

Возможности значительного повышения качества бетонов для различного назначения.

Появление новых [высококачественных бетонов](#) открыло новую эру в строительной сфере. Их уникальные свойства позволили реализовать такие проекты, о которых недавно трудно было и мечтать.

Достаточно упомянуть тоннель под Ла-Маншем, 125-этажный небоскреб в Чикаго высотой 610 метров, мост через пролив Акаси в Японии с центральным пролетом 1990 метров (мировой рекорд 1990 года). Мост через пролив Нордамберленд в Восточной Канаде длиной 12,9 километра сооружен на опорах, которые на глубину более 35 метров погружены в воду. При крайне суровых условиях эксплуатации (ежегодно бетон подвержен 100 циклам замораживания и оттаивания) конструкции этого моста рассчитаны на срок службы 100 лет.

Выдающимся примером реализации концепции высококачественных бетонов является построенная в 1995 году в Норвегии платформа для добычи нефти на месторождении Тролл в Северном море. Ее полная высота — 472 метра, что в полтора раза превышает высоту Эйфелевой башни, в том числе высота железобетонной части — 370 метров. Платформа установлена на участке моря глубиной более 300 метров и рассчитана на воздействие ураганного шторма с максимальной высотой волны 31,5 метра. Расчетный срок эксплуатации платформы — 70 лет.

И все это благодаря [цементам](#) для особо высокопрочных бетонов, новым технологиям в их изготовлении. Если говорить конкретно, то оптимизация гранулометрического состава вяжущих в начале 70-х годов выявила значительные резервы снижения водоцементного отношения и интенсификации реакций гидратации. Вслед за получением цементных камней с прочностью на сжатие свыше 250 МПа были получены так называемые DSP-композиты (уплотненные системы, содержащие гомогенно распределенные ультрамалые частицы). Эти материалы включают в себя специально подготовленные цементы, микрокремнезем, заполнители и микроволокна. А за счет особых технологических приемов при В/Ц=0,12-0,22 удалось достичь прочности 270 МПа при высокой стойкости к коррозионным воздействиям и истиранию. Известково-кварцевые материалы с прочностью на сжатие до 250 МПа были получены путем формования под давлением 13В МПа перед автоклавированием. Аналогичная обработка цементного теста позволила снизить В/Ц до 0,06 и обеспечить прочность камня до 330 МПа в возрасте 28 суток нормального твердения, а использование алюминатных цементов и горячего прессования при давлении 345 МПа повысить ее до 650 МПа.

Пожалуй, нигде так ярко не проявляются многообразные свойства бетона как

композиционного материала, как в специальных бетонах. В них представлена вся палитра строительно-технических свойств: особо высокопрочные, особо высокоплотные, особо быстротвердеющие, кислото- и жаростойкие, радиоэкранирующие и радиоизолирующие, электропроводящие и многие другие.

Сейчас хорошо изучены бетоны на магнезиальных вяжущих. Их многие свойства лучше, чем у бетонов на портландцементе; они не требуют влажного хранения при твердении, обеспечивают высокую огнестойкость и низкую теплопроводность, у них хорошие износостойкость, прочность при сжатии и изгибе. Такие бетоны легко получать с различными видами заполнителей — как неорганических (известняк и мраморная крошка, асбест, песок, дробленый камень и гравий, каолин, гранулированные шлаки, сульфат магния и пигменты), так и органических (опилки, стружка, резиновый дробленый материал, отходы пластмасс и картонажного производства, льняная костра, битумы и т. д.). Магнезиальные бетоны характеризуются эластичностью, высокой ранней прочностью, легкостью, стойкостью к действию масел, смазок, лаков и красок, органических растворителей, щелочей и солей, включая сульфаты.

Сегодня такие [бетоны](#) широко применяются в качестве материала для полов в зданиях индустриального, торгового и жилищного назначения, а также стяжек под полы для ковровых материалов и линолеума. Их используют в качестве изоляционных составов и адгезивов, при изготовлении художественных изделий, для специальных штукатурок и легкобетонных стен.

К сожалению, масштабы применения магнезиальных бетонов пока ограничены, поскольку они неустойчивы к действию воды. Это проявляется в потере прочности при длительном водном хранении. Искусственный камень на основе оксихлорида магния нестойк и к действию некоторых кислот и солей и сам может вызывать коррозию стали и алюминия. Однако превосходные характеристики бетонов поддерживают постоянный интерес к этому материалу. Растет число исследований с целью повышения его водостойкости как за счет модифицирования вяжущего, так и за счет пропитки. Все это может оказаться не только легко осуществимым, но и экономически оправданным за счет широкого использования разнообразных отходов в качестве компонентов вяжущего и заполнителей, а также применения широко доступного и дешевого доломита как материала для замены каустического магnezита.

Достигнуты значительные успехи в применении бетонов на фосфатных [цементax](#). Благодаря очень коротким срокам схватывания их широко используют при ремонте многих объектов гражданского и промышленного строительства, прежде всего автострад, труб и сборных железобетонных изделий. Так, промышленно выпускаемые ремонтные составы на аммонийфосфатных цементах позволяют получать прочность на сжатие около 30 МПа за 45 минут твердения, а бетоны на силикатно-фосфатных цементах схватываются за 30 минут и через 4 часа имеют прочность на сжатие свыше 50 МПа. Вяжущие на основе гексаметафосфата натрия могут применяться с оксидами магния как превосходное связующее для огнеупорных бетонов и кирпича для футеровки электропечей при плавке чугуна. Через 24 часа твердения при температуре 120°С получают очень устойчивые материалы с прочностью более 65 МПа.

Другим типом бетонов с регулируемыми сроками схватывания являются бетоны на модифицированных цементах с галогеналюминатами кальция. Такие цементы готовят путем смешения портландцемента с соответствующими галогеналюминатами либо при производстве клинкера путем введения в шихту необходимого количества галогенидов кальция, причем применение фторалюминатов (или фторидов) наиболее перспективно как по экономическим соображениям, так и с учетом токсичности, возможности образования высолов на поверхности бетона и коррозионного воздействия на арматуру.

Бетоны на описанных выше цементах характеризуются короткими сроками схватывания и имеют высокую раннюю прочность, что делает их весьма привлекательными для некоторых сборных конструкций при строительстве взлетно-посадочных полос аэродромов, ремонте дорожных покрытий и т. д. Эти бетоны пригодны и для зимнего бетонирования из-за хорошего темпа твердения при температуре минус 10°C, их морозостойкость также достаточно высока и соответствует морозостойкости бетонов на портландцементе с воздухововлекающими добавками.

Несколько слов о кислотостойких бетонах. Их получают на основе связующего — растворимого стекла — высоковязкий водный раствор силикатов натрия или калия с высоким силикатным модулем. Заполнители для таких бетонов должны обладать растворимостью в кислотах максимум 1 процент по массе, что, прежде всего, определяется их минералогическим составом и структурой. Как правило, используют плотные кварц, базальт или порфир, причем в отличие от цементных бетонов повышение доли тончайших фракций сказывается в высшей степени позитивно. Именно поэтому заполнители обычно содержат около 30 процентов частиц с крупностью <0,25 мм. Растворимое стекло вводится при приготовлении бетона в количествах, необходимых для обеспечения нормальной удобоукладываемости (около 12 процентов).

Иногда применяют порошкообразные отвердители для ускорения созревания (чаще всего — фторсиликат натрия) и [пластификаторы](#), поскольку перемешивание и уплотнение бетонных смесей весьма трудоемко.

Ярким примером развития новых технологий являются бетоны на цементах (вяжущих) низкой водопотребности (ЦНВ, ВНВ).

ЦНВ получают по специальной технологии совместным помолом ингредиентов: клинкера или готового портландцемента и сухого модификатора, а также при необходимости активной минеральной добавки (золы-уноса, пуццолана, шлака и т. п.) и/или наполнителя, а также гипсового камня (гипса). Механохимическая обработка позволяет синергетически усилить полезные свойства компонентов комплексного вяжущего: прочность цемента возрастает на 2-3 марки, а пластифицирующий эффект органического компонента модификатора увеличивается примерно в два раза. На практике это приводит к снижению водосодержания изопластичных бетонных смесей до 120-135 л/м³ и В/Ц до 0,25-0,30 для подвижных смесей и до 0,20-0,25 — для жестких (под Ц здесь понимается расход вяжущего).

Заметным преимуществом применения бетонов на ЦНВ является снижение температуры изотермического прогрева или полный отказ от тепловой обработки. Так, при изготовлении объемных блоков из мелкозернистого бетона при температуре прогрева 35-50°С выявлена возможность сокращения ТВО в два раза, причем проектная прочность достигалась уже в возрасте 1 суток, а в возрасте 28 суток фактическая прочность превышала проектную на 50-70 процентов и более.

Наряду с этим эффективность использования ЦНВ обусловлена снижением расхода вяжущего при изготовлении 1 м³ равнопрочных бетонов: коэффициент использования вяжущего по данным промышленной апробации составляет 1,7-2,4 для тяжелого бетона и 1,3-1,4 — для мелкозернистого (коэффициент использования портландцемента — 0,6-0,9, т. е. каждому килограмму расхода портландцемента соответствует 0,06-0,09 МПа прочности бетона).

Особенностью ЦНВ является многовариантность составов и соответственно свойств вяжущих, дающая возможность наиболее полно реализовать потенциал портландцементного клинкера в зависимости от конкретных требований, предъявляемых технологией производства и условиями эксплуатации бетонных и железобетонных изделий и конструкций. Известно, например, что использование на практике принципов механохимической активации позволило получить вяжущие, качество которых при содержании в них 50-70 процентов минеральных добавок не уступает качеству цементов марок 500-600 (класса 45 по EN). При замене гипса в ЦНВ на химические регуляторы схватывания и твердения, а также с применением специальных добавок, понижающих точку замерзания воды в бетоне, получена широкая гамма вяжущих для ведения бетонных работ при отрицательных температурах. Наконец, особого внимания заслуживают полученные по технологии ЦНВ новые гипсовые, гипсоцементопуццолановые и пробужденные безклинкерные вяжущие, бетоны на которых характеризуются повышенными по сравнению с аналогичными традиционными бетонами прочностью и стойкостью при воздействии внешних факторов.

Важно при этом подчеркнуть, что все бетоны на ЦНВ отличаются значительно меньшей энергоемкостью, а с экологической точки зрения новая технология позволяет почти вдвое сократить выбросы промышленных газов в цементной промышленности и вовлечь в производство огромное количество разнообразных техногенных отходов.

Наметились неплохие перспективы замены обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В них используются химические модификаторы структуры, свойств и технологических характеристик, в том числе комплексные модификаторы, включающие порой несколько десятков индивидуальных химических добавок, активные минеральные компоненты различной дисперсности (от 2000 до 25000 см²/г) и в ряде случаев композиционные вяжущие вещества, в том числе вяжущие низкой водопотребности, расширяющие добавки (неорганические и органические), дисперсные волокнистые наполнители (углеволокно, стекловолокно, полипропиленовая и кевларовая фибра, асбест, растительные волокна и т. д.), а также другие специальные компоненты. Многокомпонентность бетонной смеси позволяет эффективно управлять

структурообразованием на всех этапах технологии и получать материалы с самым различным комплексом свойств.

Вместе с тем многокомпонентность системы повышает одновременно требования к дозированию материалов и перемешиванию бетонной смеси, так как часто требуется вводить модификатор (часто не один, а несколько) в очень небольших количествах и перемешивать высокодисперсные порошки (цемент + наполнитель) до получения однородной массы, что может быть обеспечено только за счет применения соответствующего оборудования.

Расширяется применение мелкозернистого бетона. Этот вид бетона при правильно подобранном составе характеризуется высококачественной структурой и отличается высокой технологичностью, позволяет сравнительно просто изготавливать изделия как методом прессования с немедленной распалубкой, так и методом литья, что особенно удобно для монолитного домостроения, и, кроме того, он легко и эффективно модифицируется с помощью органоминеральных добавок, обеспечивая получение материалов с различным комплексом свойств. Его несомненное достоинство — использование дешевых местных песков. Это позволяет снизить стоимость бетона на 15-25 процентов по сравнению с крупнозернистыми бетонами на **щебне**. Мелкозернистый бетон важен для получения тонкостенных и слоистых конструкций, декоративного бетона и фибробетона, в которых сочетаются различные материалы, конструкции и изделия переменной плотности, в том числе фильтрующие.

Сегодня интенсивно совершенствуются теплоизоляционные поробетоны, в том числе с эффективными пористыми заполнителями (полистиролом, вспученным перлитом и вермикулитом, легкими керамзитами) и армирующими волокнами. Варьируя вяжущие, порообразователи, активаторы твердения и различные защитные составы, можно получить изделия и ограждающие конструкции, эксплуатационные характеристики которых будут заметно превосходить характеристики лучших синтетических материалов с одновременным улучшением «среды обитания» и повышением срока службы зданий и сооружений.

При производстве новых видов бетона, изделий и конструкций получает развитие интенсивная технология. В ней используются механохимическая активация сырьевых смесей, скоростные турбулентные смесители, в том числе двухкамерные, баротермическое воздействие, электроимпульсные и волновые агрегаты, компьютерное управление технологией и качеством материала, пропитка готовых изделий и конструкций специальными глубоко проникающими и отвергающимися композициями, близкими по структуре свойствам к бетону, новые материалы, полученные в результате развития нанотехнологий (например, наносил и катов с удельной поверхностью свыше 180000 см²/г вместо микрокремнезема) литье, каландрирование и другие технологические приемы.

Высококачественные бетоны позволяют создать «дом XXI века», в котором высокопрочный каркас с долговечностью более 200 лет станет сочетаться с эффективными ограждающими конструкциями из суперлегкого и декоративного

бетона и с периодически обновляемыми инженерными сетями и отделкой, что даст возможность получить архитектурно выразительное быстровозводимое и легко трансформируемое комфортабельное жилье, а также объекты социальной сферы, подземные «мини-города», специальные и другие сооружения.

Для обеспечения строительства новым поколением строительных композитов необходимо интенсифицировать развитие родственных отраслей промышленности, например, для создания и производства новых композиционных вяжущих, в том числе с уменьшенным содержанием клинкера, на безклинкерной основе, с применением гипса, извести, зол, шлака и других видов сырья. Важно развивать строительную химию для производства химических модификаторов различного назначения и расширяющих добавок, в том числе из техногенных отходов ультрадисперсионных активных минеральных наполнителей, ультрадисперсионных; волокнистых наполнителей, пигментов, смазок, клеев и других материалов. Не рудная промышленность должна поставлять новые виды заполнителей, в том числе суперлегкие.

Как показывает мировой опыт, инвестиции в подобные производства быстро окупаются, а продукция является высоко рентабельной. За рубежом, например, именно промышленность строительных материалов быстро развивает сегодня собственные производства по переработке различного химического сырья, вторичных продуктов металлургии, горнодобывающей и других отраслей промышленности и энергетики. Вновь разрабатываемые бетоны с повышенным содержанием гранулированного шлака, золы-уноса, золы рисовой шелухи, метаксаолина, цеолитов, других активных минеральных добавок и техногенных отходов расширяют и без того безграничное поле применения этого удивительного материала, без которого трудно представить себе строительный комплекс.

