

ПОЛУЧЕНИЕ БЕТОНОВ С КОМПЕНСИРОВАННОЙ УСАДКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЯЮЩЕГО СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО МОДИФИКАТОРА

During research work has been developed the expanding sulfoaluminate modifier which allows noncontracting and self-stressing concretes. The linear expansion of this concretes is 0,1–0,2%. As components at the synthesis of the expanding modifier were used phosphogypsum, clay and chalk. The modifier was entered in amount of 10–15% from the weight of the cement.

Ушедшее столетие в области строительства характеризовалось стремительно растущим применением цементного бетона, ставшим одним из основных строительных материалов для различных видов капитального строительства.

Бетон является практически универсальным строительным материалом с широчайшим набором различных физико-технических характеристик, значение которых на протяжении всего столетия росло.

Однако применение бетонных и железобетонных конструкций требует преодоления трудностей, связанных со свойством бетонов при твердении и высыхании уменьшаться в объеме и претерпевать усадку. Усадка может быть настолько сильной, что всякое жесткое препятствие уменьшению объема, будь то распорные устройства, арматура или заполнитель бетона, вызывает возникновение в бетоне высоких растягивающих напряжений и при длительном действии усадки приводит к появлению многочисленных трещин.

На протяжении почти 100 лет техническая мысль была направлена на изыскание средств полного устранения усадки или хотя бы уменьшения ее до размеров, не вызывающих трещинообразования.

Пожалуй, наилучшим по эффекту действия оказалось использование в бетонах безусадочных цементов. Эти цементы обладают способностью расширяться при твердении и обеспечивать компенсацию усадочных явлений.

В настоящее время бетоны с компенсированной усадкой применяют только в некоторых областях строительства (тоннели метрополитенов, напорные трубы, резервуары, полы промышленных зданий, покрытия дорог и аэродромов, некоторые гидротехнические сооружения). Однако очень высокие технические показатели сооружений, построенных с использованием этих бетонов, говорят о том, что они будут желательны во всех объектах, в которых недопустимы трещины от усадки и нагрузки, а также необходима водо-, газо- и бензонепроницаемость [1].

Наиболее доступными и распространенными являются бетоны с компенсированной усадкой на основе обычного портландцемента и расширяющей добавки, включающей дорожной глиноземистый цемент и природный гипс.

Эффект расширения в этих бетонах основан на увеличении объема твердой фазы за счет образования высокосульфатной формы гидросульфата алюмината кальция в твердеющей системе [2].

Настоящая работа посвящена разработке расширяющего модификатора, обеспечивающего эффект компенсированной усадки и расширения в бетоне. Задача модификатора сводится к обеспечению оптимальных условий для быстрого образования высокосульфатной формы гидросульфата алюмината кальция (эттрингита) в твердеющей системе в период после достижения бетоном достаточной прочности. Как показали литературные исследования, данный эффект могут обеспечить дополнительно вводимые в твердеющую цементную систему сульфат алюмината и сульфат кальция.

Для получения необходимой минералогической основы при синтезе расширяющего модификатора использовали фосфогипс, глину и мел. Использование в сырьевой смеси дополнительного количества карбоната кальция (в виде мела) обусловлено недостаточным количеством оксида кальция в составе глин для образования соединений необходимой стехиометрии. Соотношение исходных компонентов сырьевой смеси определялось экспериментально. Параметром, определяющим качество сульфаталюминатного модификатора, служила прочность цементного камня и линейное расширение стандартных образцов в возрасте 28 сут. Исследования велись при разных соотношениях сырьевых компонентов и при различных температурах синтеза модификатора.

Для изучения линейного расширения модификатора готовились стандартные образцы, включающие цемент, расширяющий модификатор, песок и воду. Причем соотношение песка и цемента было 3:1, а количество воды определялось экспериментально по расплыву стандартного конуса, который должен составлять 120 ± 2 мм. Цемент и модификатор в сухом виде тщательно перемешивались, затем добавлялся песок и вода. Полученные образцы выдерживали одни сутки на воздухе, а остальное время в воде. В качестве контрольного образца использовался состав на основе портландцемента М500Д0 и песка. Для эксперимента были отобраны составы, представленные в табл. 1.

Таблица 1
Составы сырьевой смеси для производства
расширяющего модификатора

Шифр состава	Состав сырьевой смеси, %		
	Мел	Глина	Фосфо- гипс
1	10	30	60
2	10	35	55
3	10	40	50
4	15	30	55
5	15	35	50
6	15	40	45
7	20	30	50
8	20	35	45
9	20	40	40

Результаты исследования линейного расширения стандартных образцов и прочности на сжатие цементного камня в зависимости от температуры синтеза и содержания расширяющего модификатора представлены в табл. 2 и 3.

Как видно из табл. 2, для всех составов и для всех температур обжига сырьевой смеси

отмечается стабильное линейное расширение стандартных образцов. Контрольный образец на обычном портландцементе испытывает усадку. Наибольший эффект расширения отмечается у составов № 4 и № 5, обожженных при температуре 800 и 900°C соответственно.

Анализ табл. 3 свидетельствует, что наибольшей прочностью обладает цементный камень с модификатором, обожженным при в температурном интервале 800–1000°C из сырьевой смеси состава № 1, № 2, № 3 и № 4. Его прочность практически не уступает прочности цементного камня на бездобавочном цементе.

Оптимальным с точки зрения линейного расширения и прочности цементного камня является состав № 4 (15% мела, 30% глины и 55% фосфогипса), обожженный при температуре 900°C, который и был принят для дальнейших исследований. Рентгенофазовые и оптические исследования показали, что полученный расширяющий модификатор имеет сложный минералогический состав. При анализе в спеклах обнаружены ангидрит, сульфoалюминат, сульфосиликат и сульфoферрит кальция, силикаты и алюминаты кальция и другие минералы.

Таблица 2
Линейное расширение стандартных образцов в возрасте 28 сут

Шифр состава	Количество модификатора, %	Температура обжига, °C			
		800	900	1000	1100
1	10	0,064	0,139	0,082	0,054
	15	0,086	0,147	0,112	0,044
2	10	0,144	0,12	0,11	0,082
	15	0,158	0,136	0,126	0,114
3	10	0,162	0,185	0,16	0,157
	15	0,162	0,141	0,186	0,129
4	10	0,191	0,178	0,163	0,128
	15	0,222	0,198	0,172	0,144
5	10	0,22	0,17	0,166	0,152
	15	0,17	0,184	0,145	0,12
6	10	0,173	0,167	0,13	0,135
	15	0,185	0,164	0,14	0,15
7	10	0,13	0,16	0,154	0,132
	15	0,16	0,175	0,134	0,15
8	10	0,12	0,09	0,08	0,062
	15	0,13	0,123	0,094	0,068
9	10	0,09	0,05	0,07	0,052
	15	0,07	0,064	0,058	0,07
Контрольный	0	-0,08			

Прочность на сжатие цементного камня в возрасте 28 сут

Шифр состава	Количество модификатора, %	Температура обжига, °C			
		800	900	1000	1100
1	10	59,3	56,2	55,1	52
	15	56,1	56,2	55	50,5
2	10	58,1	57,7	55,2	52,5
	15	56,2	55	54,5	51,5
3	10	56,1	55,6	56,4	54,5
	15	55,1	57,2	56	56,2
4	10	57,2	56,2	54,1	54,2
	15	58,2	56,6	55,5	53,1
5	10	57,3	55,1	58,1	56,2
	15	56,2	53,2	53	52,5
6	10	53,4	52,1	51,5	51,5
	15	50,9	52,2	50,8	48,7
7	10	51,2	50,8	48,2	49,3
	15	48,9	49,5	48,5	48,6
8	10	51,2	53,4	51,5	52,5
	15	50,2	49,6	49,9	49,8
9	10	52,3	52,6	48,2	49,4
	15	49,3	51,2	49,5	48,5
Контрольный	0	59,8			

Далее были проведены комплексные исследования физико-механических свойств безусадочного цемента на основе расширяющего модификатора. Полученные результаты представлены в табл. 4 и на рисунке.

Из табл. 4 видно, что оптимальное содержание расширяющего модификатора в безусадочном бетоне составляет 5–15% от массы цемента, большая дозировка приводит к существенному спаду прочности.

Исследования гидратации и твердения цементного камня на безусадочном цементе показали, что в период до 7 сут идет интенсивное образование трехсульфатной формы гидросульфалюмината кальция, которая стабилизируется к 10 сут. Это позволяет практически прекратить линейное расширение и избежать разрушения структуры цементного камня и, соответственно, снижения прочности. Это заметно из анализа рисунка.

Таблица 4

Физико-механические свойства безусадочного цемента на основе расширяющего сульфалюминатного модификатора

Содержание модификатора в цементе, %	Нормальная густота, %	Сроки схватывания,		Прочность через 28 сут, МПа		Самонапряжение через 28 сут, МПа
		начало, мин	конец, ч	на сжатие	на изгиб	
5	0,28	55	4,2	61,2	6,9	1,1
10	0,28	40	4	57,2	6,65	1,6
15	0,29	25	4,2	55,3	6,2	1,8
20	0,3	15	4,2	48,2	4,8	2,2
Контрольный	0,26	55	4,5	59,6	7,2	—

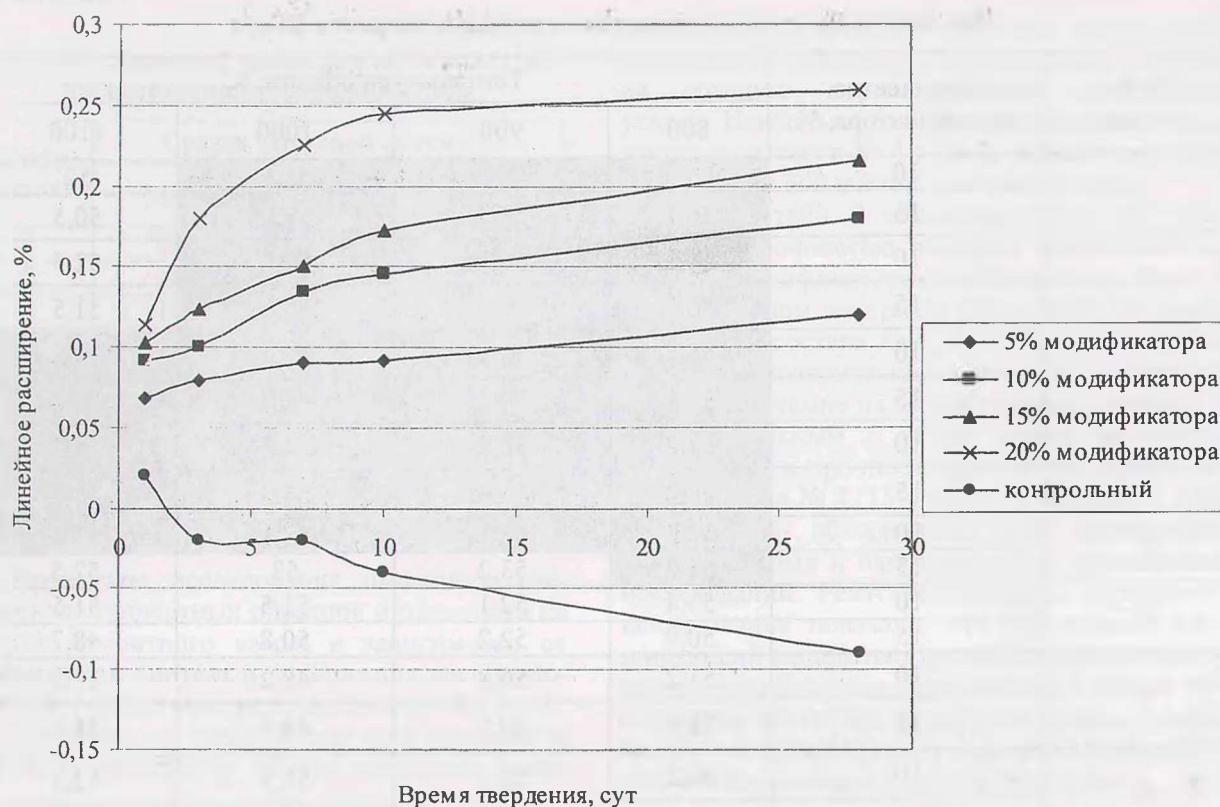


Рисунок. Зависимость линейного расширения цементного камня от времени твердения

К 28 сут твердения основная часть гидросульфатоалюмината кальция переходит в низкосульфатную форму. Однако гидросиликатная матрица цементного бетона к этому времени приобретает достаточную жесткость, что предотвращает существенные усадочные явления.

Таким образом, разработанный для безусадочных цементов расширяющий сульфатоалюминатный модификатор соответствует всем необходимым требованиям и может применяться для производства бетонов с компенсированной усадкой. Испытания бетонов в более поздние сроки твердения показали отсутствие сбросов прочности и колебаний линейного изменения объема. Испытания в аккредитованных лабораториях подтвердили сделанные выводы.

Полученные результаты подтверждаются испытаниями, проведенными в УП «Институт БелНИИС» и УО БГТУ (г. Брест).

В настоящее время подана заявка на изобретение, утверждены технические условия на расширяющий модификатор для бетонов и растворов, выпущены опытно-промышленная и промышленная партии модификатора общим объемом более 100 т. Модификатор планируется применять:

– при монолитном бетонировании для предотвращения усадочных деформаций и получения эффекта самонапряжения бетона 1–2 МПа;

– в составе сухих строительных смесей для предотвращения образования трещин в штукатурке;

– в составе тампонажных цементов с расширением до 1% при строительстве нефтяных и газовых скважин;

– в составе автоклавных материалов для увеличения прочности ячеистого бетона в 2–2,5 раза или снижения плотности в 2 раза и сокращения сроков тепловлажностной обработки силикатного кирпича;

– в составе гидроизоляционных растворов при строительстве подземных бетонных сооружений.

Литература

1. Тур В. В. Напрягающий бетон – материал грядущего века // Архитектура и строительство. – М., 1999. – № 6. – С. 27–29.
2. Тур В. В. Самонапряжение сборно-монолитных конструкций с монолитной частью из напрягающего бетона // Бетон и железобетон. – М., 2001. – № 4. – С. 16–22.
3. Кардумян Г. С., Басов В. С., Тур В. В. Напрягающий бетон в строительстве // Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. Н. П. Блещика. – Мн.: Технопринт, 2000. – С. 103–112.