

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

**Меретуков Заур Айдамирович,**

доктор технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой «Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
г. Майкоп;

**Гусев Иван Вячеславович,**

магистрант по специальности 08.04.01-Строительство,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
г. Майкоп;

**Петровский Александр Владимирович,**

магистрант по специальности 08.04.01-Строительство,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
г. Майкоп

### СТРУКТУРА БЕТОНА И ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЯЖУЩИХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Объект изучения в статье – современные тенденции в изучении бетона, как основного конструкционного материала в строительстве. Предмет изучения – положение актуальной научно-исследовательской базы и перспективных направлений развития новых рецептур и качественных показателей бетона. Соответственно цель исследования – выявить и описать различные факторы, влияющие на развитие бетона, как наиболее востребованную вяжущую систему в строительстве.

**Ключевые слова:** бетон, вяжущая система, конструкционный материал, технология, рецептура, прочность, новые свойства.

В настоящее время в строительстве применяется более тысячи разновидностей бетона, и процесс создания его новых видов активно продолжается.

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Изначально бетон применялся исключительно для монолитных конструкций. Однако в годы первых пятилеток отечественные строители доказали, что в климатических условиях России замена ряда монолитных конструкций сборными позволяет повысить темпы возведения зданий и сооружений, сделать бетон более индустриальным материалом, а строительство – круглогодичным.

XXI в. ознаменовался возвратом на территорию России монолитного домостроения – более экономичного и “гибкого” способа возведения [1,2]. Однако, учитывая ряд национальных программ, связанных с решением жилищной проблемы, отказ от сборного железобетона преждевременен.

Являясь основным строительным материалом, обычный бетон перестал удовлетворять растущим к нему требованиям. Это объясняется его малым сопротивлением появлению трещин, сравнительно малым пределом прочности при изгибе и растяжении, низкой химической стойкостью, недостаточной водонепроницаемостью, морозостойкостью и целым рядом других свойств, не обеспечивающих конструкциям требуемой долговечности.

Поэтому естественным является повышенное внимание к структуре, прежде всего, цементных бетонов. Исследования И.Н. Ахвердова, Ю.М. Баженова, Г.И. Горчакова, О.В. Кунцевича, П.Г. Комохова, С.С. Каприелова, О.П. Мчедлова-Петросяна, А.Н. РебиндерА.В. Саталкина, В.В. Стольниковца, Б.Г. Скрамтаева, О.С. Поповой, А.Е. Шейкина, В.В. Шестоперова и многих других получают новое развитие.

Одним из важнейших путей решения этой проблемы является применение самых различных добавок, круг которых расширяется исследованиями ученых всего мира. Международная конференция Ritem по добавкам в бетоны 1980 г., подводя итоги достигнутому, сделала попытку

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

систематизировать многочисленные добавки по достигаемому эффекту и позволила ввести в России впервые после многочисленных попыток стандарт на добавки. В настоящее время действуют ГОСТ 24211-2003 “Добавки для бетонов и строительных растворов, вводимые в смеси при их приготовлении на смесительных установках” и ГОСТ 24640-91 “Добавки для цементов”, вводимые в цементы при их изготовлении на цементных заводах.

Последние 40 лет в лабораториях мира ведутся настойчивые работы по исследованию причинно-следственной связи свойств бетона и его структуры, процессов структурообразования. Появились эффективные вяжущие, модификаторы для вяжущих и бетонов, различные добавки и наполнители, армирующие волокна, новые технологии, новые теории структурообразования [3], активно развиваются процессы моделирования, компьютерного проектирования структур будущих бетонов, автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Применение добавок в бетоны в зарубежных странах преодолело 70%-ный объем, но несмотря на ряд преимуществ, существуют причины, сдерживающие применение добавок к бетонам, среди которых в России можно назвать следующие: дефицитность; высокая стоимость; неудовлетворительная расфасовка; сложное производство; отсутствие ряда предприятий промышленности, специализирующихся только на выпуске добавок к бетонам с гарантированными составами и свойствами; отсутствие специализированного оборудования на заводах; слабая изученность влияния добавок на свойства бетона.

Поэтому по прогнозам специалистов доля бетонов с добавками в России в ближайшие годы должна возрасти до 50 %. Их количество, применяемое в производстве раствора, бетона и железобетона, составляет более 300 наименований. В стадии промышленных

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

исследований и испытаний находятся около 1000 наименований добавок. Столь широкий круг добавок обусловливается стремлением использовать для улучшения свойств бетона снижение расхода продуктов многих отраслей промышленности, избирательным характером модифицирующего эффекта большинства добавок, который зависит от химического и минералогического состава цемента, тонкости помола, присутствия и количества щелочей в составе цемента.

В ближайшие годы произойдет постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В таких бетонах будут широко использоваться и индивидуальные химические модификаторы, улучшающие удобоукладываемость бетонных смесей и физико-механические свойства бетонов, и комплексные добавки, состоящие из десятков индивидуальных добавок различного назначения. Важная роль в модификации структуры бетона придается реакционно-активным тонкоизмельченным минеральным компонентам природного и техногенного происхождения, а также микроармирующим элементам.

Ценность вяжущих материалов и материалов на их основе (бетонов и растворов) определяется механической прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и другими свойствами, которые обусловлены структурой цементного камня.

В настоящее время под *“вяжущими”* принято понимать тонкодисперсные порошки со специальными вещественными и химико-минералогическими составами (пластичная глина, расплавленная сера, гипсовые и другие традиционные вещества), которые при смешении с водой или другими жидкостями образуют пластичное тесто, постепенно затвердевающее и приобретающее свойства искусственного камня.

Это позволяет утверждать, что практические свойства вяжущих веществ реализуются только в сочетании с жидкостями

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

(затворителями). Поэтому более принципиальным следует считать понятие «вяжущая система», обозначающее объект, включающий в свой исходный состав в качестве равноправных компонентов твердую составляющую - цемент (вяжущее вещество) и жидкую составляющую - затворитель [4], и самоопределением вяжущей системы тогда можно считать важнейшие отличительные факторы, обуславливающие проявление вяжущих свойств - гетерогенность системы, включающей твердые фазы и жидкость, химическое взаимодействие исходных компонентов системы.

Итак, «...вяжущими системами называют объекты, представляющие собой в некотором виде подвижные смеси дисперсных твердых веществ с жидкостями, эти смеси при определенных физических условиях (температуре, давлении) схватываются и отвердевают, образуя искусственный камень в результате химических взаимодействий исходных компонентов и физико-химических превращений продуктов взаимодействия» [4].

Вяжущие системы чаще используются в сочетании с другими материалами, целенаправленно изменяющими технические свойства получаемого искусственного камня. Такое сочетание называется *вяжущей композицией*.

Самой распространенной вяжущей композицией является смесь вяжущей системы с крупными и мелкими фракциями природных или техногенных материалов, называемых *заполнителями* (рис. 1.1).

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ



Рис. 1.1. Макроструктура бетона на песчано-гравийной смеси

Тонкодисперсные заполнители, размер частиц которых соизмерим с размерами частиц вяжущего вещества, называют *наполнителями*.

Для бетонных смесей в качестве наполнителей используют измельчённые кварцевые пески, известняки, глиежи, диатомиты, доломиты, туфы, золы-уносы ТЭС, доменные, ваграночные, электротермофосфорные шлаки и др.

Композиционный материал, получаемый в результате твердения вяжущей системы с крупным и мелким заполнителями, называют *бетоном*. К числу наиболее распространенных заполнителей относятся: естественные (песок, гравий, щебень на основе горных пород) и искусственные (керамзит, золошлаковые отходы и др.).

Следует учесть, что роль портландцемента в строительстве и объемы его производства огромны и несоизмеримы с ролью и объемом производства других вяжущих веществ, да и свойства его более универсальны. Поэтому в ряде случаев портландцемент выделяют из большого многообразия вяжущих веществ в самостоятельный класс, а другие цементы, чье твердение не связано с преимущественной гидратацией высокоосновных силикатов кальция, рассматривают как специальные.

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Именно по этой причине далее будет рассматриваться структура композиционного материала бетона, получаемого на основе портландцемента. Под структурой бетона подразумевается система параметров, характеризующих в пространстве расположение элементов каркаса цементного камня и частиц заполнителей, так же вид и свойства контактов кристаллов и коллоидных частиц в составе каркаса, данные о форме, размере и количестве пор или промежутков между частицами твердой фазы.

Поскольку в реальных условиях на поверхности частиц адсорбируется вода, то часть порового пространства или весь его объем могут быть заняты водой.

Таким образом, бетон представляет собой систему, состоящую из трёх фаз: твердой, жидкой и газообразной. Все три фазы оказывают влияние на любые свойства бетона, только в каждом случае какая-либо фаза превалирует над другими.

Твердая фаза бетонов состоит из частиц заполнителя, склеенных в единый искусственный конгломерат продуктами гидратации цемента. Поскольку процесс гидратации цементного зерна может длиться десятками лет, то можно утверждать, что в состав твердой фазы бетона помимо названных частиц входят и не прореагировавшие частицы цемента.

Так как частицы заполнителя в процессах гидратации в основном не участвуют, то все изменения в твердеющем бетоне происходят в тонкой прослойке первоначального цементного теста, окружающего каждую частицу заполнителя, постепенно приобретающего структуру камня. Именно в этой прослойке и зоне контакта цементного камня с поверхностью заполнителя формируются новые кристаллические фазы со своеобразными формами кристаллов. Их специфическим распределением в объ-

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

еме и пористостью во многом определяются будущие свойства бетона. Именно с этой точки зрения структурообразования рассмотрим процессы, происходящие при гидратации цемента.

Процесс формирования структуры цементного камня происходит через растворение клинкерных минералов, химическое взаимодействие минералов с водой и кристаллизацию новообразований, протекающую на границе раздела фаз, т. е. на поверхности цементного зерна (гидратация и гидролиз). В результате этих процессов происходит образование сложных по составу кристаллогидратов. Они со временем срастаются, образуя пространственную решетку, которая обеспечивает прочность цементного камня.

Необходимо рассматривать вопросы образования продуктов гидратации основных клинкерных минералов, формирования структур из этих новообразований и выделять пути формирования "нужных" наносистем.

Портландцемент представляет собой сложную смесь клинкерных соединений, растворяющихся в воде и реагирующих с ней с различной скоростью. И, прежде чем перейти к процессам гидратации портландцемента и формированию его структуры, усложненным наложением реакций гидратации отдельных минералов, проанализируем реакции этих соединений с водой в чистом виде.

Так как все реакции происходят на поверхности цементного зерна, то и кристаллизация новообразований, как правило, происходит на последней, постепенно заполняя свободное пространство между частицами цементных зерен (пространства пор), формируя новую структуру камня. При этом можно выделить совершенно разные структуры внутреннего и внешнего ритмов [5,6].



## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Структура внутреннего ритма формируется в основном из продуктов гидратации  $C_3S$  и  $p - C_2S$ .

Продукты трёх кальциевого силиката в первые минуты представляют собой силикагель, высокоосновный гидросиликат – двуводный трёхкальциевый силикат ( $C_3SH_2$ ), неустойчивые (метастабильные) новообразования, постепенно превращающиеся в более стабильные гидросиликаты сложного состава типа  $nCaO_x SiCO_{2y} H_2O$ .

Одновременно с гидросиликатами при гидратации  $C_3S$  происходит гидратация оксида кальция, являющегося одним из основных компонентов затвердевающего цементного камня и оказывающего значительное влияние на образование гидросиликатов, гидроферритов и других гидратных составляющих.

В связи с этим щелочность среды твердения постоянно изменяется. Гидросиликаты быстро реагируют на это, изменяя свой состав.

При концентрации гидроксида кальция в жидкой среде от 0,05 до 1,1 г/л (в пересчете на  $CaO$ ) в растворе возникают новообразования типа  $(0,6+1,5) CaOSiO_2(0,5-2,5) H_2O$ ,  $CSH(I)$  или  $CSH(B)$ .

Образующиеся продукты гидратации представляют собой новообразования в виде частиц-чешуек или лепестков, которые вследствие их слабой закристаллизованности и большого количества воды, адсорбированной на поверхности, называют цементным гелем.

Лепестки толщиной 2-3 нм (2-3 молекулярных слоя), шириной 40-50 нм при средней длине около нескольких сотен нанометров формируют слоистую.

Образующиеся продукты гидратации представляют собой новообразования в виде частиц-чешуек или лепестков, которые вследствие их

## ОБРАЗОВАНИЕ В РОССИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

слабой закристаллизованности и большого количества воды, адсорбированной на поверхности, называют цементным гелем.

### **Список литературы**

1. Баженов, Ю.М. *Технология бетона: учебник* / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2003. – 500 с.
2. *Технология бетона, строительных изделий и конструкций: учебник* / Ю.М.Баженов. – Москва : АСВ, 2014. – 256 с.
3. Соломатов, В.И. *Интенсивная технология бетонов* / В.И. Соломатов, М.К.Тахиров, Мд Тахер Шах. – Совм. издание СССР-Бангладеш. – Москва : Стройиздат, 1989. – 264 с.
4. *Специальные цементы: учеб. пособие* / Т.В. Кузнецова [и др.]. – СПб.: Стройиздат, 2017. – 314 с.
5. *Бетоны на вяжущих с низкой водопотребностью* / Батраков В.Г., Бабаев Ш.Т., Башлыков Н.Ф., Фаликман В.Р. // *Бетон и железобетон.* – 1988. – №11. – С. 4-6.
6. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В. *Развитие теории и структуры формирования структуры и свойств бетонов с техногенными отходами. Известия ВУЗов // Строительство.* – 2007. – №4. – С. 55-58.