

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕТОНОВ НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТАЛЕТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© Павлова И.П., Бондаренко В.М., 2010

Выполнен анализ особенностей применения напрягающего цемента и бетонов на его основе при изготовлении сталетрубобетонных элементов. Предложено использовать комплексную расширяющуюся добавку при изготовлении напрягающего цемента. Выполнены экспериментальные исследования собственных деформаций напрягающих бетонов на основе цементов с комплексной расширяющейся добавкой в условиях одноосного и объемного упругого ограничения.

**Ключевые слова:** предварительное напряжение, сталетрубобетонные элементы, напряжение, деформация.

Analysis of self-stressing cement and concrete application features on concrete filled steel tubes production is viewed. Complex expansive admixture on manufacturing self-stressing cement is proposed. Experiment research of self-stressed concrete on basis of complex expansive admixture residue strains in conditions of uniaxial and biaxial elastic restriction are executed.

**Keywords:** prestressing, reinforcement, concrete steel tube elements, stress, strain.

**Введение.** Одним из способов обеспечения совместной работы стальной оболочки и бетонного ядра сталетрубобетонных элементов в поперечном направлении при действии продольных сжимающих усилий является применение бетонов на напрягающем цементе. Такие бетоны изготавливают на основе портландцемента и расширяющихся добавок. Среди разнообразия применяемых добавок особый интерес представляют алюминатно-сульфатные и алюмооксидные добавки, а также их комбинации, свойства которых определяются условиями гидратации и твердения алюминатов и сульфоалюминатов кальция, а также их соединений с силикатами и сульфатами.

Изучением условий образования гидрата сульфоалюмината кальция, его модификаций, порядка их превращений и устойчивостью структуры занимаются многие исследователи [1–3]. Однако единого мнения относительно свойств гидратов сульфоалюмината кальция не достигнуто. Наоборот, во многих случаях высказывают прямо противоположные мнения.

По выдвинутой профессором В.В. Михайловым теории расширения цементного камня [4, 5] образование гидрата сульфоалюмината кальция и появление свободных и связанных деформаций объясняется тем, что при гидратации исходных минералов и химических соединений в среде, насыщенной гидроокисью кальция, сначала образуется низкосульфатная форма гидрата сульфоалюмината кальция  $C_3A(CS)H_{12}$  или ее аналоги, которые затем в водной среде перекристаллизуются в высокосульфатную форму  $C_3A(CS)_3H_{32}$ .

В среде, насыщенной гидроокисью алюминия, быстро образуется высокосульфатная форма гидрата сульфоалюмината кальция, аналогично тому, как в среде гидроокиси кальция быстро возникает низкосульфатная форма гидрата сульфоалюмината кальция.

Перекристаллизация, по мнению В.В. Михайлова, может быть замедлена или даже временно прекращена уменьшением количества воды затворения и перенасыщением среды  $Ca(OH)_2$ . Чем больше в составе твердеющего композита образуется низкосульфатной формы гидрата сульфоалюмината кальция, готового к перекристаллизации, тем энергичнее в определенных условиях пройдет его перекристаллизация и существенно выше будет степень самоупреждения.

С точки зрения применения напрягающего цемента и бетонов на его основе трубобетонные элементы обладают такими особенностями:

– в процессе твердения бетона на напрягающем цементе практически невыполнимо его внешнее увлажнение, а следовательно рост собственных деформаций происходит в условиях изоляции без доступа дополнительной свободной воды при гидратации, необходимой для перекристаллизации моносульфата в эттрингит;

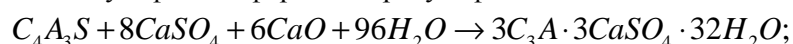
– процессу расширения напрягающего бетона препятствует внешняя стальная оболочка элемента, в результате чего твердеющее бетонное ядро находится в трехосном напряженном состоянии сжатия.

Таким образом, состав напрягающего цемента и бетона на его основе, используемого при изготовлении самонапряженных сталетрубобетонных элементов, должен обеспечивать большую энергию расширения (самонапряжения) в условиях трехосного ограничения без дополнительного увлажнения в процессе твердения.

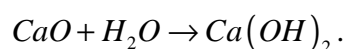
**Применение комплексной расширяющейся добавки для изготовления напрягающего цемента.** Как было отмечено выше, применение традиционных напрягающих цементов (типа М) [6] в сталетрубобетонных элементах оказывается неэффективным в связи с изолированными условиями твердения в условиях объемного ограничения, т.к. для реализации полного механизма расширения этого вяжущего через образование эттрингита обязательным условием является дополнительный доступ свободной воды в процессе гидратации.

Для решения означенной проблемы было предложено использовать четырехкомпонентный состав, отличающийся от классического (типа М) введением в систему четвертой составляющей – добавки РСАМ [7], позволяющий осуществлять расширение по двум механизмам:

1) образование высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция



2) образование гидроксида кальция



Применение добавок такого типа позволит получать необходимую величину самонапряжения бетона в изолированном состоянии без дополнительного увлажнения, варьируя как количественный состав напрягающего цемента, так и его расход.

**Экспериментальные исследования самонапряжения бетонов на напрягающем цементе с комплексной расширяющейся добавкой.** Для экспериментальной проверки выдвинутых выше предположений был изготовлен напрягающий цемент, представляющий собой смесь портландцемента марки М500 Д0 с комплексной расширяющейся добавкой. В качестве расширяющейся добавки использовалась смесь глиноземистого цемента марки ГЦ-40, двухводного гипса и расширяющегося сульфоалюминатного модификатора (РСАМ). Химический состав компонентов напрягающего цемента приведен в табл. 1. Массовые соотношения компонентов напрягающих цементов, использованных в экспериментальных исследованиях, приведены в табл. 2.

Для приготовления бетонной смеси в качестве мелкого заполнителя использовался песок с модулем крупности  $M_k = 2,32$ , а в качестве крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5..20 мм.

Таблица 1

**Химический состав компонентов напрягающего цемента**

Компоненты	Содержание окислов, %					
	$Al_2O_3$	$CaO$	$SO_3$	$C_3A$	$MgO$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Портландцемент марки М500 Д0	4,6	64,88	2,14	5	1,61	–
Глиноземистый цемент	34,92	35,5	0,79	–	–	–
Гипс	–	–	–	–	–	75,1
РСАМ	7,8	32,71	24,22	–	1,68	–

**Массовые соотношения компонентов напрягающих цемента**

Марка цемента	Массовое содержание компонентов, %			
	Портландцемент М500 Д0 (ПЦ)	Глиноземистый цемент (ГЦ)	Гипс (Г)	РСАМ
НЦ1	63	15	12	10
НЦ2	72	11	9	8

Расход цемента выбран так, чтобы получить бетоны с разными показателями расширения. Составы бетонных смесей, рассчитанные в соответствии с рекомендациями [8], приведены в таблице 3.

Высокое содержание алюминатной составляющей в композитном вяжущем приводит к потере удобоукладываемости бетонной смеси, сокращению сроков схватывания.

Технология изготовления трубобетонных элементов [9] требует применения высокоподвижных смесей. Поэтому одним из основных требований при использовании напрягающего бетона в трубобетонных конструкциях является применение высокоэффективных пластификаторов. Кроме того, трубобетонные элементы преимущественно изготавливаются непосредственно на строительной площадке, а значит, к бетонным смесям также предъявляются жесткие требования по срокам схватывания и сохранению подвижности в течение определенного промежутка времени.

Применение традиционных суперпластификаторов, относящихся к ряду поверхностно-активных веществ (ПАВ), неэффективно в связи с блокировкой высокоактивных алюминатов, которые являются источником расширения, о чем свидетельствует ряд исследований [10–13]. Поэтому, для достижения требуемого пластифицирующего эффекта с одновременным сохранением жизнеспособности бетонной смеси на НЦ в качестве пластификатора применен гиперпластификатор ГП-1 [14], относящийся к разряду поликарбоксилатных, механизм действия которого наиболее эффективен с точки зрения получения максимальных деформаций расширения в высокоподвижных бетонах на НЦ [13]. Физико-химические свойства гиперпластификатора ГП-1 [14] представлены в табл. 4.

Таблица 3

**Составы бетонных смесей**

Марка бетонной смеси	Расход сырьевых материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси						
	Вяжущее		Песок, кг	Щебень, кг	В/Вяж	Вода, л	ГП-1, л
	Марка	Расход, кг					
НБ1	НЦ1	664	550	900	0,43	282	5,08
НБ2	НЦ1	480	650	1010	0,45	213,5	3,67
НБ3	НЦ2	664	550	900	0,43	282	5,08

Таблица 4

**Физико-химические свойства гиперпластификатора ГП-1 [14]**

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Прозрачный – до мутноватого, желтоватый раствор
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1080–1100
Массовая доля сухого вещества, %	27–33
Водородный показатель, единицы рН	7–8
Коэффициент пластификации цементного теста при содержании добавки 0,3% от массы цемента по сухому веществу	30–37

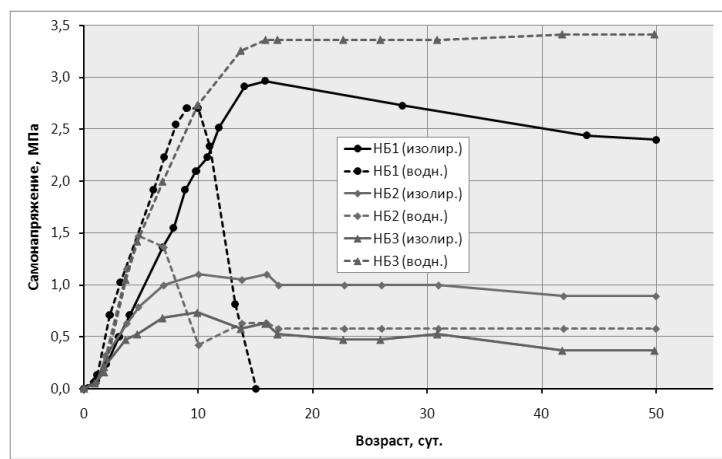


Рис. 1. Результаты экспериментального определения самонапряжения бетонов НБ1, НБ2 и НБ3 по методике [15]

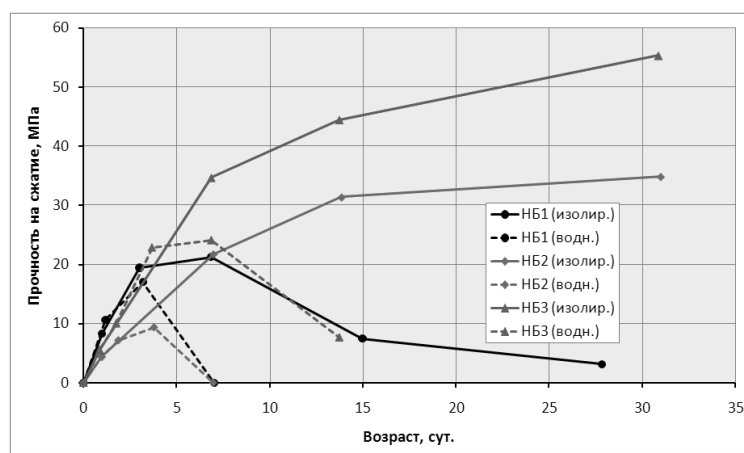


Рис. 2. Результаты определения прочности на сжатие бетонов НБ1, НБ2 и НБ3 в соответствии с [16]

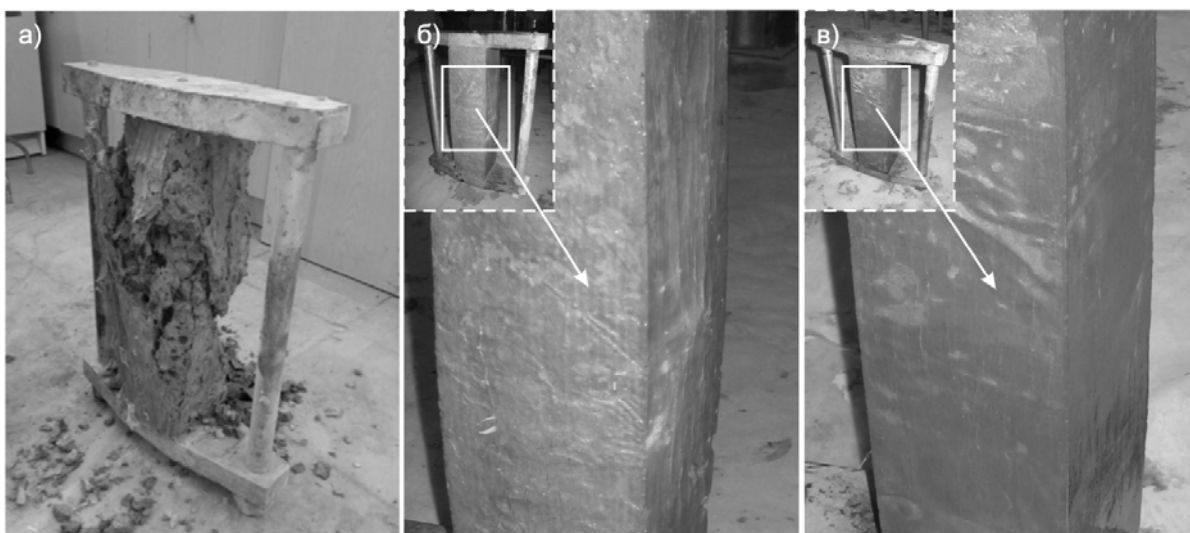


Рис. 3. Общий вид разрушения бетонных призм в динамометрических кондукторах, хранившихся в воде: а – характерное разрушение призм из бетона НБ1; б – характерное разрушение призм из бетона НБ2; в – характерное разрушение призм из бетона НБ3;

Определение значений самонапряжения напрягающих бетонов выполнено в соответствии с требованиями [15] на бетонных призмах размером 100×100×400 мм в динамометрических кондукторах, реализующих условия одноосного упругого ограничения с жесткостью, эквивалентной продольному армированию в 1%, а прочности на сжатие – по ГОСТ 10180-90 [16] на кубах с ребром 100 мм. При этом хранение кондукторов и кубов осуществлялось как в водных условиях, так и в изолированных, – без доступа дополнительной свободной воды в процессе гидратации.

Графическая интерпретация данных по определению самонапряжения и прочности на сжатие бетонов НБ1-НБ3 представлена на рис. 1 и 2, а основные результаты сведены в табл. 5 и 6 соответственно.

Общий вид разрушения бетонных призм из бетонов НБ1, НБ2 и НБ3 в динамометрических кондукторах, хранившихся в воде, изображен на рис. 3.

Таблица 5

**Основные результаты определения самонапряжения бетонов по методике [15] при хранении образцов в изолированных условиях**

Марка бетона	Самонапряжение по методике [15] при хранении в изолированных условиях				Состояние призм в кондукторах
	Максимальное		В конце наблюдений		
	Возраст, сут.	Значение, МПа	Возраст, сут.	Значение, МПа	
НБ1	15,8	2,97 (7,2)	50 (27,8)	2,40 (3,1)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
НБ2	10	1,10 (26)	50 (31)	0,89 (34,8)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
НБ3	9,9	0,74 (39)	50 (31)	0,37 (55,3)	Видимых нарушений структуры бетона не выявлено
<b>Примечание.</b> В скобках указаны данные по определению прочности бетонов по ГОСТ 10180-90 [16].					

Таблица 6

**Основные результаты определения самонапряжения бетонов по методике [15] при хранении образцов в воде**

Марка бетона	Самонапряжение				Состояние призм в кондукторах
	Максимальное		В конце наблюдений		
	Возраст, сут.	Значение, МПа	Возраст, сут.	Значение, МПа	
НБ1	9	2,70	50	–	Явное разрушение структуры с отделением крупного заполнителя от цементно-песчаной матрицы
НБ2	4,8	1,47	50	0,58	Нарушение геометрии – “разбухание”, образование продольных трещин на гранях с шириной раскрытия до 1 мм и глубиной до 10 мм
НБ3	15,9	3,36	50	3,41	Образование продольных трещин на гранях с шириной раскрытия до 0,5 мм и глубиной до 5 мм
<b>Примечание.</b> Образцы из бетонов НБ1, НБ2 и НБ3 помещались в воду в возрасте 1,2; 1,9 и 1,8 суток при прочности на сжатии по ГОСТ 10180-90 [16] 10,6; 7,2 и 10,1 МПа соответственно.					

**Экспериментальные исследования собственных деформаций сталетрубобетонных элементов.** На этом этапе экспериментальных исследований необходимо определить значения собственных деформаций сталетрубобетонных элементов, вызванных расширением напрягающего бетона.

В экспериментальных исследованиях применяются тонкостенные электросварные прямошовные трубы из углеродистой стали обыкновенного качества с пределом текучести 240 МПа, так как при использовании стандартных электросварных труб по ГОСТ 10704-91 [17] в качестве оболочек трубобетонных элементов получаем большие значения коэффициентов продольного и поперечного армирования. Это, в свою очередь, ведет к снижению эффективности трубобетона, которая падает при увеличении относительной толщины стенки. Высокая жесткость оболочки может также привести к доуплотнению структуры твердеющего напрягающего бетона и снижению итоговых значений самонапряжения (вплоть до нуля).

Коэффициенты армирования сталетрубобетонных элементов определяются по таким формулам

$$\rho_{\theta} = \frac{2\pi \cdot r_c \cdot t_s}{2\pi \cdot r_c \cdot r_c} = \frac{t_s}{r_c}, \quad (1)$$

$$\rho_p = \frac{2t_s}{d_c} = \frac{t_s}{r_c}, \quad (2)$$

$$\rho_z = \frac{\pi(r_c + t_s)^2 - \pi r_c^2}{\pi r_c^2} = \frac{t_s}{r_c} \left( 2 + \frac{t_s}{r_c} \right), \quad (3)$$

где  $\rho_{\theta}$ ,  $\rho_p$ ,  $\rho_z$  – коэффициенты тангенциального, радиального (поперечного) и продольного армирования соответственно,  $r_c$ ,  $d_c$  – радиус и диаметр бетонного ядра соответственно,  $t_s$  – толщина стенки стальной оболочки.

При заполнении внутренней полости бетоном коэффициент продольного армирования (выраженный в процентах) принимает значения 2; 3; 4 %, а поперечного – 1; 1,5; 2 % соответственно.

В этой работе исследованы собственные деформации трубобетонных элементов на основе бетона НБ1, показавшего максимальную энергоактивность в изолированных условиях при одноосном упругом ограничении (см. рис. 1 и табл. 5). Экспериментальная серия включает девять образцов (по три "образца-близнеца" для каждой толщины стенки, см. табл. 7). Использование гиперпластификатора ГП-1 позволило отказаться от дополнительного уплотнения бетонной смеси при бетонировании сталетрубобетонных элементов, при этом расплыв конуса по СТБ 1544-2005 [18] составил 86 см, что соответствует марке бетонной смеси по удобоукладываемости РК-6.

Для измерения продольных и тангенциальных деформаций оболочек сталетрубобетонных элементов на стадии расширения напрягающего бетона использовались тензорезисторы с базой 20 мм, наклеенные в соответствующих направлениях. По высоте элементов тензорезисторы наклеивались в трех уровнях – по центру и на расстоянии 100 мм от торцов, а в поперечном направлении – через 120°. Таким образом, деформации образца измерялись с помощью 18 тензорезисторов (по 9 тензорезисторов для каждого из направлений) (см. рис. 4, б).

По экспериментально измеренным продольным и тангенциальным деформациям оболочки сталетрубобетонного элемента с помощью обобщенного закона Гука вычислялись напряжения в оболочке по соответствующим направлениям:

$$\sigma_{s,\theta} = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} (\epsilon_{s,\theta} + \nu_s \epsilon_{s,z}), \quad (4)$$

$$\sigma_{s,z} = \frac{E_s}{1-\nu_s^2} (\epsilon_{s,z} + \nu_s \epsilon_{s,\theta}), \quad (5)$$

где  $\sigma_{s,\theta}$ ,  $\sigma_{s,z}$  – тангенциальные и продольные напряжения в оболочке соответственно;  $\epsilon_{s,\theta}$ ,  $\epsilon_{s,z}$  – тангенциальные и продольные относительные деформации оболочки соответственно;  $E_s$ ,  $\nu_s$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона стали соответственно.

Затем, учитывая коэффициенты армирования, а также предполагая равенство тангенциальных и радиальных напряжений в бетоне, определяли напряжения в ядре элемента по формулам

$$\sigma_{CE,\rho} = \sigma_{s,\theta} \cdot \rho_\rho, \quad (6)$$

$$\sigma_{CE,z} = \sigma_{s,z} \cdot \rho_z, \quad (7)$$

где  $\sigma_{CE,\rho}$ ,  $\sigma_{CE,z}$  – радиальные и продольные напряжения в бетонном ядре.

Графическая интерпретация экспериментальных данных по определению тангенциальных и осевых (продольных) относительных деформаций и вычисленных по ним соответствующих напряжений в сталебетонных элементах на напрягающем бетоне приведена на рис. 5–7.

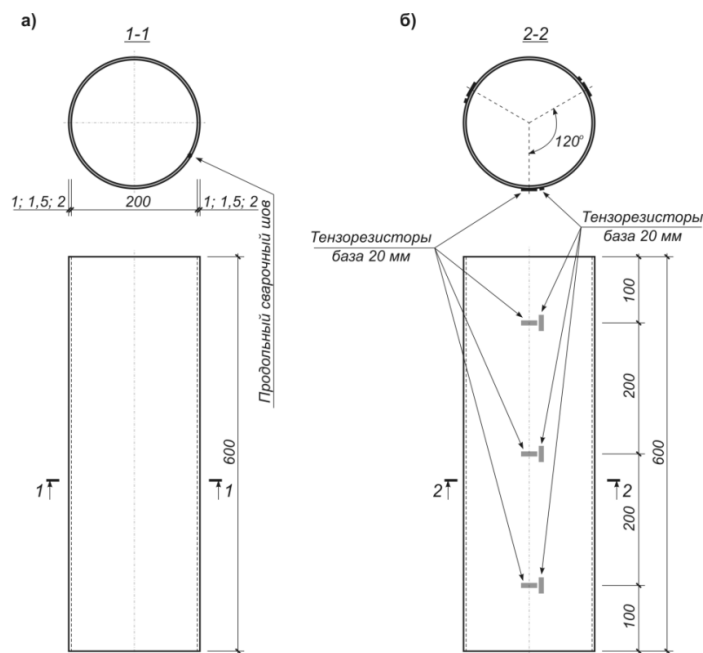


Рис. 4. Стальные оболочки для изготовления самонапряженных сталебетонных элементов: а – геометрические параметры оболочек; б – схема расположения тензорезисторов на поверхности оболочек

Таблица 7

#### Основные характеристики экспериментальных образцов

Номер серии	Марка образца	Размеры, мм	Марка напрягающего бетона
I	СНСТБЭ.200.1-1	$\varnothing 200; t = 1; l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.1-2	$\varnothing 200; t = 1; l = 600$	
	СНСТБЭ.200.1-3	$\varnothing 200; t = 1; l = 600$	
II	СНСТБЭ.200.1,5-1	$\varnothing 200; t = 1,5; l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.1,5-2	$\varnothing 200; t = 1,5; l = 600$	
	СНСТБЭ.200.1,5-3	$\varnothing 200; t = 1,5; l = 600$	
III	СНСТБЭ.200.2-1	$\varnothing 200; t = 2; l = 600$	НБ1
	СНСТБЭ.200.2-2	$\varnothing 200; t = 2; l = 600$	
	СНСТБЭ.200.2-3	$\varnothing 200; t = 2; l = 600$	

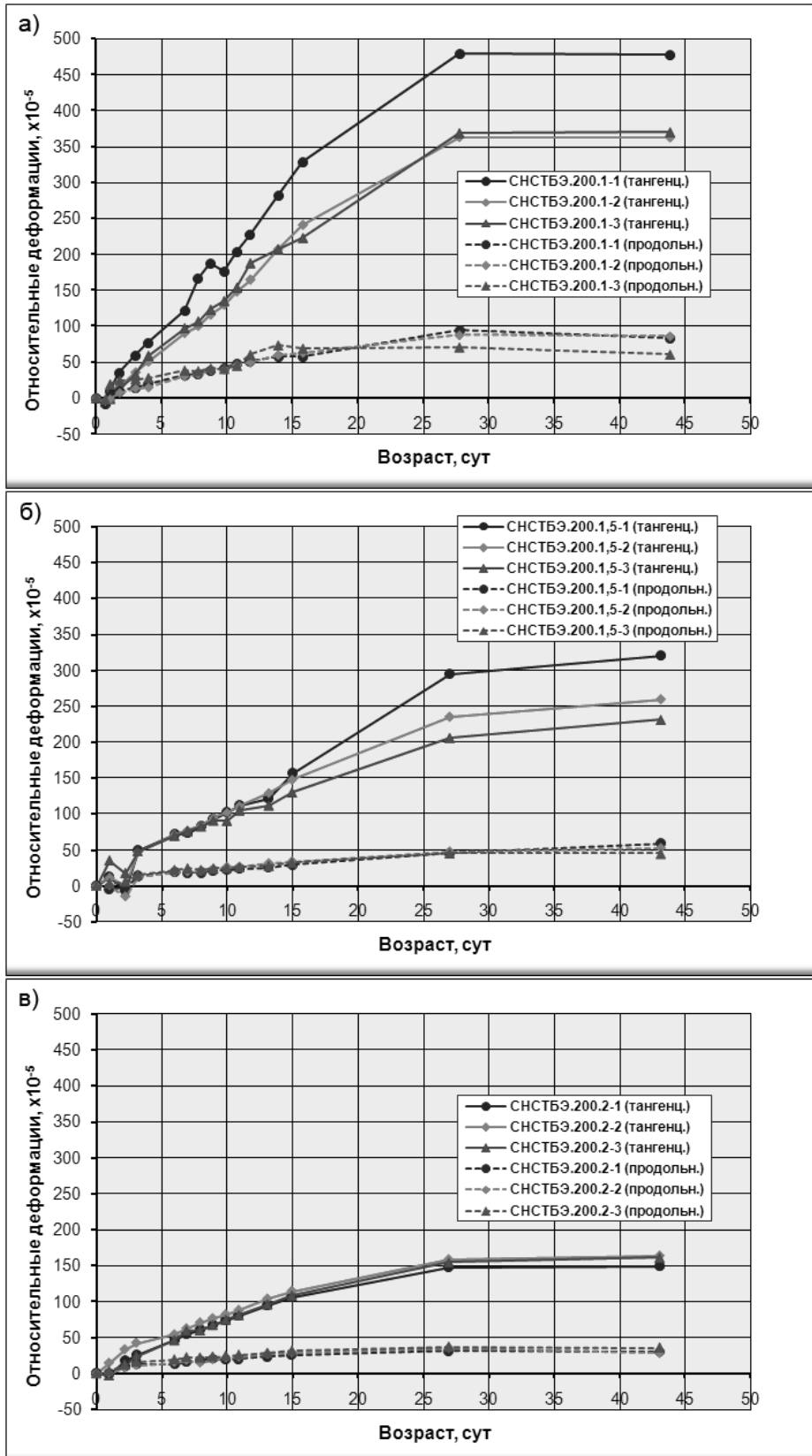


Рис. 5. Тангенциальные и осевые (продольные) относительные деформации оболочек сталежелезобетонных элементов: а – при толщине стенки оболочки 1 мм; б – при толщине стенки оболочки 1,5 мм; в – при толщине стенки оболочки 2 мм



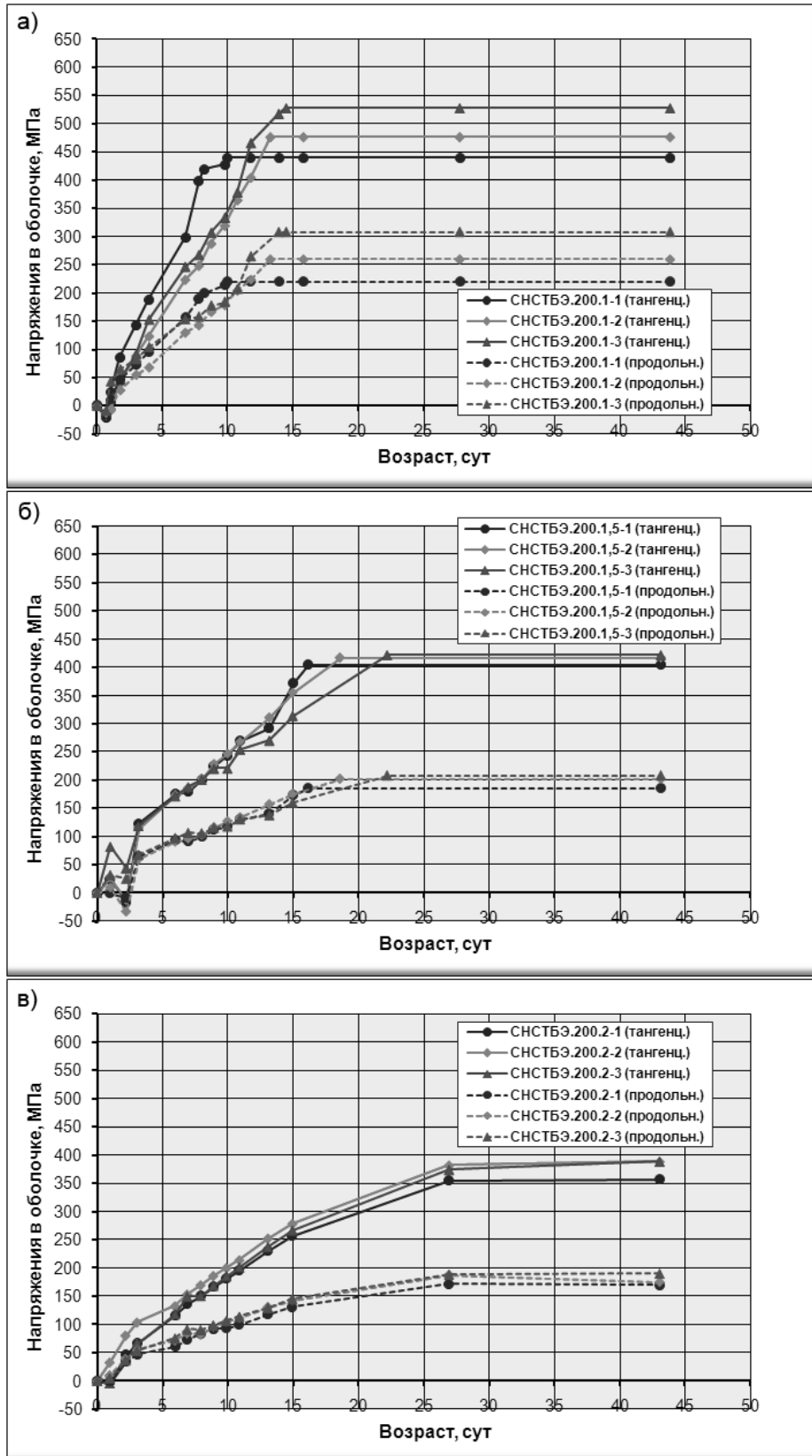


Рис. 6. Тангенциальные и осевые (продольные) напряжения в оболочках сталежелезобетонных элементов: а – при толщине стенки оболочки 1 мм; б – при толщине стенки оболочки 1,5 мм; в – при толщине стенки оболочки 2 мм;

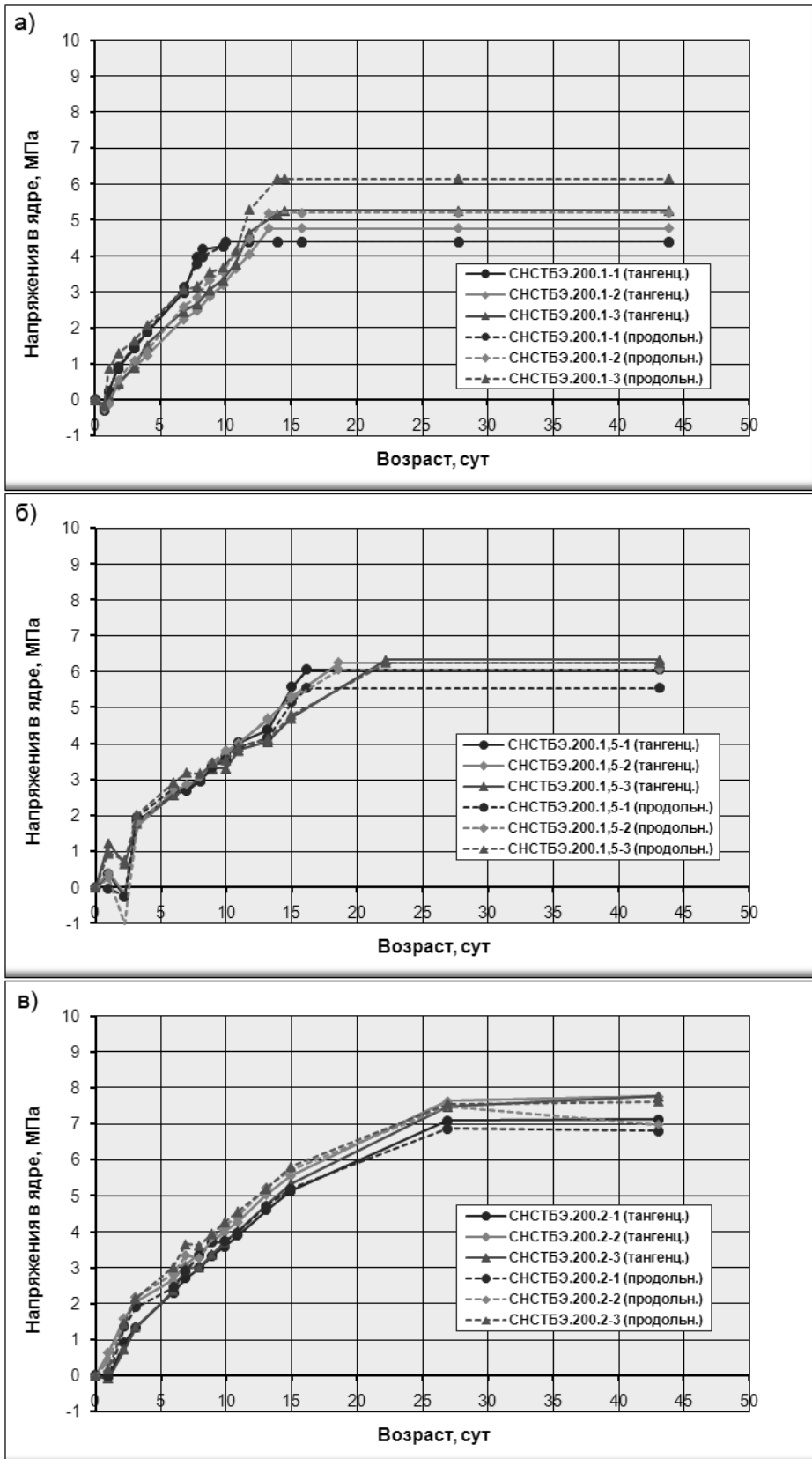


Рис. 7. Тангенциальные и осевые (продольные) напряжения в ядрах сталежелезобетонных элементов: а – при толщине стенки оболочки 1 мм; б – при толщине стенки оболочки 1,5 мм; в – при толщине стенки оболочки 2 мм

Таким образом, в результате экспериментальных исследований средние радиальные  $\sigma_{CE,\rho}$  и осевые  $\sigma_{CE,z}$  (продольные) напряжения сжатия в бетоне самоупроченных сталетрубобетонных элементов достигли таких значений:

– в элементах серии I с толщиной стенки оболочки  $t_s = 1$  мм ( $\rho_p = 1\%$ ,  $\rho_z = 2\%$ )  $\sigma_{CE,\rho} = 4,83$  МПа,  $\sigma_{CE,z} = 5,27$  МПа;

– в элементах серии II с толщиной стенки оболочки  $t_s = 1,5$  мм ( $\rho_p = 1,5\%$ ,  $\rho_z = 3\%$ )  $\sigma_{CE,\rho} = 6,23$  МПа,  $\sigma_{CE,z} = 5,97$  МПа;

– в элементах серии III с толщиной стенки оболочки  $t_s = 2$  мм ( $\rho_p = 2\%$ ,  $\rho_z = 4\%$ )  $\sigma_{CE,\rho} = 7,57$  МПа,  $\sigma_{CE,z} = 7,13$  МПа.

Величина самоупрочения бетона НБ1, использованного для изготовления опытных образцов, по самоупрочению, определенная в условиях одноосного стандартного ограничения (1%), но при хранении в изолированных условиях (моделирующих условия твердения бетона в трубе), составила  $\sigma_{CE} = 2,4$  МПа (см. рис. 1 и табл. 5).

По величине самоупрочения бетона был выполнен расчет самоупрочения бетонного ядра элементов серий I-III по мультипликативной зависимости [19]. Для элементов с толщиной стенки оболочки 1; 1,5; 2 мм самоупрочение ядра в радиальном и продольном направлениях соответственно составило 3,6 и 3,98 МПа; 3,84 и 4,14 МПа; 3,98 и 4,22 МПа.

**Заключение.** Выполненные экспериментальные исследования свидетельствуют об эффективности применения комплексной расширяющейся добавки для получения самоупроченных сталетрубобетонных элементов. При этом возможно получать необходимую величину самоупрочения бетона ядра, варьируя количественный состав напрягающего цемента и его расход.

Применение комплексной расширяющейся добавки позволило решить основную проблему использования классических напрягающих цементов и бетонов на их основе в труботетоне – рост собственных деформаций в условиях изоляции без доступа дополнительной свободной воды в процессе гидратации, необходимой для перекристаллизации моносulfата в этрингит.

Значения самоупрочения, рассчитанные по мультипликативной зависимости [19], значительно занижены в сравнении с экспериментально полученными значениями самоупрочения бетонного ядра сталетрубобетонных элементов. Это может объясняться тем, что условия хранения образцов из напрягающего бетона при определении базовой характеристики – величины самоупрочения (см. табл. 5), необходимой для расчета самоупрочения бетона в конструкции, отличались от стандартных условий [19] – хранение образцов после набора бетоном прочности 8–15 МПа в воде или обильно влажном состоянии. Однако при водном хранении образцов, вследствие высокой энергоактивности составов, происходило разрушение структуры напрягающего бетона (см. табл. 6).

Таким образом, в связи с изолированными условиями твердения напрягающего бетона в условиях объемного ограничения стальной оболочкой труботетонного элемента, а также вследствие необходимости достижения высокой энергии расширения таких составов, необходима корректировка методик определения базовых характеристик напрягающего бетона [15, 19], а также напрягающего цемента [20]. Это, в свою очередь, требует пересмотра зависимостей [19, 6] по прогнозированию самоупрочения бетона в конструкции в условиях объемного ограничения.

1. Красильников К. Г. Физико-химия собственных деформаций цементного камня / К.Г. Красильников, Л.В. Никитина, Н.Н. Скоблинская. – М.: Стройиздат, 1980. 2. Кузнецова Т. В. Аллюминатные и сульфоллюминатные цементы / Т.В. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1986. 3. Кузнецова Т. В. Структура и свойства расширяющихся и напрягающих цементов / Т.В. Кузнецова // Ресурсосберегающие технологии железобетонных конструкций на основе напрягающих цементов: Сборник докладов Всесоюзной конференции в г. Грозном. – М.: Стройиздат, 1989. – С.8–9. 4. Михайлов В.В. Расширяющийся и напрягающий цементы и самоупроченные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов, С.Л. Литвер. – М.: Стройиздат, 1974. – 312 с. 5. Михайлов В.В.

Предварительно напряженные железобетонные конструкции / В.В. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1978. 6. Тур В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона / В.В. Тур. – Изд-во БПИ, 1997. – 276 с. 7. Протьюко Н.С. Свойства и особенности применения расширяющей добавки РСАМ в технологии бетона и растворов / Н.С. Протьюко // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 123–130. 8. Рекомендации по проектированию составов бетонов с компенсированной усадкой или самонапряжением. – Брест: БГТУ, 2005. – 13 с. 9. Design Guide for SHS Concrete-Filled Columns. – Corus Tubes, 2002. 10. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков // 2-е изд., перераб. и доп.– М., 1998.– 768 с. 11. Ратинов В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1989. – 215 с. 12. Тур В. В. Самонапряженный железобетон: исследование, опыт и перспективы применения / В.В. Тур // Строительная наука и техника. – 2005. – № 1. – С. 62–69. 13. G. Xu, Beaudion J.J. Effect of Polycarboxylate Superplasticizer on Contribution of Internal Transition Zone of Electrical Conductivity of Portland Cement Mortar.– ACI Material Journal, v. 97, N 4, 2000 – P. 418–424. 14. Калиновская Н.Н. Технологические свойства, прочность и эффективное применение бетона, модифицированного гиперпластификатором ГП-1 / Н.Н. Калиновская // Строительная наука и техника. – 2007. – № 5. – С. 74–83. 15. СТБ (проект). Бетон на напрягающем цементе. Технические условия. 16. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 41 с. 17. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 7 с. 18. СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2005. – 17 с. 19. Пособие по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций (к СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции») / НИИЖБ Госстроя СССР и ЦНИИпромзданий Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 64 с. 20. СТБ 1335-2002. Цемент напрягающий. Технические условия. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2002. – 11 с.

УДК 621.658.58

Л.Я. Паращук, Я.Б. Якимечко, Б.С. Білобран\*, Р.Я. Якимечко\*.  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної технології силікатів,  
\*кафедра опору матеріалів

## РОЗШИРНИЙ ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ДЛЯ РЕМОНТУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

© Паращук Л.Я., Якимечко Я.Б., Білобран Б.С., Якимечко Р.Я., 2010

Розроблено склад розширеного бетону для ремонту магістральних газопроводів. Як розширний компонент використано додаток негашеного вапна. Показано, що стиснуті умови твердіння змінюють мікроструктуру цементного каменю.

Ключові слова: розширення, самонапруження, трубопровід, портландит, негашене вапно.

Composition of expansion concrete is developed for repair of main gas pipelines. In quality a expansion component addition of quicklime is used. It is shown that the terms of hardening are compressed change the microstructure of cement a stone.

Keywords: expansion, selfextension, pipeline, portlandite, quicklime

Постановка проблеми. Для відновлення несучої здатності трубопроводів використовують різні методи ремонту, зокрема [1– 3]: заміну сильно пошкоджених ділянок новими вставками, накладання бандажів, приварних муфт без наповнювача і з наповнювачем, склопластикових