

## РЕЖИМЫ ТВЕРДЕНИЯ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА С ДОБАВКОЙ «УКД-1»

*МАРКО О. Ю.*

Белорусско-Российский университет  
Могилев, Беларусь

**Введение.** При круглогодичном ведении бетонных работ в монолитном строительстве нашей Республики реализуются два базовых варианта твердения бетона. В летний период (традиционно с апреля-мая по сентябрь-октябрь) – естественное твердение бетона и с ноября по март (иногда и апрель) – твердение с вариантами прогрева (нагрева, обогрева) бетона строительных конструкций. Традиционные технологии бетонирования с разными вариантами прогрева (нагрева, обогрева) бетона (с учетом специфики зимнего периода работ) характеризуются значительной продолжительностью твердения бетона до набора требуемой прочности, т.к. температура прогрева преимущественно не превышает (40–50)°С, и большими затратами энергии, достигающими 100 и более кВт·ч на 1 м<sup>3</sup> бетона.

В этой связи в настоящих исследованиях поставлена задача ускорения темпа роста прочности бетона в технологии монолитного бетонирования и снижения энергетических затрат при прогревах бетона.

Одним из технологически приемов решения этих задач является использование комплексных химических добавок в бетон, проявляющих эффект пластификации (и способствующих росту плотности и непроницаемости бетона за счет снижения его начального водосодержания).

Приведенным критериям полностью отвечает новая химическая добавка «УКД-1», разработанная в Беларуси с использованием в составе отечественного углеродного наноматериала (УНМ) и обладающая эффективным сочетанием пластифицирующе-ускоряющего воздействия на цементный бетон.

Комплексная добавка для бетона «УКД-1» – пластифицирующая добавка I группы, ускоряющая твердение, применяется для приготовления бетонных смесей, предназначенных для изготовления

бетонных и железобетонных изделий и конструкций, вяжущими для приготовления которых являются цементы на основе портландцементного клинкера.

Углеродные наноматериалы как таковые и их влияние на цемент в индивидуальном порядке не входили в задачи настоящих исследований. Применительно к отечественным УНМ, как разработке академика С.А. Жданка и его сотрудников [5, 6], исследования по их применению в цементных бетонах выполнялись в БНТУ под руководством профессора Э.И. Батяновского [1–4].

В материалах статьи отражаются этапы экспериментальной разработки технологии бетона, модифицированного этой добавкой, и энергосберегающей технологии зимнего бетонирования с его применением. Разрабатываемая технология должна обеспечить повышенный темп твердения бетона (т. е. рост прочности в начальный период) при снижении температуры его разогрева и последующем твердении без подвода тепла (энергии) с максимально возможным использованием собственного тепловыделения (экзотермии) реагирующего с водой цемента. Базирующаяся на этих принципах технология позволит обеспечить необходимый температурный режим ускоренного твердения бетона, благоприятный для формирования его структуры и свойств при минимально необходимых энергетических затратах.

Методика и результаты экспериментов. Общий методологический подход заключался в последовательном накоплении теоретических и экспериментальных данных о влиянии добавки «УКД-1» – вначале на свойства цемента и цементного камня, включая оценку воздействия его вещества в целом и компонентов (ускоряющего – сульфата натрия (СН) и пластифицирующего – «Суперпласт С-3» (далее – СП)), на морфологические изменения в продуктах гидратации вяжущего с целью установления механизма действия добавки на процессы его взаимодействия с водой, кинетику схватывания и твердения цемента.

С учетом полученных данных исследовали закономерности изменения формовочных свойств пластичных бетонных смесей во времени под влиянием вещества добавки «УКД-1», ее компонентов и сопровождающих технологических факторов: свойств цемента, температуры (смеси и среды), механического воздействия на смесь

(имитация различных условий ее транспортирования), для выработки соответствующих рекомендаций при практическом использовании разработки.

На следующем этапе работы исследовали кинетику твердения (темп роста прочности (на сжатие)) бетона и разрабатывали его составы с добавкой «УКД-1» в диапазоне классов  $C^{12/15}$ – $C^{25/30}$ , подвижностью марок П1...П5. На этом основании разработали (путем экспериментального обоснования) энергосберегающие режимы твердения бетона для зимних условий ведения бетонных работ и сформулировали рекомендации в форме технологического регламента на применение энергосберегающей технологии зимнего бетонирования с использованием бетона, модифицированного комплексной химической добавкой «УКД-1».

Влияние исследуемой комплексной углеродосодержащей добавки «УКД-1» и ее составляющих на процесс твердения цемента и тяжелого конструктивного цементного бетона исследовали, используя результаты экспериментов, проведенных в лабораториях кафедр «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ (г. Минск) и «Промышленное и гражданское строительство» БРУ (г. Могилев), а также в лаборатории и на объектах ОАО «Стройтрест №12» (г. Могилев) и заводской лаборатории ОП «Стройпрогресс» ОАО «МА-ПИД» (г. Минск).

На начальном этапе исследований по кинетике твердения (росту прочности на сжатие) бетона определили оптимальную дозировку добавки «УКД-1» в бетон по методике ГОСТ 30459–96 [8] на стандартизированном составе бетона (цемента (М500 Д0; № 6 по таблице 2.5) – 350 кг;  $Щ$  = 1100 кг;  $П$  = 750 кг;  $В$  = 175 кг; подвижность смеси: ОК ~ (3–4) см) и твердении образцов (100x100x100 мм) в нормально-влажностных ( $\phi \geq 90\%$ ;  $t \sim 20^\circ\text{C}$ ) условиях. Для сравнения оценивали кинетику твердения бетона без добавок, с добавкой ускорителя твердения сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и с исследуемой добавкой «УКД-1» в разных дозировках относительно массы цемента. Во всех случаях придерживались принципа равноподвижности бетонных смесей, поэтому в основных составах с «УКД-1» водосодержание  $(В/Ц)_6$  было ниже (результаты исследований с материалами статьи отражены частично).

Отслеживали кинетику роста прочности образцов бетона на сжатие при твердении в формах, имитирующих опалубки разных типов ( $K_m = 0,6-3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ ) (табл. 2), на воздухе с температурой от  $-5^\circ\text{С}$  до  $-20^\circ\text{С}$ .

Таблица 2

### Характеристики форм-опалубок

Материал форм-опалубок и крышек	Коэффициент (расчетный) теплопередачи стенок форм
1	2
1. Доска, 25 мм	2,44
2. Металл (сталь), 10 мм	3,50
3. Металл (10 мм) + 60 мм минераловатная плита	~ 1,00
4. Фанера (12 мм) + 60 мм минераловатная плита	~2,98 / ~ 0,60

В процессе исследований периодически испытывали образцы бетона на прочность (сжатие). Эти результаты отражали кинетику ее роста в условиях, характеризовавшихся различной температурой окружающей среды и коэффициентом теплопередачи опалубки. Одновременно оценивали различные условия для накопления (аккумуляции) теплоты экзотермии цемента и обусловленного этим уровня температуры саморазогрева бетона, что фиксировали с помощью датчиков-термопар, установленных в геометрический центр бетонных образцов, размерами  $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ .

На рис. 1 частично представлены данные в виде графиков, отображающих общую тенденцию кинетики твердения (роста прочности) бетона без добавок (№ 1) и с добавками 1 % СН (№ 2) и 1 % «УКД-1» (№ 3).

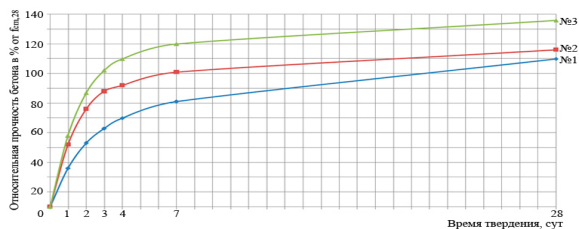


Рис. 1. Тенденция кинетики твердения бетона в нормально-влажностных условиях: № 1 – бетон без добавок; №2 – с 1 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; №3 – с 1 % «УКД-1»

Анализ всей совокупности результатов экспериментов показывает преимущество комплексной добавки «УКД-1» в сравнении с монодобавкой ускорителя твердения сульфата натрия. Одновременно следует отметить, что, несмотря на снижение водосодержания бетона в равноподвижных смесях с введением добавки «УКД-1» в дозировке 0,5%–0,75% от МЦ, прочность в начальные сроки (1–2 сутки) твердения была близкой к величине по отношению к бетону с 1%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Очевидно, что этот эффект связан с замедляющим реакцией цемента с водой действием пластифицирующего компонента «УКД-1». Однако, общий уровень прочности образцов бетона с добавкой «УКД-1» оказался выше, чем образцов с 1%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , несмотря на то, что ускоряющего компонента (того же  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) в «УКД-1» при ее дозировке 0,5% – 1,0% от МЦ заведомо меньше. Отсюда следует вывод о дополнительном эффекте ускорения твердения (роста прочности) цементного бетона «присадкой» структурированного углеродного наноматериала, содержащегося в добавке «УКД-1» и установленного в исследованиях [1–4].

По результатам экспериментов прочность бетона с добавкой «УКД-1» (за счет совокупного эффекта от снижения водосодержания и действия компонентов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и УНМ) составила от 112% (0,5% «УКД-1») до 130% (2,0% «УКД-1») от прочности образцов бетона из равноподвижных смесей без добавок.

Выявленные закономерности саморазогрева бетона и влияния его на кинетику роста прочности бетона с добавкой «УКД-1» позволили сформулировать рекомендации по назначению режимов его естественного твердения (беспрогревная технология) в зависимости от температуры окружающей среды, начальной температуры свежешуложенного бетона и теплоизолирующих качеств опалубки.

Основным режимом тепловой интенсификации твердения бетона по малоэнергоёмкой технологии был электродный разогрев до заданной температуры и последующее твердение по методу термоса. Поверхность бетона гидроизолировали полиэтиленовой пленкой и термоизолировали прижимной крышкой из материала формы при одинаковом коэффициенте теплопередачи.

Условия твердения бетона при температуре воздушной среды в диапазоне:  $t_{\text{ис}} = -5 \dots -20^\circ\text{C}$ , обеспечивали, помещая образцы в формы в климатологическую камеру-морозильник, отрегулированную на соответствующей конкретному эксперименту температурный режим.

Добавку «УКД-1» вводили в бетон в наиболее рациональном количестве – 1% от МЦ; уровень температуры разогрева бетона соответствовал практикуемому в строительстве: 30–50°C. Разогрев бетона осуществляли электродным методом до температуры 30, 40 и 50°C. Одновременно на разогреве находилось до 12 форм с образцами.

Данные, отражающие зависимость кинетики роста прочности бетона с добавкой «УКД-1» при различной температуре начального разогрева, температуре среды твердения, степени теплоизоляции форм приведены на рис. 2.

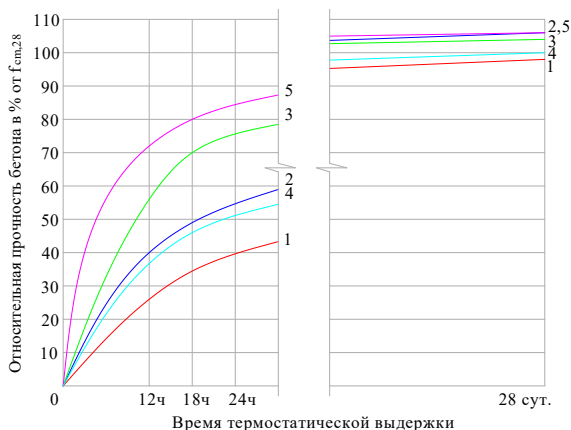


Рис. 2. Кинетика роста прочности бетона с начальным разогревом и твердением в условиях термоса: 1 – состав бетона № 1 (по таблице 3), форма опалубки № 1 (по таблице 2),  $t^\circ$  разогрева бетона 30°C; 2 – состав бетона № 3, форма опалубки № 1,  $t^\circ$  разогрева бетона 30°C; 3 – состав бетона № 3, форма опалубки № 4,  $t^\circ$  разогрева бетона 30°C; 4 – состав бетона № 4, форма опалубки № 1,  $t^\circ$  разогрева бетона 50°C; 5 – состав бетона № 4, форма опалубки № 4,  $t^\circ$  разогрева бетона 50°C

Анализ полученных экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы.

Неутепленная опалубка нерациональна к использованию при реализации малоэнергоемкой технологии в зимний период работ. При использовании утепленных типов опалубок, даже при устройстве тонкостенных конструкций с модулем теплоотдающей поверхности до  $M_n \sim 40 \text{ м}^{-1}$ , добавка «УКД-1» в сочетании с разогревом бетона до 50°C обеспечивают достижение им прочности до 75–95 % в пределах 24 ч твердения при температуре наружного воздуха  $t_{нв} = -5 \dots -20^\circ\text{C}$ .

Влияние повышения температуры начального разогрева бетона закономерно проявляется в повышении темпа роста его прочности во всех исследованных случаях, при прочих равных условиях. Следует отметить, что повышение температуры разогрева бетона с добавкой, способствуя более высокому темпу роста его прочности в начальный период, отражается закономерным понижением ее в проектном возрасте. Кроме того, с ростом температуры разогрева увеличиваются и энергетические затраты, что снижает эффективность технологии. Поэтому, более целесообразно реализовать разогрев до минимально необходимой температуры бетона с добавкой, но использовать при этом утепленные типы опалубок.

**Заключение.** Выявленные закономерности роста прочности бетона с добавкой «УКД-1» в зависимости от сочетания важнейших факторов: температуры разогрева, теплозащитных качеств опалубки, температуры среды твердения, продолжительности твердения, положены в основу рекомендаций по назначению режимов твердения монолитного бетона по малоэнергоемкой технологии и в опытно-производственном порядке успешно апробированы при изготовлении сборных железобетонных изделий (на ОП «Стройпрогресс» ОАО «МАПИД» г. Минска) и на объектах ОАО «Стройтреста № 12» г. Могилева.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батяновский Э.И., Галузо Г.С., Мордич М.М. Особенности применения углеродных наноматериалов в конструкционно-теплоизоляционных пенобетонах. Сборник материалов Девятой международной научно-технической конференции «Наука - образованию, производству, экономике». – Минск, БНТУ. – 2011-С.272-273.
2. Батяновский Э.И., Крауклис А.В., Самцов Петр П., Рябчиков П.В., Самцов Павел П. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня. Научно-технический журнал «Строительная наука и техника». – 2010. – № 1-2(28-29). – С. 3-10.
3. Батяновский Э.И., Рябчиков П.В., Якимович В.Д. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента. XVI Межд. науч.-метод. Семинара/ Под общ. Ред. П.С. Пойты, В.В. Тура. – Брест: БрГТУ, 2009. – ч. 2. – С. 136.

4. Батяновский Э.И., Якимович В.Д., Рябчиков П.В. Особенности технологии высокопрочного бетона на отечественных материалах, включая наноуглеродные добавки. Сборник материалов III международного симпозиума «Проблемы современного бетона и железобетона». – Минск, РУП «БелНИИС». – 2011-С.53-68.(Т.2).

5. Жданок, С.А., Крауклис, А.В., Самцов, П.П., Волжанкин, В.М. Установка для получения углеродных наноматериалов. Патент № 2839.

УДК 693.11

## ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЕНОБЕТОНА

*МОРДИЧ М. М., БАТЯНОВСКИЙ Э. И.*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

**Введение.** Широкое применение в строительном производстве пенобетона – как теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного материала, сдерживается во многом из-за значительной усадки и вызываемых ей трещинообразования, а также уменьшения высоты (осадки) с ростом толщины одновременно формируемого слоя из этого материала. Поэтому важнейшим условием повышения качества пенобетона является обеспечение его устойчивости к усадочным явлениям в начальный момент твердения, в сочетании с повышением его физико-технических характеристик. Решить такую задачу позволяет использование современных химических добавок, способных улучшить его качество. В частности, с этой целью оценивали эффективность в пенобетоне разных по природе пенообразователей, ускорителей схватывания и твердения цемента (бетона), а также пластифицирующих добавок, обеспечивающих снижение в материале водо-твердого отношения.

**Методики и результаты исследований.** Для определения оптимального соотношения компонентов на начальной стадии исследования вели с позиции выбора оптимального порообразующего вещества, а именно – пенообразователя. Основываясь на результатах