижает водопроницаемость
3. увеличивает клеящую способность.