

На правах рукописи



Виноградова Елена Владимировна

**ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЙ БЕТОН
С КОМПЕНСИРОВАННОЙ УСАДКОЙ**

Специальность 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ростов – на – Дону

2006

Работа выполнена на кафедре технологии строительного производства государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ростовский государственный строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Несветаев Григорий Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Курочка Павел Никитович

кандидат технических наук

Ткаченко Геннадий Алексеевич

Ведущая организация – ОАО ПСП «СевКавНИПИагропром»

Защита состоится 26 декабря 2006 г. в 13⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.212.207.02 при Ростовском государственном строительном университете по адресу: 3444022, Ростов – на – Дону, ул. Социалистическая, 162, РГСУ, главный корпус, ауд. 232. Тел/факс 8 (863) 263 50 70

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ростовского государственного строительного университета и на сайте www.rgsu.ru

Автореферат разослан «20» ноября 2006 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор технических наук,

профессор



Моргун Любовь Васильевна

Общая характеристика работы

Актуальность. Для повышения технологической обеспеченности современных проектных решений применяются бетоны нового поколения с высокими технологическими и эксплуатационными свойствами и гарантированными показателями качества, которым отводится важная роль в сложных инженерных сооружениях XXI в. За последние 6 лет в Российской Федерации возведено более 750 тыс. м³ специальных железобетонных конструкций, из которых:

- 50 тыс. м³ – из высокопрочного бетона классов В50 – В60 и выше;
- 250 тыс. м³ – из бетонов высокой плотности и коррозионной стойкости;
- 450 тыс. м³ – из бетонов классов В30- В45 с решением различных технологических задач.

Одним из основных факторов, определяющих долговечность высокопрочных и высококачественных бетонов, являются их собственные деформации. Бетоны с компенсированной усадкой применяются для обеспечения усадочной и технологической трещиностойкости изделий, а также для обеспечения высокой водогазонепроницаемости и морозостойкости. Проблема получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов может быть решена модифицированием его структуры комплексными добавками различного функционального назначения. Многокомпонентность бетонной смеси позволяет эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать материалы с требуемыми свойствами. Для практической реализации поставленной задачи целесообразно использование комплексного модификатора, регулирующего технологические свойства бетонной смеси, темп твердения и собственные деформации бетона.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является развитие научных представлений о формировании структуры и взаимосвязи свойств многокомпонентного особобыстротвердеющего высокопрочного бетона с регулируемыми собственными деформациями на основе портландцемента и комплексного модификатора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить влияние суперпластификаторов на различной химической основе, вида цемента и условий твердения на формирование прочности и деформативность портландцементных композиций и определить целесообразный для комплексного модификатора суперпластификатор;
- исследовать влияние ускорителей твердения в сочетании с эффективным суперпластификатором на формирование прочности цементного камня в ранний и последующий периоды твердения и выбрать эффективный ускоритель твердения;
- изучить влияние расширяющей добавки (РД) сульфоалюминатного типа на развитие собственных деформаций и процессы формирования прочности модифицированных суперпластификаторами и ускорителями вяжущих;
- исследовать влияние комплексной добавки «суперпластификатор+ускоритель+РД» на технологические свойства бетонных смесей;
- выявить основные закономерности (состав-структура-свойства) особобыстротвердеющего высокопрочного бетона с компенсированной усадкой и получить основные зависимости между прочностными и деформативными показателями качества бетонов.

Научная повизна работы заключается:

- в сформулированных на основе выявленных общих закономерностей (состав-структура-свойства) принципах получения быстро - и особобыстротвердеющего высокопрочного портландцементного бетона с частично компенсированной контракционной и влажностной усадкой;

- в обосновании классификации бетонов по скорости набора прочности на быстротвердеющий и особобыстротвердеющий;

- в развитии научных представлений о формировании структуры и свойств бетонов на основе расширяющегося цемента при низких значениях В/Ц и различных темпах набора прочности с целью управления собственными деформациями;

- в установленных и представленных в аналитическом виде общих зависимостях между основными свойствами быстро - и особобыстротвердеющего высокопрочного бетона.

Практическая значимость работы заключается

- в разработанных принципах получения и предложенных составах быстро и особобыстротвердеющих высокопрочных бетонов с регулируемыми собственными деформациями на рядовых портландцементях;

- в разработанном комплексном модификаторе, включающем суперпластификатор, ускоритель твердения, глиноземистый цемент и гипсовый камень;

- в установленных количественных значениях предела призмной прочности, предела прочности при растяжении, начального модуля упругости и параметров диаграммы «напряжения-деформации», величин характеристики ползучести, деформаций контракционной и влажностной усадки, позволяющих расширить нормативную базу для проектирования железобетонных конструкций из высокопрочных быстро и особобыстротвердеющих бетонов;

- в оценке влияния разработанного комплексного модификатора на морозо- и сульфатостойкость бетонов.

Реализация результатов. Разработанные рецептуры и методики используются ООО «Технология и материалы», г. Ростов – на - Дону, при производстве специальных сухих строительных смесей марки ТиМ 07 и ТиМ 09.

Работа выполнялась в рамках НТП «Архитектура и строительство» Министерства образования и науки РФ, госбюджетная тема «Критические технологии производства бетонных работ в экстремальных условиях», шифр 04.01.360 2002-2004 г.

Достоверность исследований обеспечена:

- использованием методик, регламентированных действующими стандартами, поверенного оборудования;
- использованием современной вычислительной техники и программного обеспечения при обработке экспериментальных данных, испытанием не-

обходимого количества контрольных образцов–близнецов, обеспечивающего доверительную вероятность 0,95 при погрешности не более 10%.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных научных конференциях: «Строительство» (Ростов-на-Дону, 2002 – 2006 гг.), «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии» (Ростов-на-Дону 2004, 2006 гг.), Всероссийских научно-технических конференциях: «Наука, техника и технология XXI века» (г. Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет, 2003, 2005 гг.), Международных научных семинарах: XV Russian-Slovak-Polish Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering (Moscow; Rostov-on-Don; Warszawa, 2006)».

Публикации. По результатам исследований опубликовано 18 работ общим объемом 1,18 п.л., в том числе 10 – без соавторов, 1 – в рецензируемом издании.

Структура и объем. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, основных выводов, списка используемой литературы из 163 наименования, изложена на 220 страницах машинописного текста, содержит 89 рисунков, 33 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность ООО «Технология и материалы», лично главному инженеру-технологу А.В. Жукову за оказанную помощь в исследованиях ползучести и предоставлении материалов для проведения экспериментальных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы рабочая гипотеза, цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена обзору получения и применения высокопрочных быстротвердеющих бетонов. В России в ближайшем будущем значительная часть строительных работ будет связана с ремонтом, восстановлением, реконструкцией и реставрацией возведенных ранее объектов, причем потребность в технологических решениях, обеспечивающих ввод конструкций в эксплуатацию в чрезвычайно сжатые сроки, будет возрастать, особенно в транспортном и

энергетическом строительстве, при нештатных ситуациях на некоторых производственных объектах, а также в случаях ликвидации последствий стихийных бедствий или чрезвычайных ситуаций. При проведении спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ может идти речь о достижении нормативных значений прочности бетона в сроки, измеряемые часами, а не сутками, как это традиционно оценивается в технологии быстротвердеющих бетонов.

Исследования в области разработки высокопрочных и быстротвердеющих бетонов проводились И.Н. Ахвердовым, В.В.Бабковым, Ю.М. Баженовым, В.Г. Батраковым, О.Я. Бергом, Ш.Т. Бабаевым, А.В. Волженским, Г.И. Горчаковым, С.С. Гордоном, В.С. Демьяновой, А.И. Звездовым, С.С. Каприеловым, П.Г. Комоховым, В.И. Калашниковым, Г.В. Несветаевым, Н.И. Сытником, А.Е. Шейкиным и др. Получение высокопрочного быстротвердеющего бетона достигается снижением водоцементного отношения, применением быстротвердеющего цемента, а также различными способами ускорения твердения. Одной из проблем технологии высокопрочных бетонов является обеспечение усадочной трещиностойкости, особенно в ранние сроки, обусловленной повышенной контракционной усадкой в связи с повышенным содержанием цементного камня при низких значениях В/Ц. В настоящей работе рассмотрена возможность получения особобыстротвердеющих бетонов по безобогревной технологии за счет интенсификации процессов твердения бетонов комплексными химическими добавками в сочетании с расширяющей добавкой (РД). Улучшения показателей назначения тяжелых бетонов с компенсированной усадкой отмечаны в работах Г.А. Айрапетова, М.И. Бейлиной, Л.И. Будагянца, А.И. Звездова, Г.С. Кардумян, Г.П. Королевой, Т.М. Мамедова, Г.М. Мартиросова, И.А. Матюниной, В.В. Михайлова, Г.В. Несветаева, В.И. Ницуна, А.И. Панченко, А.Б. Сорокина, И.Я. Харченко и др. Выявлено, что значительная часть исследований направлена на совершенствование технологии высокопрочных и быстротвердеющих бетонов, при этом вопросы, связанные с нормативным обеспечением применения таких бетонов, отражены не-

достаточно. В заключение в качестве рабочей гипотезы выдвигается положение о том, что использование эффективного применительно к отечественным портландцементом суперпластификатора в сочетании с эффективным ускорителем твердения и РД сульфоалюминатного типа для регулирования собственных деформаций и темпа твердения бетона, позволит получить высокопрочный быстротвердеющий бетон на основе выпускаемых промышленностью портландцементов, показатели качества которого в принципе должны соответствовать общим для портландцементных бетонов закономерностям «состав–структура–свойства».

В работе предложена классификация быстротвердеющих и особобыстротвердеющих бетонов на основании известной зависимости:

$$R_t = R_{28} \left(\exp \left(k \left(1 - \sqrt{\frac{28}{\tau}} \right) \right) \right), \quad (1)$$

согласно которой для быстротвердеющих бетонов $k = 0,2$. Для особобыстротвердеющих предложено значение $k < 0,16$, при котором в суточном возрасте при нормальном твердении обеспечивается 50% проектной прочности бетона, т.е. отпускная прочность.

Во второй главе приведены сведения о применяемых материалах и методиках. В исследованиях использовался портландцемент ПЦ 500 Д0 – производства «Осколцемент» (шифр СтО), ПЦ 500 Д 20 – производства ОАО «Новоросцемент», завод «Октябрь» (шифр О), ПЦ 600 Д0 – производства ОАО «Новоросцемент», завод «Пролетарий» (шифр Пр). В качестве мелкого заполнителя использовали песок с модулем крупности 2.7 Малкинского песчано-гравийного карьера. Крупный заполнитель: гранитный щебень 5 - 20 мм Павловского карьера Воронежской области. Суперпластификаторы: СП – 1 (С-3) - ООО «Полипласт» г. Новомосковск; Melment F 10, Flux -1, [®]Melflux PP 100 F (Германия). Ускорители использовали как отечественного производства – $Al_2(SO_4)_3$, $Ca(NO_3)_2$, $(Fe(NH_4)SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, Na_2CO_3 , формиат кальция, так и импортные – Rhoimat SA 502 (Франция), Li_2CO_3 (Бельгия). Расширяющие добавки – Denka SCA (Япония), «ТИГР» (тонкоизмельченная гидравлическая расширяющая)

сульфоалюминатного типа на основе глиноземистого цемента ГЦ 50 ЗАО «Пашийский металлургический цементный завод» или Isidac 40 (CimSA, Турция) и гипсового камня.

Определение изучаемых в работе свойств бетонов, оценка эффективности добавок производились по стандартным и оригинальным методикам (табл.1)

Таблица 1

Методики испытаний, используемые в работе

Показатель	Методика определения
Подвижность бетонной смеси	ГОСТ 10181-2000
Предел прочности при изгибе	ГОСТ 310.4
Предел прочности при сжатии	ГОСТ 310.4; ГОСТ 5802; ГОСТ 10180-90
Деформации расширения и усадки	ГОСТ 24544-81 (87); 30459-2003 (2005)
Самонапряжение	ТУ 46854090
Тепловыделение	24316-80 (82), оригинальная обработка
Скорость прохождения ультразвукового импульса (УЗИ)	ГОСТ 17624-87 (89)
Морозостойкость	ГОСТ 10060.2-95 и оригинальная
Сульфатостойкость	ГОСТ 27677-88 и оригинальная
Модуль упругости	ГОСТ 24452-80 и оригинальная
Ползучесть	оригинальная
Эффективность добавок	ГОСТ 30459-2003 (2005) и оригинальная

В качестве критериев эффективности суперпластификаторов (СП) использовались показатели, предложенные Г.В. Несветаевым с коллегами (пп.2-7, табл. 2) и проф. Демьяновой В.С. (п. 1, п.8, табл. 2).

Таблица 2

Критерии эффективности суперпластификаторов

№	Критерий	Определение	Сущность
1 [†]	Показатель водопонижающего (водоредуцирующего) эффекта	$\Delta B = \frac{B_0 - B_{SP}}{B_0}, \%$	Снижение водосодержания смеси относительно первоначального при неизменной консистенции (равной подвижности) смеси

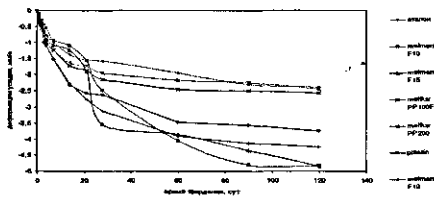
2	Показатель потенциального повышения прочности бетона за счет снижения величины В/Ц	$((В/Ц)_{СУПЕР} / (В/Ц_0))^{-1,3885}$	Возможное повышение предела прочности цементного камня (бетона) за счет снижения В/Ц при введении суперпластификатора
3	Показатель гидратационной активности цемента в присутствии суперпластификатора	$(Ас)_{СУПЕР} / (Ас)_0$	Изменение прочности камня, изготовленного из смеси с СП, при неизменной относительно эталонного состава величине В/Ц
4	Показатель реального повышения прочности при применении СП в равноподвижных смесях	Z^*K	Фактическое повышение предела прочности бетонов, полученных из равноподвижных смесей с применением суперпластификатора
5	Показатель влияния суперпластификатора на деформации усадки	$S = \epsilon_{СП}^0 / \epsilon_{СП}^0$	Величина повышения ($S < 1$) или понижения ($S > 1$) усадочных деформаций в равносоставных бетонах вследствие применения суперпластификатора
6 ¹	Показатель влияния суперпластификатора на деформации ползучести	$Cr = C^{SP}/C^0$	Изменение меры (характеристики) ползучести в равнопрочных бетонах
7 ¹	Показатель влияния суперпластификатора на модуль упругости	$e = M_{СП} / M_0$	Изменение модуля упругости при применении СП в равносоставных бетонах
8	Показатель торможения и ускорения суточной прочности	$K_T = \tau_{СУПЕР} / \tau_0 ; K_Y = 1/K_T$	$\tau_{СУПЕР}$ – время достижения пластифицированными композициями суточной прочности контрольного состава; τ_0 – время формирования суточной прочности контрольным составом

Примечание 1 – совместно с автором настоящей работы.

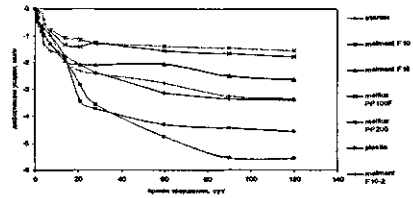
При оценке степени гидратации цемента в присутствии суперпластификаторов и добавок – ускорителей использовались результаты по измерению тепловыделения и обработка результатов методом трапеций, а также данные по определению общей контракции цементов. Кинетика твердения в ранний период (до 1 сут) параллельно контролировалась ультразвуковым методом. Оценка модуля упругости и характеристики простой линейной ползучести наряду со стандартными методами производилась определением деформаций изгиба ба-

лок ($E = \frac{P_{\max} L^3}{48 \beta l}$, $C_0 = \varphi / E_0$), а для модуля упругости дополнительно по скорости ультразвука ($E_0 = cV^2$).

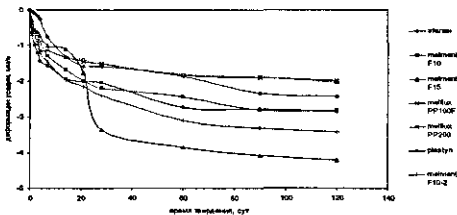
В третьей главе представлены результаты исследований влияния различных по химическому составу суперпластификаторов и ускорителей твердения на процессы гидратации и формирование прочности цементного камня в ранний период твердения. Определены критерии эффективности применения суперпластификаторов с различными цементами по водоредуцирующей способности и прочности (табл.3) и на основании выполненных исследований сделан вывод о целесообразности применения суперпластификаторов С-3 («Полипласт» СП-1), melment F10 и flux-1. По экономическим соображениям для высокопрочных бетонов предпочтение следует отдать СП melment F10 и СП-1. Однако исследование влияния указанных суперпластификаторов на деформации усадки (рис.1) показало возрастание усадочных деформаций, в связи с чем для компенсации усадки как контракционной, так и влажностной было принято решение о целесообразности введения расширяющей добавки в состав вяжущего.



«Октябрь»



Пролетарий»



«Старый Оскол»

Рис. 1 Влияние суперпластификаторов на деформацию усадки цементного камня

Таблица 3

Показатели эффективности суперпластификаторов

Наименование добавки	Цемент	В/Ц	Rf	R	A (R)	K	Af	K	Z	Cf	C
Ц.К	Пролетарий	0.26	4.04	63,6	20,41	-	1,297	-			
	Октябрь	0.26	4.09	52,08	16,71	-	1,313	-			
	Ст.Оскол	0.26	5.02	63,9	20,51	-	1,611	-			
Melment F 10	Пролетарий	0.22	2.7	72,8	18,52	0,907	0,687	0,529	1,261	0,732	1,144
	Октябрь	0.22	5.3	61	15,53	0,929	1,349	1,028	1,261	1,296	1,701
	Ст.Оскол	0.195	2.7	70,6	15,20	0,741	0,581	0,361	1,491	0,538	0,866
Melflux PP 100	Пролетарий	0.18	7,15	46,6	8,94	0,438	1,377	1,062	1,666	1,769	0,729
	Октябрь	0.212	6,85	28,9	6,99	0,418	1,656	1,261	1,328	1,675	0,555
	Ст.Оскол	0.19	8,05	78,1	16,22	0,791	1,671	1,037	1,546	1,603	1,222
Melflux PP 200	Пролетарий	0.175	6	88,4	16,37	0,802	1,111	0,856	1,733	1,483	1,389
	Октябрь	0.21	6,7	57,2	13,65	0,817	1,598	1,218	1,345	1,638	1,098
	Ст.Оскол	0.18	8,6	60	11,56	0,564	1,656	1,028	1,666	1,713	0,939
Plastyn	Пролетарий	0.21	3,85	69,8	16,65	0,816	0,918	0,708	1,345	0,952	1,097
	Октябрь	0.255	4,75	60,6	18,93	1,133	1,484	1,13	1,027	1,160	1,524
	Ст.Оскол	0.23	5,2	53,7	14,54	0,709	1,408	0,874	1,186	1,036	0,841
Melment F10 *	Пролетарий	0.2	3,86	85,2	18,99	0,931	0,861	0,664	1,439	1,239	1,339
	Октябрь	0.225	5,2	76,1	19,98	1,196	1,365	1,039	1,222	1,269	1,462
	Ст.Оскол	0.185	6,04	86	17,21	0,839	1,208	0,749	1,604	1,201	1,346
C-3	Пролетарий	0.2				0,932			1,546		1,223
Dinamon SP (flux-1)	Пролетарий	0.2				0,82			1,517		1,24
peramin	Пролетарий	0.21				0,841			1,546		1,06

В табл. 4 приведены показатели эффективности суперпластификаторов СП-1 и melment F10 по водопоглощающей способности, влиянию на показатель гидратации цемента в присутствии суперпластификатора (К) и на усадочные деформации (S)

Таблица 4

Показатели эффективности суперпластификаторов СП-1 и melment F10

Суперпластификатор	Показатель эффективности		
	Вд, %	К	S
ПЦ 500 Д0 ПО "Осколцемент"			
melment F10	23	0,77	1,325
СП-1	23	0,69 – 0,71	1,243
ПО "Новоросцемент"			
melment F10	25	0,865	0,91
СП-1	23	0,724-0,762	1,09 - 1,624

Из представленных данных следует, что лучшим сочетанием для высокопрочного бетона является ПЦ 500 Д0 ПО «Новоросцемент» + melment F10 (Вд, К – max, S - min).

Исследования изменения температуры твердеющего цементного теста (камня) с суперпластификаторами (рис.2) выявили эффект замедления на ранних этапах гидратации. Отмеченное для одной партии С-3 повышение тепловыделения в ранний период особенно с увеличением дозировки без увеличения степени гидратации (определенной контракционным методом) объясняется незавершенностью процесса поликонденсации при производстве С-3 и наличием в связи с этим в составе сульфата натрия. Установлено, что в зависимости от вида и дозировки СП в суточном возрасте степень гидратации может снижаться до 35%.

Исследование влияние суперпластификаторов на модуль упругости проводилось с учетом изменения величины В/Ц при введении суперпластификатора и соответственно прочности с использованием зависимости $E_0 = f(R)$ (рис.3). Суперпластификаторы СП-1 и melment F10 несколько повышают модуль упругости, но не более чем на 10%.

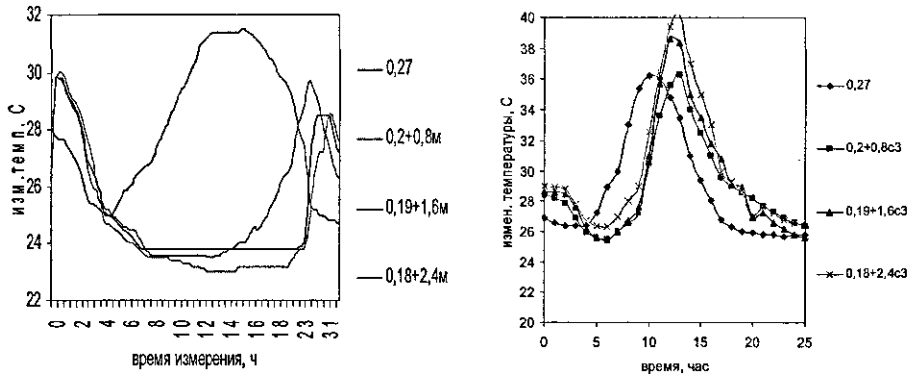
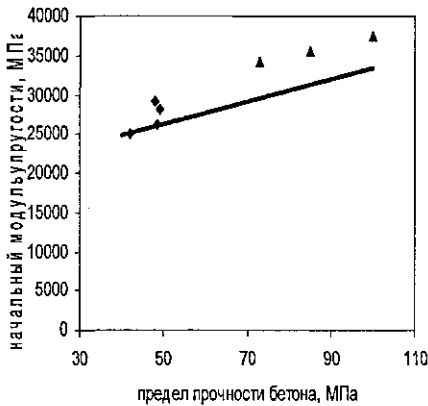


Рис. 2 Зависимость изменение температуры твердения цемента от количества суперпластификатора melment (м) и С-3



Е – модуль упругости эталона;
 С-3, melment – модуль упругости бетона с СП

$$T = E_0 \frac{a}{1 + \frac{29}{3,8 + R}}$$

Рис. 3 Влияние суперпластификаторов на модуль упругости

Исследование влияния суперпластификаторов на характеристику ползучести проводилось с учетом изменения величины В/Ц при введении суперпластификатора и, соответственно, прочности с использованием зависимости

$C_0 = \kappa R^{-0,784}$, $\varphi = C_0 E_0$ (рис.4). Суперпластификаторы СП-1 и melment F10 повышают характеристику ползучести в 1,5 раза.

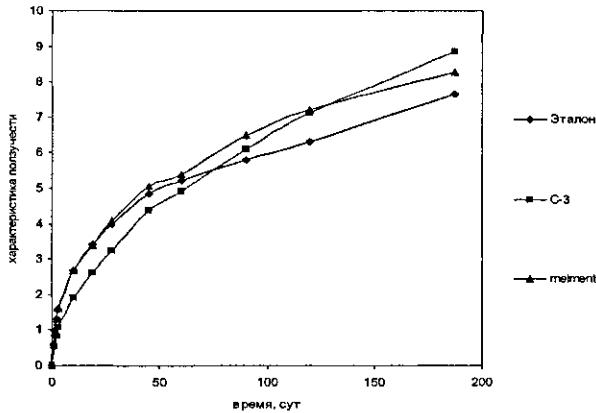


Рис. 4 Влияние суперпластификаторов на характеристику простой линейной ползучести бетона

Оценка эффективности ускорителей твердения показала предпочтительность применения карбоната лития, поскольку эта добавка обеспечивает уже через 6 часов твердения в несколько МПа, кроме того, ее дозировка на порядок меньше в сравнении с аналогами (табл. 5)

Таблица 5

Эффективность добавки – ускорители

Добавка	Предел прочности, % в возрасте 6 ч от марочной прочности (28 сут -100%)	Предел прочности, % в возрасте 24 ч от марочной прочности (28 сут-100%)
Сульфат алюминия, 2%	0	41,6
Нитрат кальция, 2%	3	62,7
Сульфат железа, 2%	0	34,1
Карбонат калия, 2%	3,1	43
Формиат кальция, 4%	6,7	63,6
Карбонат лития 0,2%	9,21	67
Rhoximat 2%	3,3	42,6

В четвертой главе представлены результаты исследований по формированию прочности цементного камня с комплексной добавкой «суперпластификатор+ускоритель+РД» в ранний период (рис.5).

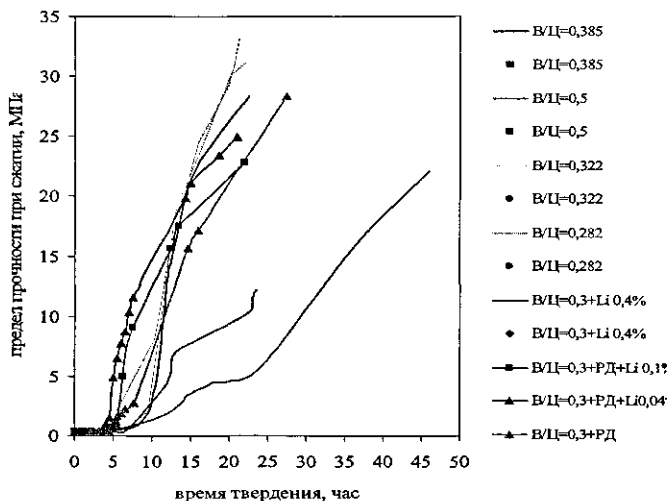


Рис. 5 Зависимость предела прочности от различного состава бетонной смеси в ранний период времени твердения

Исследования тепловыделения твердеющего цементного теста (камня) с комплексной добавкой различного состава и определение степени гидратации по величине общей контракции позволили оценить влияние комплексной добавки различного состава на процессы гидратации в первые сутки твердения (рис.6). В связи с возможным в некоторых случаях термическим эффектом, не связанным с гидратацией цемента, определение степени гидратации в первые сутки только по величине тепловыделения может давать искаженные результаты, в исследованиях целесообразно проводить оценку степени гидратации дополнительно другим методом, например, по величине общей контракции.

Исследование влияния комплексной добавки на морозостойкость и сульфатостойкость показало повышение морозостойкости на 20%, сульфатостойкости - в 1,5 раза.

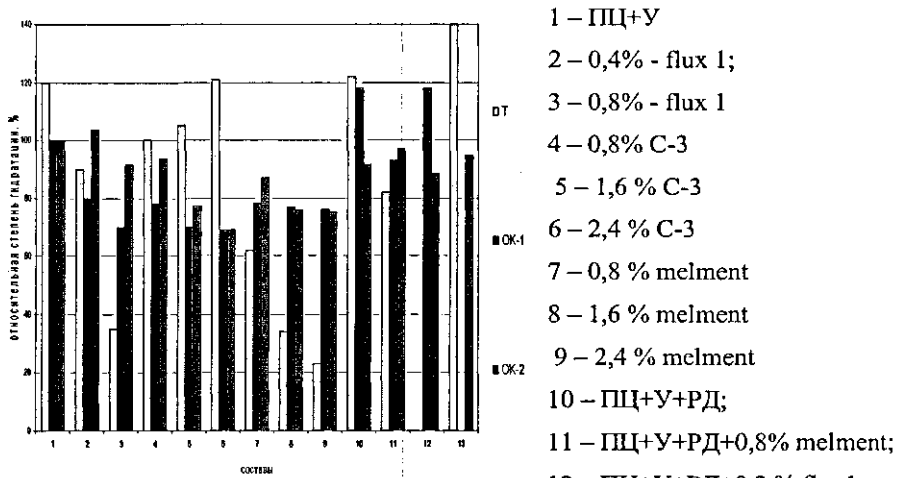


Рис. 6 Влияние добавок на степень гидратации цементного теста (камня) в первые сутки твердения

В пятой главе приводятся основные зависимости между прочностными и деформативными показателями быстротвердеющего и особобистротвердеющего высокопрочного бетона с компенсированной усадкой. Выявлено, что предел прочности в принципе подчиняется известной зависимости $R = f(B/D)$ (рис.7), а нарастание прочности бетона во времени хорошо описывается формулой (1) при значениях $k < 0,15$ (рис.8), при этом в суточном возрасте получены значения прочности 52 – 63 % прочности бетона проектного возраста.

Установлено (рис.9), что соотношение между кубиковой и призмной прочностью соответствует зависимости $R_{pr} = kR$ ($k = 0,8$). Это полностью подтверждается соотношением между прочностью кубов и цилиндров по нормам стран Европы, что позволяет говорить о полной гармонизации этого параметра особобистротвердеющего высокопрочного бетона с нормами EN.

Предел прочности при растяжении, так же как и для бетонов средних классов (В 20 – В 40) с компенсированной усадкой, соответствует зависимости

$R_t = 0,3R^{0,6}$, а начальный модуль упругости на 5 – 7 % превышает модуль упругости равнопрочного портландцементного бетона и может быть определен, как и для бетонов средних классов с компенсированной усадкой по формуле:

$$E_0 = \frac{63000}{1 + \frac{29}{3,8 + R_{pr}}} \quad (2)$$

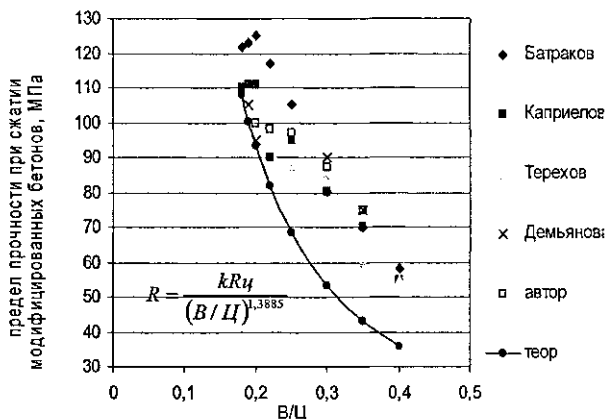


Рис. 7 Влияние В/Ц на прочность

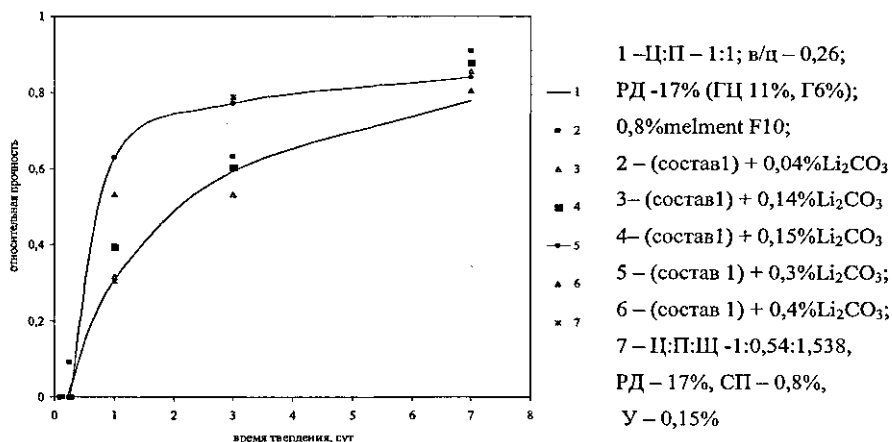
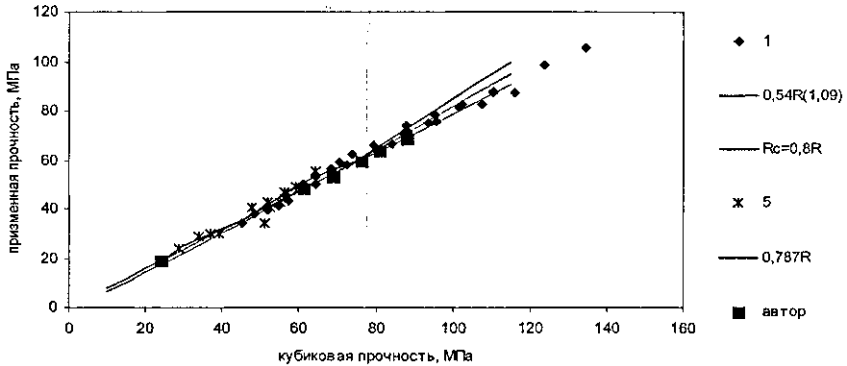


Рис. 8 Изменение относительной прочности при сжатии во времени



(1 – Мусурманкулов, 5 – Щербаков, Юсупов)

Рис. 9 Зависимость применной прочности от кубиковой
для бетонов на НЦ

Такие параметры диаграммы « $\sigma - \epsilon$ », как ϵ_R и λ_R (относительная деформация и коэффициент упругости в вершине диаграммы, $\lambda_R = R_{pr}/E_0\epsilon_R$) так же как и для бетонов средних классов, находятся в соответствии с известной зависимостью:

$$\epsilon_R = 0,058(R_{pr}/E_0)^{0,5} \quad (3)$$

В зависимости от условий выдерживания в течение года собственные деформации быстротвердеющего высокопрочного бетона могут составлять от 0,6 (расширение при выдерживании в воде) до 0,3 мм/м (усадка при выдерживании в сухих условиях, $\phi < 50\%$).

Деформация ползучести на 50% превысила среднестатистическое значение, определенное по формуле $C_0 = k R^{-0,784}$.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Развита научные представления о формировании структуры и взаимосвязи свойств многокомпонентного быстротвердеющего высокопрочного бетона с регулируемые собственными деформациями на основе портландцемента и комплексного модификатора. Предложен состав комплексной

добавки для производства особобыстротвердеющих высокопрочных бетонов «суперпластификатор (СП-1 или melment F10) + ускоритель твердения (карбонат лития) + РД сульфоалюминатного типа». Состав добавки назначается из расчета СП - 0,8 % массы вяжущего, карбонат лития - 0,1 – 0,2 %, РД – 12 – 18% при количестве компонентов РД, обеспечивающих суммарное соотношение Al_2O_3 / SO_3 в составе вяжущего в пределах 1,8 – 2,0. Предложен состав высокопрочного особобыстротвердеющего бетона Ц:П:Щ:В = 1:(0,82 – 1,1):(1,5 – 1,7):(0,27 – 0,32), обеспечивающий в прочность бетона в проектном возрасте более 80 МПа при применении ПЩ 500 Д0 в качестве основы для вяжущего.

2. Произведена оценка эффективности большой группы различных по химическому составу суперпластификаторов (нафталиноформальдегидные, меламиноформальдегидные, поликарбоксилатные, акрилатные) по показателям водоредуцирующей способности, влияния на гидратационную активность, усадку, модуль упругости и ползучесть цементного камня. В зависимости от дозировки и вида СП обеспечивают снижение водопотребности от 17 до 39%. В наибольшей степени негативно на гидратационную активность отечественных цементов влияют поликарбоксилатные СП, в связи с чем с учетом высокой стоимости акрилатных СП для применения в производстве высокопрочных особобыстротвердеющих бетонов рекомендован меламиноформальдегидный СП melment F10, применение которого приводит к незначительному, до 10%, снижению усадочных деформаций либо к их повышению до 32% в зависимости от вида цемента. Менее эффективен нафталиноформальдегидный СП-1, вызывающий повышение деформаций усадки от 10 до 60%. В зависимости от влажностных условий твердения собственные деформации бетона в течение года наблюдений составили от 0,4 мм/м (расширение в воде) до – 0,35 мм/м (усадка при $\phi < 50\%$).
3. Применение СП melment F10 и СП-1 приводит к незначительному, менее 10 %, повышению модуля упругости цементного камня, в связи с чем на-

чальный модуль упругости особобыстротвердеющих высокопрочных бетонов превышает этот показатель для равнопрочных портландцементных бетонов не более чем на 7%, а диаграмма «напряжения – деформации» при осевом центральном сжатии хорошо описывается известной формулой Саржина. Однако оба СП вызывают повышение ползучести цементного камня до 50%, в связи с чем характеристика простой линейной ползучести особобыстротвердеющих высокопрочных бетонов в сравнении с равнопрочным портландцементным бетоном выше в 1,5 раза.

4. При выборе ускорителей твердения по критерию значения прочности в возрасте 6 и 24 ч предпочтение следует отдать формиату кальция и карбонату лития. В связи с тем, что рациональная дозировка карбоната лития (0,2 – 0,4%) на порядок ниже, чем формиата кальция (2-4%), для производства особобыстротвердеющих высокопрочных бетонов рекомендован карбонат лития. Показано, что нарастание прочности во времени хорошо описывается известной зависимостью ЕКБ-ФИП при значении $k = 0,11 - 0,13$, при этом в суточном возрасте при нормальных условиях твердения обеспечивается 52 – 67% проектной прочности бетона, т.е. отпускная прочность, что предлагается в качестве критерия определения «особобыстротвердеющего» бетона.
5. Применение СП в зависимости от вида и дозировки продлевает «индукционный период» на 4 – 8 ч, а при введении СП совместно с ускорителем увеличение индукционного периода составляет 1 – 2 ч, но по его завершению процесс гидратации протекает более интенсивно, в связи с чем в итоге в суточном возрасте степень гидратации превышает значение для бездобавочного цемента. Применение комплексной добавки «суперпластификатор + ускоритель твердения + РД» обеспечивает повышение тепловыделения в суточном возрасте до 22%. Суммарный эффект применения ускорителя и РД проявляется в сокращении до 3,5 ч индукционного периода в системе «ПЦ + РД + СП + ускоритель твердения».

6. Предел прочности высокопрочного особобыстротвердеющего бетона подчиняется закону В/Ц. Влияние условий твердения (сухие или влажностные) на рост прочности после 28 суток незначительное, в пределах 10%. Соотношение между призмной и кубиковой прочностью соответствует известному для общестроительных бетонов, а также бетонов с компенсированной усадкой значению $R_{pr} = (0,78 - 0,8)$, а предел прочности при растяжении соответствует общеизвестной зависимости $R_t = 0,3R^{0,6}$, что позволяет проектировать конструкции из высокопрочных особобыстротвердеющих бетонов без корректировки нормативных и расчетных сопротивлений.
7. Применение комплексной добавки повышает морозостойкость бетонов, полученных из равноподвижных смесей примерно на 20%. При испытаниях на сульфатостойкость предельные деформации расширения в составах с добавкой не зафиксированы через 6 месяцев испытаний, в то время как эталон через 3 месяца испытаний показал предельные деформации расширения в растворе сульфата натрия.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Ведущие рецензируемые научные издания и журналы:

1. Виноградова Е.В. Аспекты получения высокопрочного быстротвердеющего бетона с компенсированной усадкой //Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказ. регион. Технические науки. - 2006. - № 7. – С.43 - 46

Международные и Всероссийские конференции:

2. Виноградова Е.В., Несветаев Г.В. К вопросу технологии сверхбыстротвердеющих бетонов // «Строительство - 2003»: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2003. – С.8-9. – Авт. 1,5 с.
3. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В. Оценка эффективности новых суперпластификаторов в сочетании с Российскими цементами //«Строительство - 2003»: Материалы Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2003. – С.9-10. – Авт. 1,5 с.

4. Виноградова Е.В. Некоторые положения технологии высокопрочных быстротвердеющих бетонов // «Строительство - 2004»: Материалы Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004. – С. 15 - 17.

5. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В., Жильникова Т.Н., Карявкин А.В. Зимнее бетонирование с применением мелкозернистых бетонов // «Строительство - 2004»: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004. – С.18 – 21. – Авт. 2 с.

6. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В. Сверхбыстротвердеющие высокопрочные бетоны // «Строительство - 2005»: Материалы Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005. – С.35 – 37. – Авт.2с.

7. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В. Перспективы получения сверхбыстротвердеющих бетонов// «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии»: Третья Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004.- С. 11 -14. – Авт. 3 с.

8. Несветаев Г.В., Чмель Г.В., Жуков А.В., Ужахов М.А., Виноградова Е.В., Налимова А.В., Тен Т.В. Оценка эффективности суперпластификаторов // «Бетон и железобетон в третьем тысячелетии»: Третья Межд.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: РГСУ, 2004.- С. 429-432. – Авт. 2 с.

9. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В., Налимова А.В., Ужахов М.А., Тен Т.В. Эффективность применения суперпластификаторов в бетонах и сухих строительных смесях // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Четвертая Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: 2006.- С. 335-342. – Авт. 4 с.

10.Виноградова Е.В. Быстротвердеющий высокопрочный бетон с компенсированной усадкой // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Четвертая Междунар.науч.-практ.конф. – Ростов н/Д: 2006.- С. 342-348.

11.Несветаев Г.В., Виноградова Е.В, Жильникова Т.Н. Исследование процессов структурообразования и перспективы получения высокопрочных быстротвердеющих бетонов // Наука, техника и технология нового века (НТТ – 2003): Материалы Всерос. науч.-техн. конф.– Нальчик: Каб.-Балк. гос. ун-т, 2003.- С.285-290. – Авт. 4 с.

12. Несветаев Г.В., Виноградова Е.В. О влиянии суперпластификаторов и расширяющей добавки на тепловыделение портландцемента в ранний период // Наука, техника и технология нового века (НТТ – 2005): Материалы Всерос. науч.-технич. конф. – Нальчик: Каб.-Балк. гос. ун-т, 2005. – С. 130-136. – Авт. 5с

13. Виноградова Е.В. Высокопрочный быстротвердеющий бетон с компенсированной усадкой // XV Russian-Slovak-Polish Seminar «Theoretical Foundation of Civil Engineering». – Moscow; Rostov-on-Don; Warszawa, 2006. – С. 402 - 414 .

Периодические печатные издания и журналы:

14. Виноградова Е.В. Некоторые аспекты получения сверхбыстротвердеющих бетонов // Известия РГСУ. – 2004 - № 8.- С. 15.

15. Виноградова Е.В. Быстротвердеющий высокопрочный бетон // Известия РГСУ. – 2005 - № 9.- С. 35.

Прочие публикации:

16. Виноградова Е.В. Некоторые аспекты получения сверхбыстротвердеющих бетонов // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкаф. сб. науч. тр. – Ростов н/Д: РГСУ, 2003.-С. 3-6.

17. Виноградова Е.В. Об ускорении твердения высокопрочных бетонов // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкаф. сб. науч. тр. – Ростов н/Д: РГСУ, 2003.-С. 6-8.

18. Виноградова Е.В. К вопросу регулирования деформаций высокопрочного быстротвердеющего бетона // Железобетон, строительные материалы и технологии в третьем тысячелетии: Межкаф. сб. науч. тр. – Ростов н/Д: РГСУ, 2005.- С. 7-13.

Подписано в печать 15.11.06 Формат 60x84/16.

Бумага писчая. Ризограф. Уч. – изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 739.

Редакционно-издательский центр Ростовского государственного
строительного университета

344022, Ростов –на- Дону, ул. Социалистическая, 162.

