

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 624.012.45

### ОСОБЕННОСТИ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯГАЮЩЕГО ЦЕМЕНТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКОЙ НИТРАТА КАЛЬЦИЯ

*Д.Н. САВЕНЯ, Д.А. СОЛОВЬЕВ*

*(Гродненский государственный университет им. Я. Купалы);*

*канд. тех. наук, доц. В.Н. ПЛОСКОНОСОВ*

*(Брестский государственный технический университет)*

*Приведены результаты исследований прочностных и деформационных характеристик напрягающего цемента, модифицированного добавкой нитрата кальция. Применение напрягающего цемента без модифицирующих добавок, состав которого подобран по стандартной методике, в условиях низких положительных температур твердения ограничено вследствие возможного разрушения на начальных этапах. Применение напрягающего цемента с добавкой нитрата кальция позволяет получить стабильное управляемое самонапряжение как для нормальных, так и пониженных положительных температур твердения. Выявлено, что введение добавки нитрата кальция позволяет повысить предел прочности при сжатии на 15...20 % и получить энергию самонапряжения от 2 до 3 МПа в условиях низких положительных температур.*

Изготовление бетонных и железобетонных изделий на основе портландцемента в настоящее время широко распространено в строительстве. Одним из недостатков портландцементного бетона является развитие усадочных деформаций. Многочисленными исследованиями и практическим опытом подтверждена высокая эффективность применения напрягающих бетонов для компенсации усадочных деформаций и достижения самонапряжения. Наиболее эффективные результаты напрягающий бетон показывает в стыках сборно-монолитных конструкций, когда небольшой расход материала обеспечивает объемное напряжение арматуры. Для максимальной реализации прочностных и энергетических параметров бетонов на напрягающем цементе (НЦ) необходимо обеспечить оптимальный, строго контролируемый во времени, благоприятный температурно-влажностный режим его выдерживания: температура  $-20 \pm 5$  °С; влажность, близкая к 100 %. Эти достаточно жесткие требования ограничивают область применения бетонов на НЦ в технологии монолитного бетонирования при пониженных и близких к нулю температурах.

**Основная часть.** Предварительные исследования кинетики самонапряжения и линейного расширения составов НЦ цементно-песчаных образцов [1], проведенные на базе Брестского государственного технического университета, показали, что составы, подобранные по рекомендациям В.В. Михайлова [2] для нормальных температур твердения с низкой и средней энергией расширения в условиях низких положительных температур  $+5 \pm 2$  °С, разрушились в начальные сроки твердения, на 3-и сутки, а с высокой энергией расширения – на 7-е сутки.

Для бетона на обычном портландцементе (ПЦ) с целью обеспечения проектных его параметров при пониженных плюсовых и отрицательных температурах в монолитном строительстве широко применяются «противоморозные» химические добавки, и прежде всего неорганические соли соляной и азотной кислот. Соли соляной кислоты вызывают коррозию стальной арматуры в бетонах на портландцементе, а в бетонах на НЦ частично связываются в нерастворимые комплексные соли ГХАК. Выполненные исследования [3] показали, что неполное связывание ионов хлора приводит к меньшей, но язвенной коррозии, поэтому применение данной соли ограничено в армированных конструкциях. Соли азотной кислоты являются хорошими ингибиторами коррозии стальной арматуры, их применение наиболее целесообразно в напрягающих бетонах.

Применение добавок электролитов для НЦ в условиях низких положительных и нормальных температурах твердения малоизучено, так как они изменяют растворимость многокомпонентного вяжущего. Алюминий- и кремнийсодержащие составляющие клинкерных цементов весьма существенно отличаются по своей способности к взаимодействию с добавками электролитов:  $C_3A$  и  $C_4AF$  склонны к реакциям присоединения с образованием соответствующих двойных солей-гидратов (гидросульфо-, гидрохлор-, гидронитроалюминатов кальция), а  $C_3S$  и  $\beta$ - $C_2S$  не склонны к реакциям присоединения с этими добавками. Следовательно, состав продуктов гидратации НЦ, порядок и интенсивность химических реакций изменяется, что приводит к изменению скорости роста прочности и расширения. Нарушение баланса этих двух показателей может привести к разрушению или отсутствию самонапряжения. Влияние электролитов на кинетику самонапряжения напрягающих цементов мало изучено, что вызвало необходимость проведения исследований данного вопроса.

**Методика исследования.** Исследования проводились на цементно-песчаных образцах, твердевших в нормальных температурных условиях при  $t = 20 \pm 5$  °С (образцы 1...3) и низких положительных при  $t = 5 \pm 2$  °С (образцы 1'...3'). В качестве вяжущего применялся напрягающий цемент лабораторного приготовления с маркой по самоупрочению НЦ-4. Для получения напрягающего цемента были использованы (табл. 1): портландцемент класса 42,5 Красносельского цементношиферного завода; глиноземистый цемент ГЦ 40 Пашийского металлургического цементного завода; природный гипс (Г) 1-го сорта Сауриешского карьера и речной песок с модулем крупности  $M_k = 1,8$ . Концентрация добавки электролита варьировалась от 1 до 3 % от массы цемента (табл. 2). Измерения деформации расширения образцов производилось по методике, нормируемой в СТБ 1335-2002 [4].

Таблица 1

Химический состав цемента

Компоненты	Содержание окислов, %					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	MgO	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
Портландцемент класса 42,5	4,6	64,88	2,14	5	1,61	–
Глиноземистый цемент	34,92	35,5	0,79	–	–	–
Гипс	–	–	–	–	–	73,2

Таблица 2

Концентрации добавок электролита и расход материалов НЦ

№ состава	Содержание добавки, %	Расход материалов ПЦ:ГЦ:Г, %
1	–	83:10:7
2	1,5 % Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
3	3 % Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	

**Результаты исследования и их анализ.** Интенсивное расширение образцов базового состава (состав 1) в нормальных температурных условиях происходило до возраста 14 суток, в последующем периоде происходила стабилизация процессов расширения (рис. 1). Предел прочности при сжатии (рис. 3, 4) образцов данного состава, твердеющих в условиях низких положительных температур, в возрасте первых суток был низким (3 МПа), что ниже прочности образцов, твердеющих в нормальных температурных условиях (8 МПа). Образцы базового состава в условиях низких положительных температур показали резкий рост самоупрочения, что в сочетании с низкой прочностью привело к разрушению на 3-е сутки испытаний. Самоупрочение образцов составов 2 и 3 (рис. 1, 2) показали интенсивный рост расширения в начальные сроки (3-е суток) твердения и стабилизацию на 3 – 14 сутки независимо от температуры твердения. В дальнейшем периоде водного твердения составы с добавкой нитрата кальция показали рост самоупрочения до 20 %. После 42-х суток твердения происходила окончательная стабилизация процессов расширения. Предел прочности при сжатии образцов, модифицированных добавкой нитрата кальция, на 15...20 % выше образцов базового состава независимо от условий твердения, а при температуре  $+5 \pm 2$  °С образцы базового состава разрушились.

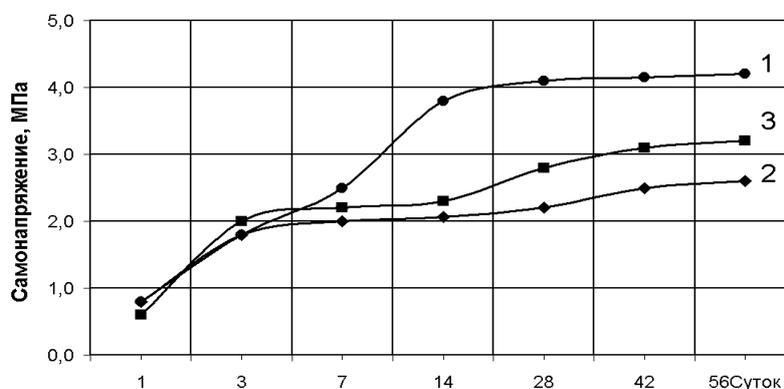


Рис. 1. Кинетика самоупрочения цементно-песчаных образцов на НЦ составов 1...3 в зависимости от концентрации добавки при температуре  $+20 \pm 5$  °С

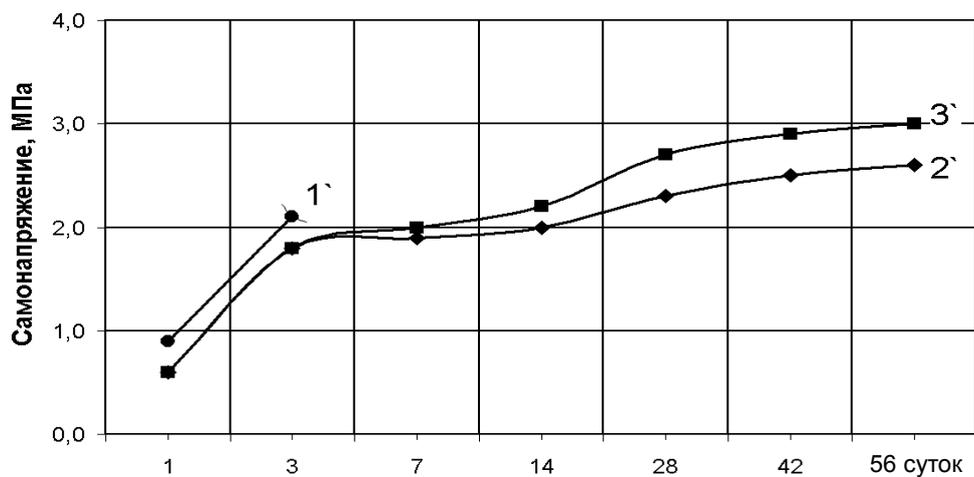


Рис. 2. Кинетика самонапряжения цементно-песчаных образцов на НЦ составов 1...3 в зависимости от концентрации добавки при температуре  $+5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

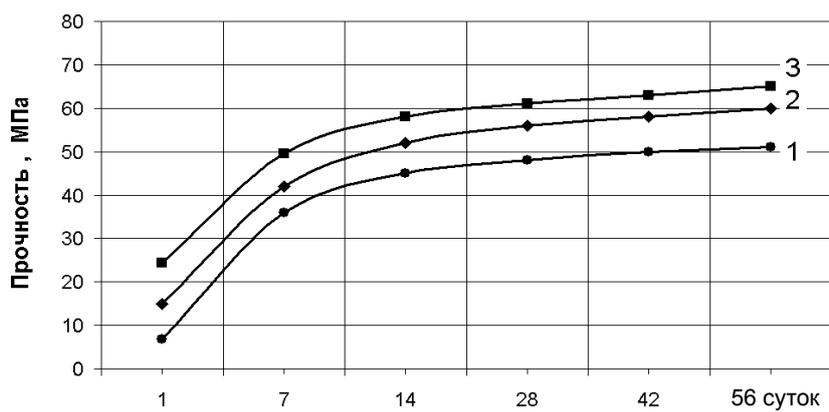


Рис. 3. Рост прочности цементно-песчаных образцов на НЦ составов 1...3 в зависимости от концентрации добавки при температуре  $+20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

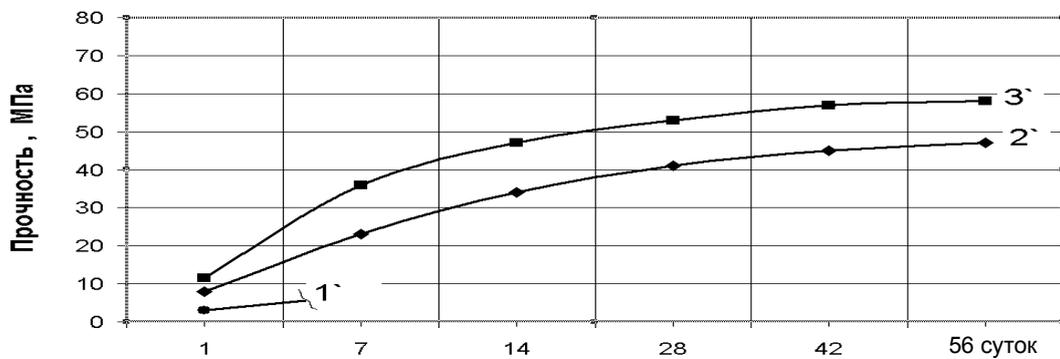


Рис. 4. Рост прочности цементно-песчаных образцов на НЦ составов 1...3 в зависимости от концентрации добавки при температуре  $+5 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

Проведенные исследования показали следующее:

- изменение температуры твердения образцов без модифицирующей добавки привело к разрушению в начальный период твердения, что вызвано снижением скорости роста прочности и увеличением скорости расширения напрягающего цемента из-за изменения растворимости гидроксида кальция, которая при понижении температуры увеличивается. Скорость гидратации гидроалюминатов прямо пропорционально зависит от концентрации гидроксида кальция [5]. Расширение напрягающего цемента также зависит от количества и вида образовавшегося в результате гидратации трехкальцевого гидросульфалюмината (ГСАК-3) [6]. Сочетание увеличения растворимости клинкерных минералов, отвечающих за образование ГСАК-3, и снижения скорости образования гидросиликатов кальция, отвечающих за набор прочности, в условиях низких положительных температур привело к разрушению базового состава.

- введение добавки нитрата кальция привело к увеличению прочности на сжатие образцов и раннему образованию этtringита, что в свою очередь способствует снижению энергии расширения из-за увеличения растворимости клинкерных минералов. После образования гидросульфалюминатов кальция в данных составах образуются гидронитроалюминаты кальция, что приводит к росту самонапряжения образцов модифицированного состава на 14...28 сутки.

**Выводы.** Применение напрягающего цемента без модифицирующих добавок, состав которого подобран по стандартной методике, в условиях низких положительных температур твердения ограничено вследствие возможного разрушения на начальных этапах. Применение напрягающего цемента с добавкой нитрата кальция позволяет получить стабильное управляемое самонапряжение как для нормальных, так и пониженных положительных температур твердения, но на 25...35 % ниже в сравнении с базовым составом, твердеющим в условиях нормальных температур. Введение добавки нитрата кальция в состав напрягающего цемента позволяет получить предел прочности при сжатии на 15...20 % выше независимо от условий твердения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Плосконосов, В.Н. Исследование кинетики твердофазового расширения материалов напрягающего цемента в условиях низких положительных температур / В.Н. Плосконосов, Д.Н. Савеня // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: новые технологии, ресурс- и энергосбережение в строительной отрасли: материалы XV междунар. науч.-метод. семинара, Полоцк, 27 – 28 нояб. 2008 г. / Полоц. гос. ун-т; под ред. Д.Н. Лазовского [и др.]. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 283 с.
2. Михайлов, В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самонапряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с.
3. Савеня, Д.Н. Исследование коррозии стальной арматуры бетонов на напрягающем цементе с добавкой / Д.Н. Савеня, В.Н. Плосконосов // Проблемы строительства и архитектуры: сб. конкурсных работ студентов и аспирантов / Брест. гос. техн. ун-т; под ред. В.В. Тур [и др.]. – Брест, 2005. – 170 с.
4. Цемент напрягающий. Технические условия: СНБ 1335 – 2002. – Введ. 28.06.02. – Минск. – 17 с.
5. Тейлор, Х. Химия цемента / Х. Тейлор; пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
6. Красильников, К.Г. Физико-химия собственных деформаций цементного камня / К.Г. Красильников, Л.В. Никитина, Н.Н. Скоблинская. – М.: Стройиздат, 1980. – 256 с.

Поступила 27.05.2009