

05.23.05  
Б93

На правах рукописи

Бутакова Марина Дмитриевна

**БЕТОНЫ УСКОРЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ  
С КОМПЛЕКСНОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ**

Специальность 05.23.05-«Строительные материалы и изделия»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пермь – 2000

Читальный зал  
«Профессорский»

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Б.Я. Трофимов.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор А.Н. Чернов,  
к.т.н., доцент С.В. Раскопин.

Ведущая организация – ОАО «УралНИИстромпроект» (г. Челябинск).

Заплита состоится « \_\_\_\_ » 2000 года, в \_\_\_\_ часов, на заседании диссертационного совета К 063.66.12 в Пермском государственном техническом университете по адресу: 614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пермского государственного технического университета.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » 2000 года.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат экономических наук,

доцент \_\_\_\_\_



А.В. Калугин



## Общая характеристика работы

### Актуальность проблемы

Бетон и железобетон являются основными конструкционными строительными материалами, обеспечивающими потребности промышленного и гражданского строительства.

Суровые климатические условия большинства регионов России, снижение качества сырьевых материалов делают актуальной задачу получения долговечных строительных конструкций, противостоящих неблагоприятным факторам внешней среды. Вместе с тем развивающийся энергетический кризис ставит в ряд наиболее актуальных и проблему снижения расхода теплоносителей при производстве железобетонных изделий и конструкций. Одним из наиболее эффективных и технологичных способов решения данной проблемы является ускорение твердения бетона путем введения химических добавок. При этом на использование широкой группы добавок ускорителей твердения, как правило, неорганических солей, накладывается ограничение, связанное, в первую очередь, с негативными моментами, определяющими возможность протекания внутренних коррозионных процессов в присутствии данных добавок.

Так, наличие ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в составе бетонной смеси (вводимые с целью интенсификации процессов гидратообразования), способствуют коррозии арматуры, а добавки щелочей – протекания внутренней коррозии и т.п.

Это определяет необходимость дополнительного модифицирования структуры бетонов ускоренного твердения путем введения дополнительных добавок. Наиболее эффективно влияет на формирование структуры, набор прочности и долговечность бетонов введение высокоактивных минеральных добавок в комплексе с пластификаторами.

Таким образом, решение затронутых проблем ставит исследовательскую задачу создания эффективных добавок, обладающих полифункциональностью действия: ускорением твердения бетона и модифицированием его структуры. Вместе с тем, механизм влияния органоминеральных модификаторов в составе комплексной добавки, включающей электролит, на долговечность бетона в условиях, благоприятных для протекания внутренней и морозной коррозии, не достаточно изучен и требует дополнительных исследований. Исследованию вопроса направленного формирования структуры и свойств цементных бетонов ускоренного твердения при введении полифункциональных добавок и посвящена данная диссертация. Работа выполнялась в соответствии с государственными темами 1.6.96 на 1996...1997 годы по проблеме «Разработка теоретических основ и методов ускорения твердения бетона» и 1.5.98 Ф на 1998...2000 годы по проблеме «Основы теории и практики формирования стойких конгломератов».

**Публикаций: основное содержание работы опубликовано в 4 статьях и 3 научно-технических отчетах.**

**Объем работы:** диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающей 176 наименования, приложений на 2 страницах и содержит 160 страниц машинописного текста, 29 таблиц и 18 рисунков.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Первая глава работы посвящена обзору литературы по вопросам, касающимся особенностей структурообразования и свойств бетонов на различных добавках, в том числе и полифункциональных. Кроме этого, рассмотрено множество работ посвященных проблеме ресурсосбережения путем ускорения твердения бетона за счет введения неорганических электролитов или побочных продуктов и отходов производства их содержащих. Отмечено, что применение некоторых из них приводит к появлению негативных явлений.

Важную роль в решении проблем, связанных с использованием добавок, способствующих направленному формированию структуры и свойств цементного камня и бетона, а также их стойкости сыграли работы многих российских ученых: С.Н. Алексеева, В.И. Бабушкина, П.П. Будникова, Ю.М. Бутта, А.М. Викторова, А.В. Волжского, Г.И. Горчакова, И.М. Грунко, Ф.М. Иванова, В.В. Кинда, С.А. Миронова, В.М. Москвина, В.Б. Ратинова, П.А. Ребиндера, Г.С. Рояка, М.М. Сычева, А.Е. Шейкина, С.В. Шестоперова и др., а также зарубежных: С. Брунауэра, Х. Кальхса, Ф. Лохера, Т. Паузера, В. Рихардса, Р. Рамачандрана, Х.Ф.У. Тейлора и др.

### **Материалы и методы исследования.**

В экспериментальной части использовались цементы АОЗТ «Уралцемент»: портландцемент марки ПЦ-400Д-20 и шлакопортландцемент ШПЦ-400, кварцевый песок с модулем крупности 2,16, гранодиоритовый щебень фр. 5–20 мм, суперпластификатор С-3, ускорители твердения – погаш, хлорид кальция, сульфат натрия, высокоактивная минеральная добавка (отход производства ферросилиции) – конденсированный микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината.

При проведении физико-химических исследований применялся дифференциально-термический и рентгенофазовый анализы. Изучение основных качественных характеристик бетонной смеси и бетона включало в себя определение удобоукладываемости и живучести бетонной смеси, определение прочностных характеристик бетона. Стойкость бетона по отношению к внутренней коррозии оценивалась по величине линейных деформаций расширения образцов согласно ГОСТ 8269-97. В работе использовалась математическое планирование экспериментов и статистическая обработка полученных данных с использованием ЭВМ для получения аппроксимирующих зависимостей исследуемых величин от варьируемых факторов и оценки надежности экспериментальных данных.

**Цель работы:** получение бетонов ускоренного твердения с заданной прочностью, стойких к морозной и внутренней коррозии путем модификации структуры введением комплексной полифункциональной добавки.

**Научная новизна работы:**

- впервые предложена комплексная полифункциональная добавка, включающая суперпластификатор, высокоактивную минеральную добавку и щелочной компонент, обеспечивающая интенсивное нарастание прочности бетона в раннем возрасте и повышение стойкости;
- установлено, что формируются преимущественно тоберморитоподобные гидратные новообразования цементного камня под влиянием комплексной полифункциональной добавки;
- выявлено, что комплексная полифункциональная добавка обеспечивает направленное формирование структуры цементного камня, стойкой к действию внешней среды и внутренней коррозии.

**Автор защищает:**

- состав комплексной полифункциональной добавки, включающей суперпластификатор, высокоактивную минеральную добавку и щелочной компонент;
- данные о влиянии комплексной полифункциональной добавки на формирование фазового состава и структуры цементного камня;
- данные о влиянии состава комплексной полифункциональной добавки на удобоукладываемость бетонной смеси, сроки твердения и скорость набора прочности бетона в раннем возрасте;
- результаты исследований влияния вида вяжущего, состава и условий твердения бетона с комплексной полифункциональной добавкой на набор прочности в раннем и марочном возрастах;
- экспериментальные данные по обеспечению стойкости к внутренней и морозной коррозии бетонов на рядовых цементах и заполнителях с комплексной полифункциональной добавкой.

**Практическое значение работы:** на основании экспериментальных исследований автором оптимизирован состав комплексной полифункциональной добавки и бетонов ускоренного твердения, стойких к щелочной коррозии для сборного и монолитного домостроения. Разработаны рекомендации по расчету составов бетонов ускоренного твердения с заданной прочностью и долговечностью на основе полученной полифункциональной добавки. Результаты прошли опытно-экспериментальную проверку в ЗАО «ГАРО». Приведенный экономический эффект составил 409,8 руб./м<sup>3</sup>.

**Апробация работы:** основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на: 50...52 научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета, на международной научно-технической конференции «Проблемы научно-технического прогресса в строительстве в преддверии нового тысячелетия» в Пензе в 1999 году, на международной научно-технической конференции «Композиционные строительные материалы. Теория и практика» в Пензе в 2000 году.

**Основные результаты исследования.** На первом этапе исследовалось влияние комплексных добавок, включающих ускорители твердения и суперпластификатор на свойства бетонной смеси и бетона.

Результаты исследований показали, что по темпу набора прочности бетона предпочтение следует отдавать химическим добавкам, представляющим собой электролиты, которые способны увеличить растворимость клинкерных минералов. В результате создаются условия для зарождения и гидратообразования не только вблизи поверхности исходных цементных зерен, но и в порах между ними. По этому параметру наиболее эффективны добавки  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Отрицательное влияние добавки хлорида кальция на коррозию арматуры ограничивает ее применение. Совместное же применение данной добавки и ингибиторов коррозии в конечном итоге не дает необходимых результатов. Широкое применение сульфата натрия ограничивается возможным провоцированием коррозии арматуры и сульфатной коррозии цементного камня. Совместное введение пластификатора и ускорителя твердения позволяет стабилизировать мелкодисперсную структуру цементного камня за счет снижения избытка свободной поверхностной энергии на границе раздела фаз и снижения водовяжущего отношения.

Поэтому, первый этап исследований связан с изучением свойств плотного быстротвердеющего конгломерата с наиболее распространенными добавками ускорителями твердения  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  с пластифицирующей добавкой и без нее. Исследования проводились с использованием математического планирования на образцах из мелкозернистого бетона размером  $4 \times 4 \times 16$  см и составом 1:3 при  $\text{В/Ц} = 0,4$  (без С-3) и  $\text{В/Ц} = 0,3$  (с С-3). По результатам проведенных исследований было выявлено следующее.

Введение добавок ускорителей совместно с суперпластификатором (0,5...1% от массы цемента) является эффективным, т.к. улучшает удобоукладываемость бетонной смеси, позволяет обеспечить снижение  $\text{В/Ц}$ , повышающее эффективность действия ускоряющей добавки. При использовании такой комплексной добавки решается не только проблема набора прочности бетоном в ранние сроки твердения, но и обеспечивается повышение марочной прочности.

Наибольшим коэффициентом ускорения твердения бетона обладает оптимальная добавка поташа 8% от массы цемента (коэффициент ускорения  $K_{ус}$  составил 2,15 раза), позволяя обеспечить уже после 1 суток твердения предел прочности бетона 21 МПа, т.е. отпускную прочность при изготовлении многих армированных изделий. Введение  $\text{K}_2\text{CO}_3$  повышает марочную прочность на 2%. Хлорид кальция позволяет увеличить прочность в марочном возрасте на 10%, а  $K_{ус}$  после 1 суток нормального твердения составил 1,51, что не дает возможности реализовать беспропарочное твердение железобетона. Сульфат натрия хоть и обеспечивает достижение марочной прочности бетона (прирост прочности 1%), но не позволяет получить отпускную проч-

ность бетона после сугок нормального твердения ( $K_{уск} = 1,34$ ). Поэтому наиболее эффективной с точки зрения ускорения твердения бетона является комплексная добавка «пotaш + суперпластификатор».

Данные многих исследований подтверждают, что эффективным модификатором структуры цементного камня, повышающим степень гидратации цементного вяжущего, являются высокоактивные минеральные добавки. В нашей работе такой добавкой являлся микрокремнезем.

Исследования свойств бетона с комплексной добавкой, включающей оптимальное количество пotaша, суперпластификатор и микрокремнезем при различных дозировках показали увеличение коэффициента ускорения и марочной прочности с повышением количества добавки микрокремнезема (рис.1). Исходя из условия сохранения определенного количества свободной извести в бетоне в качестве оптимальной была принята добавка 10% микрокремнезема.

Таким образом, была получена оптимальная полифункциональная добавка, обеспечивающая высокие эксплуатационные свойства бетона: предел прочности бетона в 1 сутки твердения составил 21,0 МПа, в марочном возрасте – 50,8 МПа, и технологические свойства бетонной смеси: подвижность бетонной смеси составила 6,5 см, а сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси составила 60 минут.

Следующим этапом работы было исследование влияния состава бетонной смеси с оптимальной комплексной добавкой и пониженных температур твердения на прочностные характеристики бетона. Было определено, что с увеличением Ц/В отношения коэффициент ускорения твердения в первые сутки возрастает, что связано с увеличением объема вяжущего вещества и уменьшением объема жидкой фазы в составе бетонной смеси. Наиболее эффективным является действие добавки в бетонах, в которых расход цемента превышает 350 кг/м<sup>3</sup>.

По полученным данным определялась корреляционная зависимость  $R_b$  от Ц/В в различные сроки твердения бетона с оптимальной комплексной добавкой в нормальных условиях. Полученные корреляционные зависимости (рис. 2) действительны в диапазоне значений Ц/В = 1,43...2,8.

Для определения влияния вида цемента на формирование прочности бетона с оптимальной комплексной добавкой использовались цементы АОЗТ «Уралцемент» ПЦ-400Д-20 и ШПЦ-400. Испытания проводились на равноподвижных бетонных смесях с осадкой конуса 4...6 см (марка по удобоукладываемости П1). Действие полифункциональной добавки оптимального состава наиболее эффективно на ПЦ-400Д-20.

Для всех исследуемых цементов зависимость расхода воды от В/Ц отношения при подвижности бетонной смеси 4...6 см выглядит следующим образом:

$$V = 187,2 + 22,4 \ln B/C \quad (1)$$

при коэффициенте корреляции 0,99.

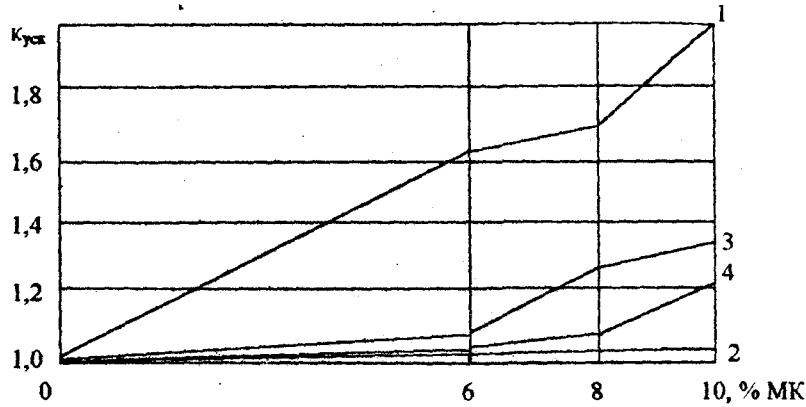


Рис. 1. Зависимость коэффициента ускорения твердения бетонов с полифункциональной добавкой от количества МК: 1, 2 – составы с  $K_2CO_3$ ; 3, 4 – составы без  $K_2CO_3$ . 1, 3 – 1 сутки твердения; 2, 4 – 28 суток твердения.

$R_b$ , МПа

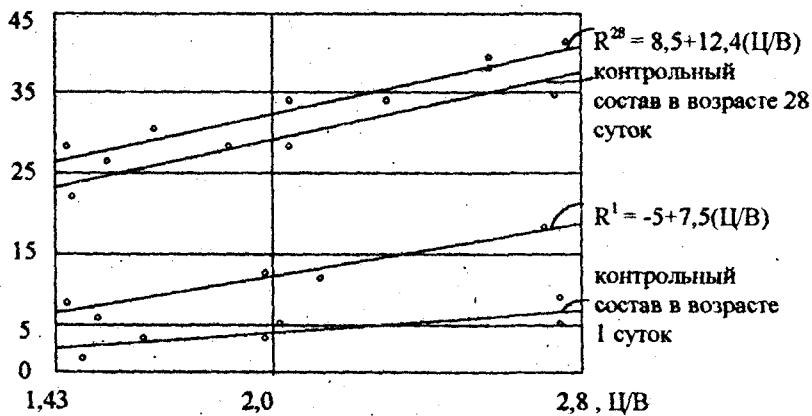


Рис. 2. Зависимость набора прочности бетонов с оптимальной комплексной полифункциональной добавкой от Ц/В.

В зависимости от расхода цемента можно получить бетоны на полифункциональной добавке оптимального состава, достигающие за 24 часа твердения в нормальных условиях до 40% нормируемой прочности бетона марок от M100 до M400.

При исследовании влияния пониженных температур были получены зависимости предела прочности бетона с оптимальной комплексной добавкой от температуры твердения бетона в возрасте 1, 3 и 28 суток (рис. 3).

Благодаря полученным зависимостям можно прогнозировать предел прочности бетона с оптимальной комплексной добавкой, при различных температурах в различные сроки твердения.

С целью изучения влияния оптимальной полифункциональной добавки на формирование фазового состава и микроструктуры цементного камня из ПЦ-400Д-20 с комплексными добавками при В/Ц = 0,3 (табл.1) был проведен ряд дериватографических, рентгенофазовых и десорбционных исследований.

$R_b$ , МПа

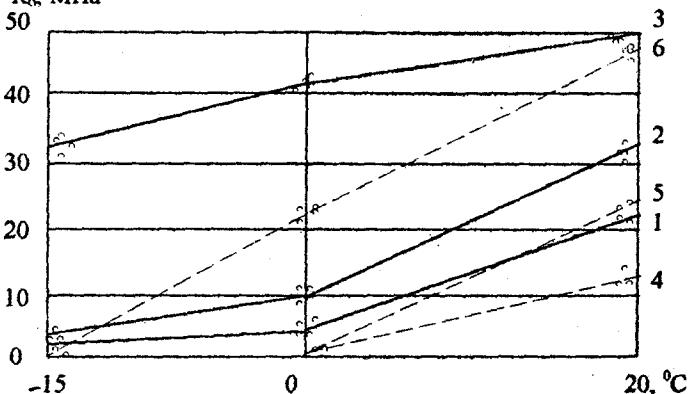


Рис.3. Зависимость предела прочности бетона от температуры и времени твердения: 1,2,3 – бетон с комплексной добавкой в возрасте 1, 3 и 28 суток соответственно; 4,5,6 – бетон без комплексной добавки в возрасте 1, 3 и 28 суток соответственно.

Таблица 1

Состав комплексных добавок

№ состава	Добавка, % от массы цемента
1	0,5% C-3
2	0,5% C-3 + 10% MK
3	0,5% C-3 + 10% MK + 8% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>

Цементный камень твердел 28 суток в нормальных условиях.

Данные исследований показали, что использование совместно с поташом добавки суперпластификатора в количестве 0,5% от массы цемента и микрокремнезема в количестве 10% от массы цемента позволяет модифицировать структуру цементного камня. За счет введения в состав цементного камня трехкомпонентной добавки образуются стабильные соединения: терморитоподобный гель и низкоосновные гидросиликаты, присутствие ко-

торых уплотняет и упрочняет структуру цементного камня. Образование CSH(I) обусловлено введением микрокремнезема, состоящего, в основном, из активного  $\text{SiO}_2$ . За счет этого изменяется соотношение между  $\text{CaO}$  и  $\text{SiO}_2$ , и образуются низкоосновные гидросиликаты. С этим же связано и уменьшение количества гидроксида кальция в цементном камне (табл.2).

Таблица 2

Результаты дериватографических исследований

Время твердения, сут.	Сос. тав	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , %	Кол-во хим. связанной воды, %	Наличие экзоэффекта при 320°C	Наличие экзоэффекта при 860°C
1	1	5,1	9,0	-	-
	2	4,0	9,2	-	-
	3	2,0	9,5	+	-
10	1	6,2	10,0	-	-
	2	5,1	10,5	-	-
	3	2,7	11,3	+	+
28	1	4,1	10,3	-	-
	2	3,0	10,8	+	+
	3	1,0	11,8	+	+

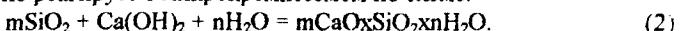
На дериватограммах появление CSH(I) фазы сопровождается наличием экзоэффектов при температуре 860°C вследствие кристаллизации волластонита. Данные виды соединений отсутствуют во все сроки нормального твердения цементного камня с однокомпонентной добавкой.

Кроме этого, происходит повышение количества химически связанный воды в цементном камне с микрокремнеземом (табл.2), что связано с образованием большего количества гидросиликатов кальция за счет повышения степени гидратации цементного вяжущего. А повышение количества химически связанный воды в цементном камне с поташом, по сравнению с цементным камнем без поташа, объясняется дополнительной активацией активной минеральной добавки микрокремнезема в присутствии поташа с образованием щелочного гидросиликата после пептизации которого образуются высокодисперсные гидросиликаты кальция и гидроалюминаты калия.

К 28 суткам нормального твердения на рентгенограммах с трехкомпонентной добавкой присутствуют линии гидроксида кальция ( $d = 4,93, 2,63, 1,92, 1,76 \text{ \AA}$ ), интенсивность которых значительно меньше, чем в этот же период времени в цементном камне с одно- и двухкомпонентной добавкой, а количество гидроксида кальция в цементном камне на двухкомпонентной добавке меньше, чем на однокомпонентной.

Гидросиликаты кальция в составах с двух- и трехкомпонентными добавками представлены CSH(I) ( $d = 2,82, 2,10, 1,82 \text{ \AA}$ ), а с трехкомпонентной до-

бакой еще и CSH(A). Следовательно, данные РФА подтверждают результаты исследований микроструктуры цементного камня. С помощью ДТА об изменении соотношения между CaO и SiO<sub>2</sub>, и образовании низкоосновные гидросиликатов. С этим же связано и уменьшение количества гидроксида кальция, который активно реагирует с микрокремнеземом по схеме:



Образование CSH(I) повышает дисперсность продуктов гидратации и прочность цементного камня.

Кроме этого, в возрасте 28 суток в образцах цементного камня с трехкомпонентной добавкой отмечается наличие тоберморита 5CaO·6SiO·5H<sub>2</sub>O, характеризующегося хорошо оформленными волокнистыми кристаллами, которые упрочняют цементный камень ( $d = 2,97, 2,52, 2,28 \text{ \AA}$ ). Цементный камень с одно- и двухкомпонентными добавками не содержит такое стабильное соединение.

В работе проводилось изучение поровой структуры и внутренней удельной поверхности цементного камня с комплексными добавками десорбцией паров воды при температуре  $19 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  (табл.3).

Таблица 3

Внутренняя удельная поверхность и пористость цементного камня

№	Срок твердения, 28 сут.			
	S <sub>уд</sub> (м <sup>2</sup> /г)	Гелевая, %	Переходная, %	Макропористость, %
1	182,4	13,1	3,6	5,5
2	212,1	16,0	1,6	5,0
3	209,5	17,8	2,2	4,7

Введение микрокремнезема приводит к росту микропористости системы цементного камня с двух- и трехкомпонентной добавкой, по сравнению с однокомпонентной, причем за счет гелевых пор. Увеличение гелевой составляющей цементного камня, вследствие способности последней частично гасить возникающие напряжения, приводит к росту способности бетона противостоять напряжениям, вызывающим образование и развитие трещин, бетон становится менее хрупким.

В цементном камне с двух- и трехкомпонентными добавками с увеличением сроков твердения происходит уменьшение количества переходных пор, что говорит об увеличении количества тонкодисперсных новообразований в структуре цементного камня. Это предположение подтверждается результатами определения внутренней удельной поверхности образцов цементного камня приведенных составов.

В результате проведенных исследований была получена высокозэффективная комплексная добавка, позволяющая получать бетоны с пределом прочности при сжатии до 21,0 МПа после 1 суток нормального твердения.

Чтобы окончательно определить пригодность разработанных составов для монолитного и сборного железобетона, исследовалась их долговечность, которая в значительной степени определяется их морозостойкостью и стойкостью к внутренней коррозии.

Таблица 4

Результаты испытания

№ п/п	Вид добавки и ее количество, %			В/Ц	В/В	Количество ЦЗО, вы- держаных бетоном	Марка бетона по морозостойкости
	C-3	МК	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
1	0,5	—	—	0,3	0,3	5	200
2	0,5	10	—	0,3	0,27	8	300
3	0,5	10	8	0,3	0,27	8	300

Как видно из табличных данных, введение в состав бетона поташа, не ухудшило, а 2<sup>х</sup> и 3<sup>х</sup> компонентной добавки – повысило марку бетона по морозостойкости. С нашей точки зрения, это связано с тем, что при введении трехкомпонентной добавки в бетон происходит активизация микрокремнезема поташом. В результате происходящего катализа уже в ранние сроки твердения образуется демпферная тоберморитовая структура с низкой макропористостью, позволяющая релаксировать возникающие напряжения, а также обладающая пониженной проницаемостью. Все это приводит к получению бетона на трехкомпонентной добавке достаточно высокой морозостойкости.

Так как в состав полифункциональной добавки входит щелочной компонент, то проводилось исследование наличия или отсутствия внутренней коррозии при использовании данной добавки.

Для выявления возможности протекания щелочной коррозии была принята ускоренная методика, при которой проводят испытания цементно-песчаного раствора на заполнителе стандартного гранулометрического состава с изменением содержания реакционноспособного SiO<sub>2</sub>. Увеличение содержания растворимого кремнезема до 340 ммоль/л достигалось путем частичной замены песка фр. 0,315 мм (2,5...10% от массы песка) на оклюз этой же фракции. Содержание щелочи в бетоне, с учетом вводимого поташа, составило 3,6% в пересчете на Na<sub>2</sub>O.

В ходе наших исследований образцы, не содержащие микрокремнезем, достигли деформации удлинения 0,1% и более, т.е. происходит разрушение бетона, которое проявилось в виде появления трещин на поверхности. А минимальные деформации имели образцы, содержащие активную минеральную добавку. Причем, количество реакционноспособного кремнезема в присутствии добавки микрокремнезема на величину деформации расширения практически не влияло (рис.4).

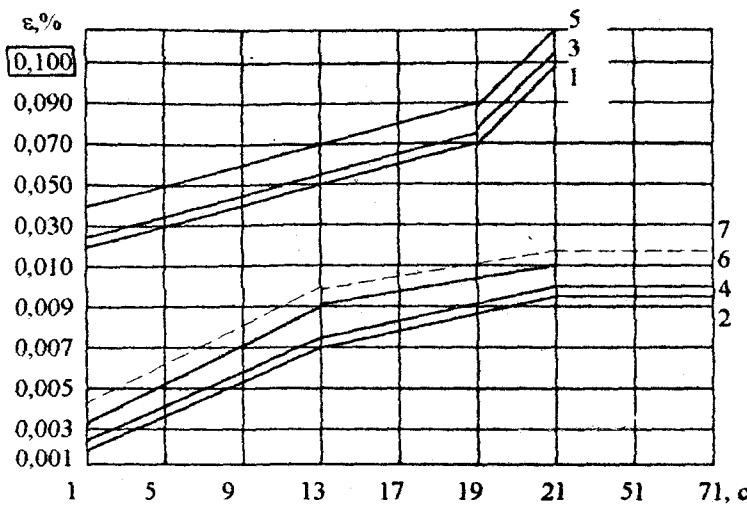


Рис. 4. Изменение деформаций во времени, при различном содержании реакционноспособного кремнезема: 1, 3, 5 – составы без полифункциональной добавки; 2, 4, 6 – составы с полифункциональной добавкой; 1, 2 – составы содержат 118 ммоль/л  $\text{SiO}_2$ ; 3, 4 – составы содержат 225 ммоль/л  $\text{SiO}_2$ ; 5, 6 составы содержат 340 ммоль/л  $\text{SiO}_2$ ; 7 – контрольный состав, твердевший в воде

Исходя из этого, можно предположить следующий возможный механизм протекания щелочесиликатной реакции при повышенном содержании щелочи в цементе и высокой концентрации растворимого в щелочи кремнезема. Во-первых, за счет введения в состав комплексной добавки микрокремнезема происходит образование геля гидросиликата калия за счет взаимодействия микрокремнезема и поташа, который вскоре пептизируется до коллоидного состояния. Ионы кремнезема в дальнейшем участвуют в реакции с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция. А ионы калия диффундируя в межзерновое пространство, взаимодействуют с алюминатной фазой цемента с образованием нерастворимого соединения гидроалюмината калия, который уплотняет структуру цементного камня. Образование низкоосновного гидросиликата кальция снижает концентрацию ионов кальция на поверхности реакционноспособного зерна заполнителя, а, следовательно, снижается вероятность возникновения осмотического давления, приводящего к расширению бетона. Правильность предлагаемого механизма подтверждается фазовым и термическим анализами цементного камня. Во-вторых, щелочесиликатная реакция происходит, когда цементный камень способен к релаксации напряжений, которые возникают в результате протекающей реакции, так как содержит большое количество гелевидной

фазы. В результате этого не происходит разрушение цементного камня после окончательного формирования структуры.

В отличие от этого, щелочесиликатная реакция в бетоне без комплексной добавки протекает с прогрессирующей скоростью в уже сформировавшейся структуре цементного камня.

Таким образом, полученная полифункциональная добавка предотвращает протекание щелочесиликатной коррозии бетона.

## Общие выводы

1. Получена полифункциональная добавка, включающая оптимальное количество поташа, суперпластификатора и микрокремнезема, которая обеспечивает: коэффициент ускорения набора прочности бетона в 1 сутки нормального твердения – 2,15, в марочном возрасте – 1,03; сохраняемость бетонной смеси – в течение 60 минут, что делает бетон и бетонную смесь технологичными.

2. В результате проведенных исследований показана возможность создания на основе полифункциональной добавки, включающей суперпластификатор, высокоактивную минеральную добавку и щелочной компонент, бетонов с широким диапазоном эксплуатационных и технологических свойств, к которым относятся

- ускоренное твердение при обычных температурах;
- сохраняемость, обеспечивающая применение бетонных смесей с полученной добавкой в производственных условиях;
- обеспечение оптимальной удобоукладываемости бетонных смесей при пониженном расходе воды;
- твердение при пониженных температурах;
- повышенная (на 1 марку) морозостойкость бетона;
- стойкость бетона к внутренней коррозии при повышенном содержании щелочей (до 340 ммоль/л).

3. Показано, что наиболее эффективным ускорителем, обеспечивающим твердение бетона при обычных температурах и применение в производственных условиях, является поташ, который, при использовании в комплексе с суперпластификатором, обеспечивает в 1 суточном возрасте нормального твердения наибольший коэффициент ускорения набора прочности бетона.

4. Выявлено, что применение добавки поташа совместно с высокоактивной минеральной добавкой и пластификатором, а также повышенных дозировок поташа в полифункциональной добавке позволяет улучшить удобоукладываемость и сохраняемость бетонных смесей за счет более позднего пересыпания жидкой фазы относительно ионов  $\text{Ca}^{2+}$ .

5. Исследованиями показано, что структура цементного камня бетона с полифункциональной добавкой отличается повышенным содержанием низкоосновных гидросиликатов, наличием тоберморитового геля, высоким со-

держанием гелевидных пор и пониженной макропористостью, что обеспечивает ей высокую стойкость по отношению к внутренней и морозной коррозии.

6. Впервые доказано, что применение добавки поташа совместно с высокоактивной минеральной добавкой предотвращает развитие щелочно-силикатной коррозии, что связано со снижением концентрации ионов кальция на поверхности реакционноспособного зерна заполнителя за счет взаимодействия микрокремнезема с гидроксидом кальция с образованием высокодисперсных релаксирующих гидратных новообразований.

7. Выявлено, что наиболее приемлемыми для получения бетонов ускоренного твердения на основе разработанной добавки являются цементы ПЦ-400 Д-20.

8. Разработаны рекомендации по подбору составов бетонных смесей на основе полученной добавки, позволяющие получить бетоны с пределом прочности до 21 МПа после 1 суток нормального твердения и до 51 МПа в марочном возрасте, с коэффициентом ускорения набора прочности в первые сутки твердения до 2,15 и способные твердеть при пониженных до  $-15^{\circ}\text{C}$  температурах.

9. Бетоны, полученные на основе данной добавки, можно применять в монолитном домостроении, для ремонтных, аварийных и восстановительных работах, а также выполнения экстренных заказов по перепланировке зданий и сооружений, где нет возможности и экономически не оправдано использование тепловой обработки. Экономический эффект от внедрения данной добавки составил 408,9 руб/м<sup>3</sup> бетонной смеси.

#### **Основные научные результаты представлены в публикациях:**

1. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д. Комплексные добавки для регулирования свойств бетонной смеси и бетона//Строительство и образование: Сб. науч. тр. – Екатеринбург: УГТУ, 1998.– Вып.1.– С. 178-181.

2. Бутакова М.Д., Трофимов Б.Я., Погорелов С.Н. Оптимизация состава полифункциональной добавки и составов бетонов на ее основе/ Материалы Международной научно-технической конференции «Проблемы научно-технического прогресса в строительстве в преддверии нового тысячелетия».– Пенза: ПГАСА, 1999. – С. 26-29.

3. Бутакова М.Д., Трофимов Б.Я., Погорелов С.Н. Изучение влияния полифункциональной добавки на внутреннюю коррозию бетона// Композиционные строительные материалы. Теория и практика/Сб. науч. тр. Междунар.научно-тех.конф.– Пенза: Приволжский дом знаний, 2000.– С.35-37.

4. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д., Ахмедьянов Р.М. К вопросу о долговечности бетона// Строительство и образование: Сб. науч. тр. – Екатеринбург: УГТУ, 2000.– Вып.3.– С. 42-44.

5. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д. Исследование свойств бетонов ускоренного твердения: Окончательный отчет по теме 1.6.96. «Разработка теоре-

тических основ и методов ускорения твердения бетона». Рег.№ 01.970000569.  
Инв.№ 02.98.0002246.

6. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д., Абызов В.А. Получение экспериментально-теоретических зависимостей свойств строительных конгломератов: Промежуточный отчет по теме 1.5.98Ф. «Основы теории и практики формирования стойких строительных конгломератов». Рег.№ 01.980006116. Инв.№ 02.99.0003667.

7. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д., Абызов В.А. Установление закономерностей формирования стойких строительных конгломератов: Окончательный отчет по теме 1.5.98Ф. «Основы теории и практики формирования стойких строительных конгломератов». Рег.№ 01.980006116. Инв.№ 02.99.0003667.

Бутакова Марина Дмитриевна

*БЕТОНЫ УСКОРЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ  
С КОМПЛЕКСНОЙ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКОЙ*  
Специальность 05.23.05—«Строительные материалы и изделия»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного  
университета

---

ИД № 00200 от 28.09.99. Подписано в печать 19.10.2000. Формат  
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 0.93. Уч.-изд. л. 1.

Тираж 80 экз. Заказ 416/444.

---

УОП Издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина. 76.