

## **СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РАСШИРЯЮЩИМИСЯ ДОБАВКАМИ СУЛЬФОФЕРРИТНОГО И СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО ТИПА**

**Павлова И. П.**, канд. техн. наук, доцент, **Беломесова К.**, магистрант  
УО «Брестский государственный технический университет»

**Аннотация.** В статье приведены результаты опытных исследований влияния расширяющихся сульфoferритных и сульфoалюминатных добавок на прочностные характеристики и собственные деформации твердеющих цементных систем. Данные исследования проводились с целью назначения оптимальных дозировок расширяющихся добавок для получения напрягающих бетонов или бетонов с компенсированной усадкой.

**Введение.** Развитие технологии цементных композитов привело к получению высококачественных бетонов [1,3], но не избавило их от главного недостатка – усадки. Одним из наиболее перспективных вариантов решения данной проблемы является применение бетонов на основе расширяющихся вяжущих. Высокие показатели свойств, присущие бетонам на расширяющихся вяжущих, позволили с успехом применять их в различных областях строительства. Особенно эффективно применение таких бетонов в конструкциях и сооружениях, к которым предъявляются повышенные требования по трещиностойкости, водонепроницаемости и долговечности [4].

В Республике Беларусь на протяжении ряда лет ведутся целенаправленные исследования расширяющихся и напрягающих цементов (НЦ), бетонов и самонапряженных конструкций. Опыт применения напрягающих бетонов в строительной отрасли РБ представлен в работах [3–5].

Следует отметить, что в настоящее время в Республике Беларусь объемы производства напрягающего и расширяющегося цементов невелики. Одной из главных причин небольших объемов производства, несмотря на потребность в названном материале, следует считать отсутствие в Республике Беларусь доступного сырья. В настоящей работе представлены результаты исследований вяжущих на основе расширяющихся добавок, получаемых из отечественного сырья.

### **1 Экспериментальные исследования собственных деформаций цементного камня, модифицированного расширяющимися добавками различного типа**

Целью проведения настоящих исследований являлось определение влияния расширяющихся добавок сульфoалюминатного и сульфoферритного типа на прочностные и деформационные характеристики материалов на основе цементных вяжущих с различными минералогическими составами [5].

Были заформованы серии образцов, отличающихся способом введения и видом расширяющегося компонента (табл. 1).

Таблица 1 – Исследуемые составы

Серия образ-раз-цов	Компоненты смеси	Технология перемешивания компонентов	В/Ц	Процентное соотношение компонентов
0А	Цемент СЕМ I 42,5N СТБ 197-1 (далее Ц) Песок (П) ГОСТ 8736 (далее П)	Вода/ПЦ/П	0,44	
1А (1:1)	Ц/Метаксаолин (далее М)/ Гипс (далее Г)/П	М+Г+В (суспензия)/Ц/П	0,33	ПЦ 71% Г 15% М 14%
1А (1:3)	Ц/М/Г/П	М+Г+В (суспензия)/Ц/П	0,48	
1Б (1:1)	Ц/М/Г/П	М+Г+ПЦ(в сухом виде)/В/П	0,33	
1Б (1:3)	Ц/М/Г/П	М+Г+ПЦ(в сухом виде)/В/П	0,48	
2А (1:1)	Ц/Сульфферритная добавка (далее СД)/П	СД+В (суспензия)/Ц/П	0,30	ПЦ 90% СД 10%
2А (1:3)	Ц/ СД/П	СД+В (суспензия)/Ц/П	0,44	
2Б (1:1)	Ц/ СД/П	СД+Ц (в сухом виде)/В/П	0,30	
3А (1:1)	Ц/ М/Г/СД/П	М+Г+СД+В (суспензия)/Ц/П	0,31	ПЦ 71% Г 10% М 9% СД 10%
3А (1:3)	Ц/ М/Г/СД/П	М+Г+СД+В (суспензия)/Ц/П	0,46	
3Б (1:1)	Ц/ М/Г/СД/П	М+Г+СД+ПЦ (в сухом виде)/В/П	0,31	
3Б (1:3)	Ц/ М/Г/СД/П	М+Г+СД+ПЦ (в сухом виде)/В/П	0,46	

### Результаты постановочных исследований и их анализ

Результаты испытаний образцов вяжущих, модифицированных сульфферритными и сульфалюминатными добавками, представлены на рис.1.

Введение расширяющегося компонента в виде суспензии приводит к некоторому росту прочностных показателей исследуемых составов (как прочности на сжатие, так и прочности на растяжение при изгибе) по сравнению с аналогичным составом, отличающимся сухим перемешиванием добавок. Однако прирост прочности не значителен (в пределах 1%). Поэтому выбор способа введения добавки должен быть обоснован технологическими возможностями. При этом, составы с расширяющимися добавками на основе метаксаолина и гипса дают спад прочности на сжатие по сравнению с эталонными составами на ПЦ (до 12% в возрасте 28 суток), что объяснимо некоторым разуплотнением структуры на стадии свободного расширения.

На рисунке 1 представлены данные по изменению прочностных показателей во времени для составов, модифицированных метаксаолином в смеси с гипсом, и составов с расширяющейся сульфферритной добавкой. Способ

введения добавок – суспензия. Введение сульфоферритной добавки приводит к росту прочности на сжатие, начиная с начальных сроков твердения. При этом образцы на составах «ПЦ-метакаолин-гипс» показывают некоторый спад прочности (всё в сравнении с эталонными образцами на ПЦ). Видимо, этот эффект в случае сульфоферритной композиции следует объяснять образованием железистого этtringита, способствующего большему уплотнению структуры и снижению пористости. Состав, приготовленный с применением метакаолина, вследствие реализации значительных величин свободного расширения (около 0,6%), приводит к разуплотнению структуры, и как следствие, снижению прочности.

Способ введения расширяющегося сульфоферритного компонента в сухом виде приводит к росту прочностных показателей, как в сравнении с составом на основе метакаолина и гипса, так и с эталонным составом. При этом, при введении добавки «метакаолин-гипс» наблюдается спад прочности по сравнению с эталоном.

Применение комплексной добавки на основе смеси сульфоферритного и сульфоалюминатного компонентов (см. рис. 1) приводит к спаду прочности на сжатие по сравнению с эталоном (снижение прочности составило около 43%), и показывает прочность ниже прочности образцов, изготовленных из составов с отдельным введением добавок. Данный эффект объясним высоким содержанием в смеси вяжущего активной компоненты, которая, расширяясь, значительно разуплотняет структуру. Снижение содержания цементного клинкера в смеси вяжущего приводит к снижению количества новообразовавшегося геля CSH, таким образом структура не успевает «самозалечиваться».

Изменения показателей свободного линейного расширения для исследуемых составов представлены на рис. 2. Методика определения свободных и связанных деформаций была принята в соответствии с [6].

Как видно из рис. 2, способ введения не влияет на итоговую величину расширения модифицированного цементного камня. Но, модификатор «метакаолин+гипс» дает рост линейного расширения порядка 0,6%, а аналогичных составов с применением расширяющейся сульфоферритной добавки – 0,1%. Полученные различия в деформациях свободного расширения следует, очевидно, обосновать тем обстоятельством, что сульфоферритная добавка проявляет максимальную деформацию расширения в первые сутки твердения, когда образцы еще не были распалублены и возможности снять отсчеты не было, либо тем, что формирование железистого этtringита не приводит к явным проявлениям изменения объема системы. Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

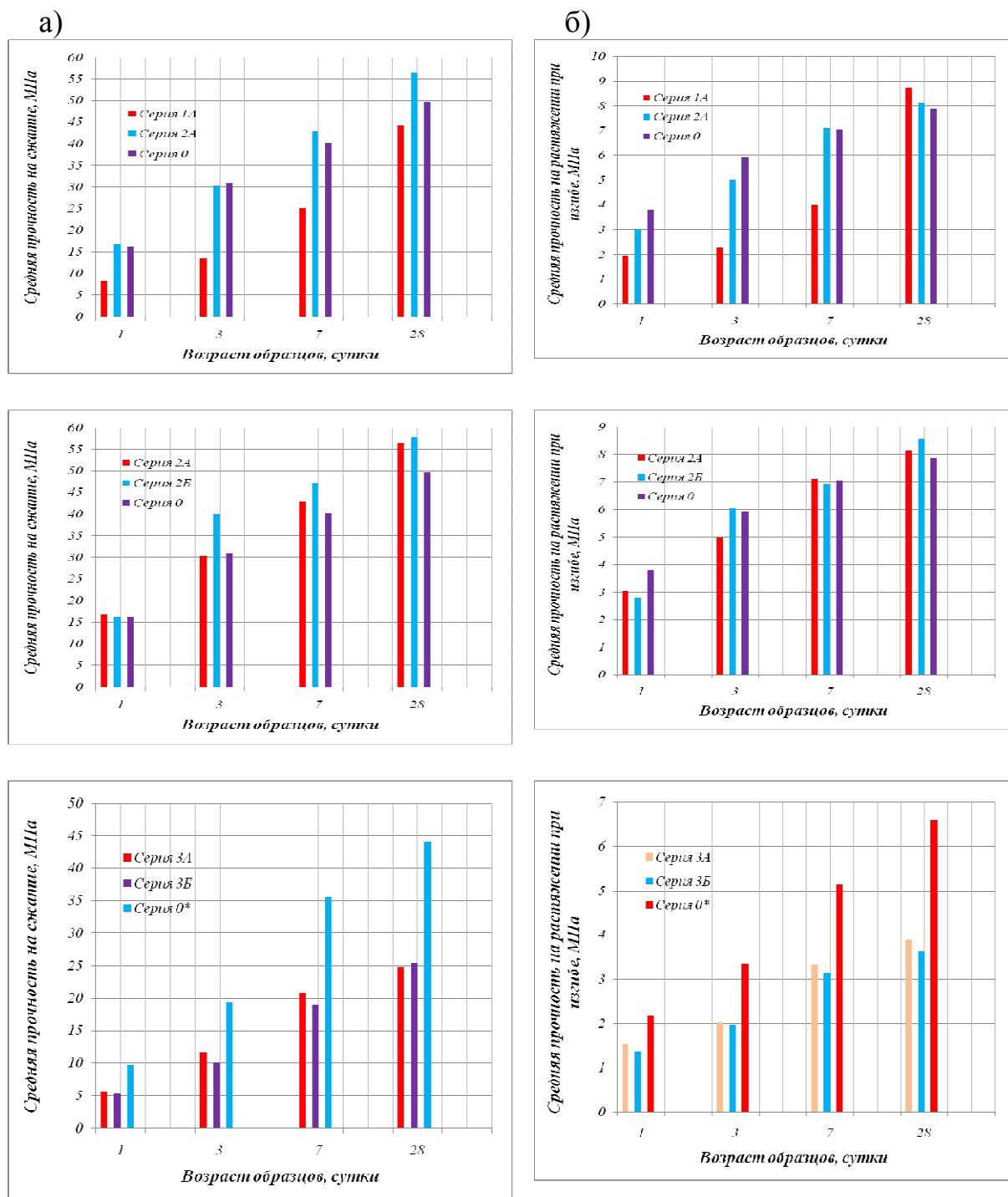


Рисунок 1 – Результаты испытаний прочности на сжатие (а) и растяжение при изгибе (б) опытных образцов

Графики изменения во времени величины самонапряжения образцов, изготовленных из составов, модифицированных расширяющимися добавками сульфферритного и сульфалюминатного типа, представлены на рис. 3.

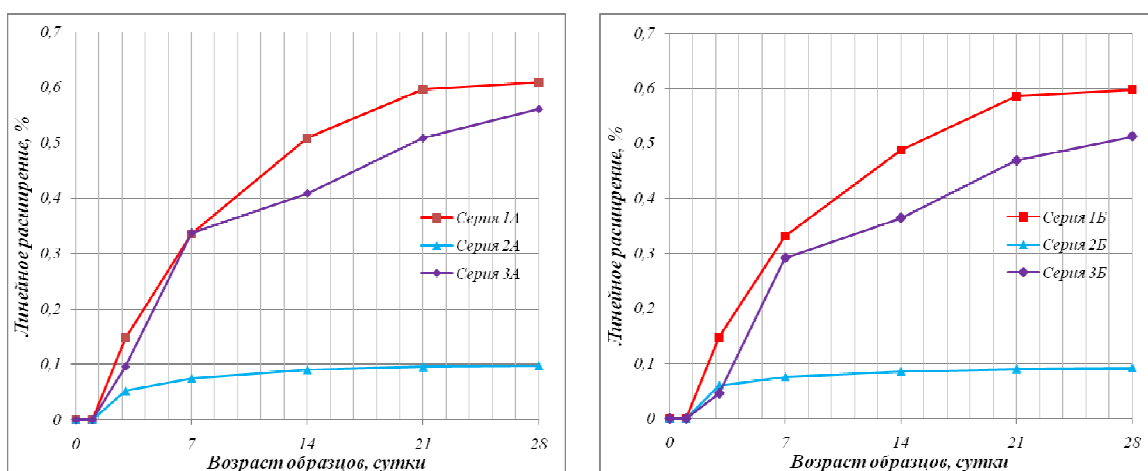


Рисунок 2 – Линейное расширение цементного камня, модифицированного метаксаолином и сульфферритной добавкой

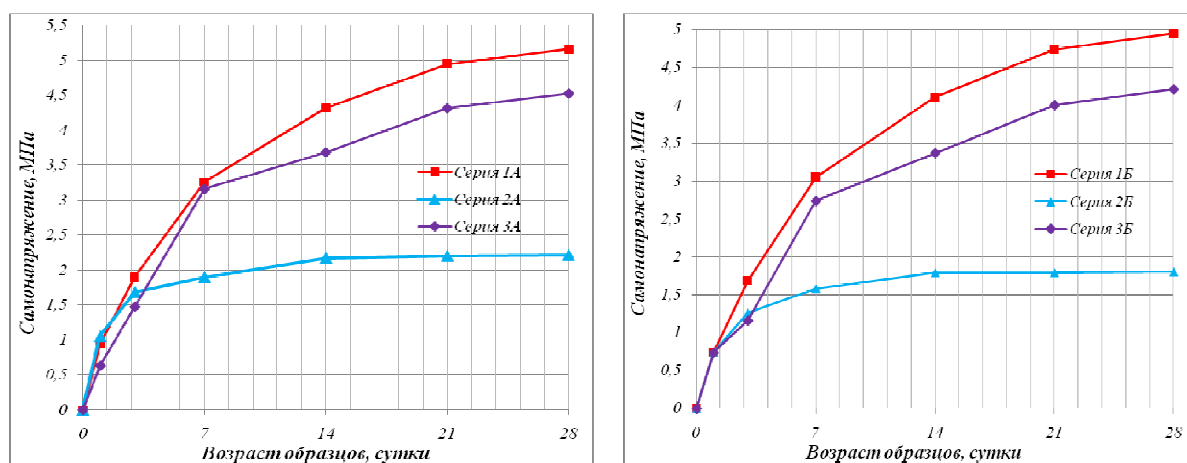


Рисунок 3 – Самонапряжение цементного камня, модифицированного метаксаолином и сульфферритной добавкой

Как следует из графиков, представленных на рис. 4, образцы, твердевшие в условиях стандартного ограничения ( $\rho_1=1\%$ ) [6], показывают схожую кинетику развития связанных деформаций, как и образцы, твердевшие в свободных условиях. Способ введения расширяющейся компоненты не оказывает существенного влияния на итоговую величину самонапряжения модифицированного цементного камня. Вместе с тем, при применении модификатора «метаксаолин+гипс» получены самонапряжения до 5 МПа, в то время как расширяющаяся сульфферритная добавка дает максимальную величину самонапряжения 2,2 МПа. Введение смешанной добавки дает промежуточное значение величины самонапряжения по сравнению с отдельным введением добавок. Вероятным объяснением является несбалансированный химический состав и снижение доли портландцемента в смеси. Разница в дозировке компонентов также оказывает безусловное влияние на итоговое самонапряжение. Так, расширяющаяся добавка типа «метаксаолин+гипс» вводится в количестве 29% от массы вяжущего, а сульфферритный модификатор – 10%. При этом

даже при дозировке 10% сульфферритная добавка дает возможность получать составы с энергией самонапряжения 2 МПа.

По результатам постановочных испытаний можно сделать следующие **выводы**: 1. Способ введения расширяющихся добавок (суспензия либо в сухом виде) не оказывает существенного влияния на изменение исследуемых прочностных характеристик и показателей свободного и связанного расширения. 2. Применение сульфферритной добавки приводит к росту прочностных показателей цементных систем, что обусловлено уплотнением структуры и снижением пористости вследствие образования железистого этtringита. Введение метакеолина и гипса приводит к спадам прочности из-за высокой энергии расширения, приводящей к частичному разуплотнению структуры. 3. Применение сульфферритной расширяющейся добавки является предпочтительным в случае получения бетонов с компенсированной усадкой либо бетонов повышенной водонепроницаемости. 4. Применение сульфалюминатной добавки позволяет получать вяжущие и бетоны на их основе с высокой энергией расширения, что обуславливает область ее применения для получения напрягающих бетонов. Кроме того, учитывая большие деформации расширения и самонапряжения в условиях стандартного ограничения, дальнейшего изучения требует вопрос применения такой добавки в элементах с высоким процентом армирования, дисперсным армированием или в условиях двух- и трехосного расширения.

**Литература.** 1.Блещик Н.П. Особенности и технические проблемы новых видов конструкционных бетонов // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. – Мн., 2005 –№1. –с.55-64. 2. Павлова И.П., Тур В.В. Параметрические исследования процесса расширения напрягающего бетона с использованием структурной модели расширяющегося композита // Вестник БГТУ. Строительство и архитектура. – 2004. -№1. 3. Тур В. В. Направления развития цементного бетона в третьем тысячелетии // Архитектура и строительство. – №5, №6. – Мн., 2003. 4. Тур В.В. Самонапряженный железобетон: исследования, опыт и перспективы применения // Строительная наука и техника. Научно-технический журнал. – Мн., 2005 –№1. –с.65-72. 5. ГПНИ 56 (№ госрегистрации 20142166) Разработка составов и технологических параметров получения расширяющих сульфферритных добавок для напрягающих бетонов (Заключительный отчет) Брест, БрГТУ – 96 с. 6. СТБ 1335-2002 «Цемент напрягающий. Технические условия» – Мн: Стройтехнорм, 2003 – 14 с.