

# Актуальные вопросы применения современных материалов, конструкций и методов расчета

---

---

## К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ НА СВОЙСТВА ЗИМНЕГО БЕТОНА

*Р. Т. Бржанов*

*Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга  
им. Ш. Есенова, г. Актау (Казахстан)*

Около 5–8 % цемента перерасходуется из-за плохого состояния составляющих компонентов смеси. С учетом условий стройплощадки завышение расхода цемента приводит к значительному перерасходу материалов и, как следствие, удорожанию строительства.

Общее развитие науки о бетонах позволяет, в известной мере, управлять свойствами этих материалов с позиций ресурсо- и энергосбережения, обеспечения высокого качества готовой продукции, создания высоко автоматизированных технологических линий приготовления бетонной смеси, и поэтому остается одним из актуальных направлений исследований в технологии строительного производства.

Развитие монолитного строительства требует на 35–40 % меньше капитальных вложений, чем развитие предприятий по производству сборных конструкций.

Основными причинами, сдерживающими развитие монолитного строительства, являются следующие: низкая степень индустриализации по сравнению с полносборным строительством, слабая производственная база, невысокий уровень организации строительных работ и технологических процессов возведения монолитных конструкций.

Долгое время понятие «индустриализация строительства» отождествлялось с понятием «сборность», что привело к развитию строительства из сборных железобетонных конструкций и к значительному отставанию в разработке и применении индустриальных методов возведения зданий из монолитного бетона.

Растущий интерес к использованию монолитного бетона и железобетона требует решения важных задач по повышению эффективности монолитного строительства. За последние годы выполнен ряд исследований, в результате которых наметились значительные сдвиги в повышении уровня организации и технологии возведения монолитных зданий и сооружений, в

том числе в области совершенствования технологии приготовления бетонной смеси.

Одним из направлений в области совершенствования этой технологии является активация сырьевых компонентов, в частности воды затворения. Имеющийся на сегодня парк бетоносмесительных установок, выпускаемых нашей промышленностью, может быть дополнен узлами, совершенствующими технологический процесс приготовления смеси за счет использования опыта исследований по активации сырьевых компонентов. Существующие методы активации практически не требуют изменения основного технологического процесса приготовления бетонной смеси, однако существенно способствуют улучшению ее физико-механических (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость), технологических (удобноукладываемость, перекачиваемость) и эксплуатационных свойств, а также позволяют управлять процессом твердения и снижать расход цемента. Таким образом, при сравнительно небольшом удорожании бетонных смесей существенно повышается эффективность использования бетонов.

Приготовление строительной смеси – важнейший технологический этап в комплексе бетонных работ. В процессе приготовления формируется потенциальный уровень характеристик качества бетона, который не может быть повышен на последующих технологических переделах.

Формирование свойств бетонной смеси начинается с ее приготовления и продолжается при транспортировании, укладке, уплотнении и твердении. Эти операции во многом определяют качество бетона в конструкциях, его эксплуатационные характеристики.

Технология приготовления строительных смесей (цементной, растворной и бетонной) с использованием воды затворения, предварительно обработанной электрическим полем, позволяет уменьшить влияние негативных факторов, повысить эффективность и интенсивность технологического процесса приготовления смесей и получения бетонов и растворов с улучшенными свойствами (повышение качества и прочности, подвижности смеси, морозостойкости, снижения сроков распалубки конструкций и др.).

Использование методов активации компонентов смеси электрическим полем в технологии приготовления бетонной смеси влияет как на процессы коагуляции, структуро- и гидратообразования, так и на возникновение конденсационно-кристаллизационной структуры цементного камня, которая образуется за счет непосредственного химического взаимодействия частиц с образованием жесткой объемной структуры [1].

Недостатком известных способов является большие энергозатраты на реализацию способа изготовления бетона и обеспечение прочности бетона в ранние сроки твердения на морозе. В современной технологии цементных бетонов такой очевидный путь повышения прочности гидратированных вяжущих и эффективности бетонов за счет ускорения гидратации, как увеличение тонкости помола цемента от традиционного уровня по

удельной поверхности 3000–3500 см<sup>2</sup>/г до 4500–6000 см<sup>2</sup>/г, оценивается сегодня как не всегда оправданный по технико-экономическим соображениям из-за значительного снижения производительности помольного оборудования, повышения энергозатрат и стоимости цемента [2].

Наиболее экономический целесообразным и технический осуществимым в технологии бетона является применение микровспененной воды в качестве воды затворения.

Микровспененная вода может быть получена кавитацией, создаваемой различными устройствами – ультразвуком, вибрацией, центробежным раскручиванием и пр. Произведена радикальная диссоциация воды без электролиза с образованием водорода и кислорода (Г. А. Домрачев, Д. А. Селивановский, Москва):

- тонкой струи об абразивные поверхности,
- прокачивание водно-воздушной смеси под давлением через съемные абразивы;
- подача тонкой струи воздуха или газо-жидкостной смеси в жидкость под давлением 3–7 атмосфер.

Кавитацию также можно создавать ультразвуком, разрядом конденсаторов в воде (по Юткину), гидравлическим ударом, микровзрывам и различными резонансными технологиями, волновыми генераторами (Научный центр нелинейной волновой механики и технологий РАН).

Микровспененная вода за счет своего атомного строения имеет большую проницаемость и растворяющие свойства. За счет увеличения угла смачиваемости цемента при применении микровспененной воды . полнее проходит реакция гидратации ее.

Гидратация цемента создает жесткую, неоднородную микроструктуру. При введении воды в цемент для образования теста, которое твердеет со временем, в гидратированном цементном тесте наблюдаются следующие микроструктурные фазы: 1) гель гидрата силиката кальция C-S-H, 2) гидроокись кальция CH, 3) гидрат сульфоалюмината, 4) моносulfат, 5) цементные частицы, не участвовавшие в гидратации, 6) воздушные пустоты. От этих микроструктурных фаз зависят макроскопические такие свойства цементных материалов, как прочность, вязкость, ранневозрастная реология (текучесть) и долговечность. Контроль макроскопических свойств требует детального знания структуры данных фаз на уровне мельчайшего размера. Среди различных фаз первая C-S-H является наиболее важным продуктом гидратации и занимает 50–70 % от общего объема теста. Эта главная связующая фаза управляет макроскопическими свойствами цементного теста, но микро- и наноструктура C-S-H не очень хорошо изучены. В исследовании группа ученых использовала атомный микроскоп для получения картин образцов цементного теста в возрасте 6 месяцев. Образцы касались портландцемента типа I с В/Ц = 0,5. На изображениях,

полученных с помощью данного микроскопа, С-S-H выглядят как сферические частицы различного размера в различных зонах.

Кроме того, впервые в исследованиях ученые экспериментально определили механические свойства на нано уровне переходной сопряженной зоны в растворе и бетоне. В бетоне на стыке цементного раствора и поверхностей частиц заполнителя есть зона высокой пористости и склонности к образованию микротрещин. Эта зона называется переходной сопряженной зоной. Это самое слабое звено в бетоне нормальной прочности и она влияет на прочность бетона и долговечность. Среди исследователей принято считать, что свойства переходной сопряженной зоны должны учитываться при моделировании общих механических свойств и характеристик проницаемости бетона. Но значения модуля, используемые в применяемых моделях, не подтверждены ни теоретически, ни экспериментально из-за практических трудностей измерения таких мелких узких зон в 10–20 микрон вокруг грубых частиц заполнителя. Исследователи с успехом использовали метод визуализации нанопенетрометра для рассмотрения этого феномена.

Скорость гидратации различных минералов цемента различна. Вначале гидратируют слабые минералы цемента, которые экранируют гидратацию более прочных минералов цемента и замедляют процесс набора прочности бетоном. При действии отрицательных температур эти слабые связи не могут противостоять силам расширения воды при замерзании. Микровспененная вода затворения, имея хорошую проницаемость, растворяет более прочные минералы цемента и создает необходимую для сопротивления морозу прочность бетона.

Предварительные итоги экспериментов получены к.т.н., доцентом Р. Т. Бржановым и старшим преподавателем кафедры «Строительство» СКГУ К. К. Жапаркановым на основе сравнительных испытаний прочности тяжелого бетона, приготовленного на обычной воде из городского водопровода и активированной (микровспененной) воды по технологии Б. Б. Аспандиярова и С. Ф. Ивлева. Состав бетона для обоих испытаний отличался лишь водой затворения бетонной смеси. Одна серия образцов после изготовления была помещена в холодильную камеру с температурой  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а другая хранилась при нормальных условиях.

Расход материалов на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси составил: цемент – 330 кг, песок – 680 кг, щебень – 1325 кг, В/Ц – 0,5 [3].

Этот расход материалов был подобран для бетона В20 (М250) на цементе марки 300. Испытания были проведены на образцах кубах с размером ребра 100 мм.

В таблице 1 приведены сведения о результатах сравнительных испытаний бетона на микровспененной и обычной воде.

## Результаты сравнительных испытаний

№	Возраст (сутки)	На обычной воде		На микровспененной воде	
		Прочность МПа (кг/см <sup>2</sup> )	Прочность, Мпа (кг/см <sup>2</sup> ) Замороженные	Прочность МПа (кг/см <sup>2</sup> )	Прочность, МПа (кг/см <sup>2</sup> ) Замороженные
1	3	13,1 (131)	11,1 (111)	15,4(15)	14,4(144)
2		13,3 (133)	11,3 (113)	16,6(166)	15,6(156)
3		13,7 (137)	11,7 (117)	16,2(162)	14,2(142)
4	7	16,8(168)	11,8(118)	18,2(182)	17,2(172)
5		15,5 (155)	12,5 (125)	19,0(190)	17,0(170)
6		15,5 (155)	12,8 (128)	18,8(188)	17,8(178)
7	28	25 (250)	22 (220)	29,7 (297)	29,2 (292)
8		24,7 (247)	21,7 (217)	29,4 (294)	28,7 (287)
9		25,8 (258)	23,8 (238)	29,7 (297)	28,5(285)

Сравнительные испытания тяжелого бетона на обычной воде и микровспененной воде позволяют сделать следующие выводы.

1. Прочность бетона на экспериментальной воде выше прочности бетона на обычной воде в среднем на 20 %, что позволяет экономить расход цемента на 10–15 % на 1 м<sup>3</sup> бетона.

2. Интенсивность набора прочности бетона на экспериментальной воде возрастает более интенсивно в начальные сроки, что очень важно для зимнего бетонирования.

3. За счет микропористой структуры бетона уменьшаются деструктивные процессы от расширения замерзающей воды в бетоне.

## Литература

1. Юдина, А. Ф. Бетонная смесь на воде затворения, предварительно обработанной электрическим полем / А. Ф. Юдина // Весь бетон : интернет-журнал. – 2008.

2. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. – М. : Стройиздат, 1989. – 188 с. – Библиогр.: с. 177–186.

3. Бржанов, Р. Т. Способ приготовления бетонной смеси : иновационный патент № 25941 / Р. Т. Бржанов, В. К. Бишимбаев. – Бюллетень изобретения РК № 8 от 15.08.2012 г.