

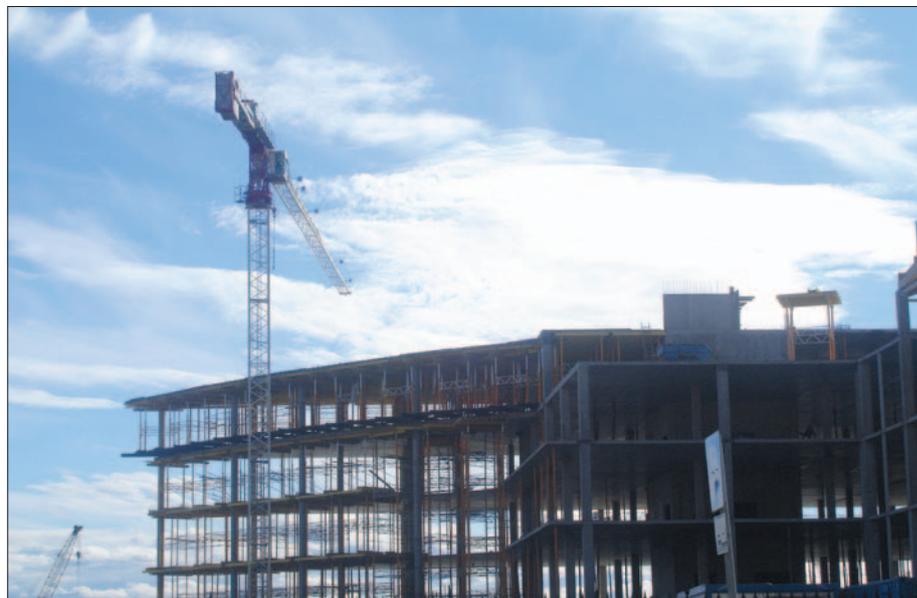
# ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ В МОНОЛИТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Возведение зданий и сооружений из монолитного бетона и железобетона в последние годы становится все более популярным. Основными преимуществами монолитного строительства являются универсальность и многообразие архитектурных и проектных решений, возможность возведения уникальных пространственных конструкций, улучшение теплофизических свойств, повышение надежности зданий и сооружений, снижение себестоимости и сроков строительства.

Вместе с тем, наряду с огромными преимуществами монолитного строительства существуют и некоторые недостатки подобного способа, в первую очередь тот факт, что производственный цикл переносится на строительную площадку под открытым небом, а это значит, что климатические условия будут оказывать существенное влияние на производство работ, качество и надежность конструкций. В первую очередь это касается технологии производства бетонных и железобетонных работ в зимнее время. Отметим, что климатические условия средней полосы России таковы, что около полугода по показателям среднесуточной температуры условия строительства могут быть отнесены к зимним. Это накладывает определенные ограничения на технологию производства работ и сроки возведения объектов. Главным вопросом в этом случае является обеспечение высоких технологических качеств бетонной смеси начиная с момента ее приготовления, затем в период транспортирования и укладки. При этом высокие технологические качества должны обеспечивать не только эффективную укладку бетонной смеси в конструкцию, но и сочетаться с возможностью получения высоких эксплуатационных качеств бетона и железобетона, надежностью и долговечностью конструкций.

Проектирование составов бетонов, приготовление бетонных смесей, транспортирование и эффективный уход за бетоном — основные составляющие повышения эффективности монолитного строительства.

Технология бетона на современном этапе претерпевает кардинальные изменения, обусловленные интенсивным развитием теории гидратации многокомпонентных композиционных материалов на основе минеральных вяжущих и внедрением эффективных технологий, в том числе на наноуровне, получения высокопрочных цементных бетонов.



Современный бетон это в первую очередь многокомпонентный материал с модификаторами различного функционального назначения. Для достижения высоких качеств в состав современного бетона вводят 7–8 компонентов, в отличие от традиционного 4-компонентного бетона. В состав бетона входят химические и минеральные добавки, позволяющие не только эффективно использовать гидратационную активность цемента, но и получать бетоны с высокими показателями эксплуатационных свойств, надежности и долговечности.

Опыт монолитного строительства во многих регионах России свидетельствует о том, что применение бетонов средних классов по прочности В20 — В25 приводит не только к увеличению расхода арматуры в конструкциях железобетонных каркасов зданий, но и к значительному увеличению поперечных сечений, несущих элементов и, как следствие, к увеличению объема бетона в конструкциях.

Для устранения указанных и многих других негативных факторов, связанных с недостаточно высоким качеством бетонов и бетонных смесей, необходимы глубокие и всесторонние исследования структуры бетона на всех уровнях ее формирования, начиная от молекулярного и заканчивая макроуровнем.

Широкие возможности в вопросах получения технологичных бетонов высокого качества и прочности открывает применение в технологии монолитного домостроения модифицированных бетонов, наполненных минеральными добавками различной дисперсности, получаемых на основе

тонкомолотых природных минералов и горных пород.

Использование в современном строительстве наполненных цементных систем, модифицированных суперпластификаторами в сочетании с минеральными микронаполнителями, открывает большие перспективы не только направленного химического регулирования процессов структурообразования и твердения, но и получения оптимальных составов бетонов с учетом структурной топологии цементных систем, granulometрии компонентов, энергетического состояния поверхности минеральных частиц и структуры жидкой фазы.

В цементных системах с минеральными микронаполнителями при оптимальном количестве жидкости создаются благоприятные условия для формирования межчастичных контактов срастания в стесненных условиях, обеспечивающих высокую плотность и прочность структуры уже на ранних этапах гидратации. Это позволяет в ранние сроки твердения получать высокую прочность бетона. В начальный период гидратации в процессе физического и химического связывания воды частицами цемента происходит непропорциональный прирост объема твердой фазы, и геометрические размеры частиц увеличиваются при одновременном уменьшении толщины водных прослоек между ними. В присутствии минеральных наполнителей связывание воды затворения происходит в меньшей степени, а процесс твердения обеспечивается за счет сближения частиц и кристаллизации гидратов из пересыщенных растворов не только на поверхности цемент-

ных частиц, но и в точках соприкосновения, а также на поверхности минеральных частиц. Таким образом, в цементной матрице в присутствии микронаполнителей, вследствие инертности последних (в большинстве случаев) к воде, создаются благоприятные реологические условия на стадии приготовления и укладки бетона. Наполненные бетоны пластичны и сохраняют подвижность в течение длительного периода, необходимого для бетонирования и тщательного уплотнения бетонных смесей.

Известно, что в начальный период времени в цементной матрице происходит интенсивное связывание воды затворения в гидратные фазы и, особенно, в метастабильные гидроалюминаты кальция (AFm-фазы), в структуре которых ассоциируется большое количество молекул воды, располагающихся в межслоевом пространстве кристаллогидратов. Резкое снижение количества воды в системе приводит к раннему ее структурированию и снижению подвижности бетонных смесей, что негативно отражается на процессе укладки и уплотнения монолитного бетона. В построчных условиях это нередко приводит к тому, что в процессе бетонирования рабочие добавляют в бетонную смесь избыточное количество воды, отрицательно влияющее на прочность и долговечность бетона. Особо опасным подобный «технологический прием» оказывается в зимнее время, когда при значительном понижении температуры наружного воздуха, ненадлежащем прогреве и уходе за бетоном (особенно в тонкослойных конструкциях перекрытий) происходит сквозное промораживание водонасыщенной бетонной смеси.

В монолитном домостроении модификация бетонов развивается в основном по следующим направлениям:

- обеспечение высоких технологических свойств и повышение пластичности бетонных смесей;
- регулирование процессов твердения бетонов;
- получение бетонов с заданными параметрами физико-механических свойств и долговечности;
- обеспечение возможности производства работ в зимнее время.

В современном бетоноведении номенклатура модификаторов различных классов достаточно велика и многообразна. Разработана классификация добавок не только по функциональному признаку (ГОСТ 24211-03), но и по механизмам действия на процессы гидратации и твердения цементных материалов.

Следует отметить, что в технологии современных многокомпонентных бетонов стирается грань между понятием «модификатор» и «компонент» бетонной смеси. Например, ультрадисперсные микрокремнеземы и метакаолин, а также и некоторые минеральные добавки в большей степени могут быть отнесены к компонентам бетонов сложного состава, чем к минеральным модификаторам, поскольку в большинстве случаев в высокопрочных и качественных бетонах они присутствуют в обязательном порядке.

Особое значение в широкой гамме комплексных добавок занимают пластификаторы, супер- и гиперпластификаторы. Новым и перспективным направлением получения высококачественных бетонов является применение модификаторов пластифицирующе-стабилизирующего действия на основе поликарбоксилатов, достоинством которых является возможность модифицирования основной цепи и боковых участков макромолекул с изменением молекулярной массы соединения в широких пределах. Подобные добавки позволяют значительно снижать водопотребность бетонов и вследствие особенностей конформационного строения молекул, структуры и активности функциональных групп не замедляют процессы гидратации и твердения бетонов.

Важным аспектом получения комплексных модификаторов является анализ механизмов как индивидуального влияния компонентов добавок, так и всего комплекса в целом на процессы гидратации и твердения цементных материалов.

Цемент является чрезвычайно сложной гидратационной системой, весьма подверженной влиянию даже незначительных количеств химических добавок. Добавки органического происхождения в большинстве своем не изменяют состава продуктов гидратации цементных минералов и влияют в основном на скорость кристаллизационных и конденсационных процессов и структуру гидратов, в то время как неорга-



нические модификаторы могут повлиять на изменение фазового состава продуктов гидратации цементного камня. Минеральные добавки в зависимости от их состава и химической активности изменяют скорость гидролиза и гидратации вяжущего, связывая образующиеся продукты гидратации и в первую очередь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  гидратные фазы, повышающие прочность твердеющей системы.

Задача получения высокоэффективных комплексных модификаторов заключается в рациональном использовании особенностей влияния отдельных компонентов добавок на гидратацию цементных систем с целью достижения высоких многофункциональных эффектов.

В современном строительстве большая часть бетона, используемого в монолитном строительстве, выпускается с применением пластификаторов и суперпластификаторов, позволяющих получать высокотехнологичные и литые бетонные смеси и укладывать бетон в конструкции с минимальными энергетическими затратами. Вместе с тем из теории и практики применения пластифицирующих добавок известно, что в большинстве случаев они замедляют процессы гидратации и твердения, что является негативным фактором при возведении зданий из монолитного бетона. Проблема может быть решена за счет использования эффективных ускорителей твердения и применения цементов и минеральных добавок заданного химико-минералогического состава. Известно, например, что алюминатные фазы портландцемента в начальный



период гидратации связывают не только большое количество воды, но и интенсивно адсорбируют пластифицирующие добавки. В связи с этим применение пластификаторов в бетонных смесях на высокоалюминатных цементах будет менее эффективным, чем на средне- и малоалюминатных. Характер разжигающего действия пластификаторов зависит также от вида и количества минеральных добавок, вводимых в цементы и бетоны. Высокоактивные минеральные добавки, связывающие выделяющуюся при гидратации известь в гидратные фазы, например микрокремнезема, значительно снижают эффективность пластификаторов (в отличие от малоактивных и инертных минеральных добавок). В связи с этим большую реологическую эффективность суперпластификаторов можно обеспечить за счет использования тонкомолотых порошков прочных горных пород.

Перспективным направлением в технологии монолитного строительства является применение бетонных смесей, в состав которых наряду с пластифицирующими и ускоряющими добавками входят малоактивные минеральные добавки высокой дисперсности (каменная мука) в количестве до 50% от массы цемента. Основной целью применения каменной муки в составе модифицированных бетонов является повышение реологической активности пластификаторов и суперпластификаторов и повышение плотности и прочности бетона, вследствие снижения водосодержания смесей и уплотнения структуры бетона. При использовании рядовых портландцементов ПЦ 400, тонкодисперсных минеральных наполнителей, суперпластификаторов и активаторов твердения возможно повышение прочности бетона в 1,5–2 раза по сравнению с бетонами без каменной муки.

Вследствие более высокой плотности и прочности бетонов с тонкодисперсными микронаполнителями значительно повышаются эксплуатационные характеристики цементных материалов: непроницаемость, коррозионная стойкость, морозостойкость и др. Для повышения прочности бетонов высоких классов по прочности целесообразно использовать каменную муку прочных пород. С использованием каменной муки менее плотных пород и минеральных отходов производства, таких как карбонатные и другие виды шламов, могут быть значительно улучшены технологические характеристики бетонных смесей и прочностные свойства бетонов средних классов по прочности.

На первом этапе проектирования модифицированных бетонов необходима оптимизация составов по параметрам пластичности, потере подвижности, кинетики твердения и прочности.

Более сложной задачей является исследование динамики развития кристаллиза-

ционных процессов и формирования макроструктуры модифицированных бетонов. Например, достаточно сложно оценить гидравлическую активность минеральных добавок, полученных на основе горных пород полиминерального состава. Кроме того, в цементных системах, наполненных минеральными добавками до 50% от массы цемента, наряду с гидравлической активностью добавок могут проявляться эффекты активации образования и эпитаксиального наращивания гидратов на кристаллической основе минералов частиц микронаполнителей. При определенных условиях соприкосновения плоскостей зародышей кристаллизации цементных минералов и участков поверхности частиц микронаполнителя возможно образование структур срастания по бездефектным плоскостям, а также близости параметров их кристаллической ячейки.

Важное значение при рассмотрении процессов гидратации и твердения вяжущих веществ имеет состояние поверхности минеральных частиц, поскольку дефекты поверхности играют важную роль в электронном строении кристаллической решетки минералов. Ассортимент и концентрация дефектов определяет реакционную способность аморфных и кристаллических веществ.

В бетонах нового поколения для повышения технологических свойств бетонных смесей и значительного повышения физико-механических свойств бетонов необходимо кроме традиционно используемого ультрадисперсного микрокремнезема или метакаолина добавлять до 50% от массы цемента тонкомолотой каменной муки прочных горных пород. При этом наиболее эффективным технологическим приемом является добавление каменной муки без снижения расхода цемента. В этом случае достигается значительное повышение плотности и прочности бетона за счет трех основных факторов:

1) за счет увеличения цементно-минеральной матрицы, обеспечивающей лучшие реологические условия в системе (в отличие от чисто цементных систем) и, следовательно, позволяющей добиваться большего водоредуцирования при равной пластичности смесей;

2) за счет уплотнения цементной системы при введении тонкодисперсной минеральной добавки и формирования оптимальных топологических условий для образования контактов срастания между частицами;

3) повышения гидратационной активности цемента за счет применения тонкодисперсных активных минеральных добавок.

Исследования показали, что использование в рядовых бетонах классов В15 — В20 тонкомолотой гранитной каменной муки с

$S_{\text{уд}} = 9\ 200$  кв. см/г в количестве 10% от массы цемента и суперпластификатора С-3 (а также суперпластификаторов «Полипласт») позволяет повышать прочность бетона по сравнению с контрольными составами без добавок на ранних этапах в период 7 сут в 2–2,5 раза, а в более поздний период на 60–70%.

Следует отметить, что задача проектирования и производства наполненных цементных растворов и бетонов должна рассматриваться с позиций разработки высокоэффективных и ресурсосберегающих технологий, не требующих значительных энергетических затрат на улучшение физико-технических свойств минеральных микронаполнителей (помол и т. д.) с максимально возможным использованием вторичного сырья и техногенных продуктов.

В последнее десятилетие в мировой практике возведения монолитных объектов применяются мелкозернистые, бесцебеночные бетоны, модифицированные комплексными добавками различного функционального назначения. Преимущество подобных бетонов в монолитном строительстве является бесспорным.

В условиях России, при дефиците заполнителей твердых пород, применение наполненных порошковых бетонов, модифицированных супер- и гиперпластификаторами, открывает широкие возможности получения технологичных и высокопрочных бетонов, отвечающих высоким требованиям современного строительства. ●

**О. В. ТАРАКАНОВ**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Земельный и городской кадастр», декан факультета «Управление территориями»,  
**Т. В. ПРОНИНА**, аспирант,  
**Р. С. ЛОГИНОВ**, студент.  
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

