

**Янковский Леонид Вацлавович**

**Yankovsky Leonid Vaslavovich**

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ). Россия,

Perm National Research Polytechnic University (PNRPU).

Канд. техн. наук, доцент

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer

05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения

E-Mail: yanekperm@yandex.ru

## **Влияния тепловлажностной обработки на коррозионную стойкость цементобетонных конструкций**

Influences of warm damp processing on corrosion firmness of concrete designs

**Аннотация:** Представленные результаты влияния тепловлажностной обработки на коррозионную стойкость цементобетонных конструкций, которые подтверждают, что рост прочности пропаренных растворных образцов в разных условиях дальнейшего твердения несколько выше, чем не пропаренных.

Количество извести в твердевших образцах находится в исключительной зависимости от продолжительности хранения образцов под воздействием климата. С течением времени хранения образцов разных условий предварительного твердения, содержание химически связанной воды увеличивается.

**The Abstract:** The presented results influence of warm damp processing on corrosion firmness of concrete designs which confirm that growth durability of the processed samples in different conditions of further solidification are slightly higher, than not processed. The amount lime in solidification samples is in exclusive dependence on duration storage samples under the influence of climate. Eventually storages samples different conditions preliminary solidification, the content of chemically connected water increases.

**Ключевые слова:** Бетон, гидратация, твердение, воздействие климата.

**Keywords:** Concrete, hydration, solidification, climate influence.

\*\*\*

Периодическое влияние изменяющихся параметров неблагоприятной климатической среды на бетонные конструкции способствует развитию микро- и макро дефектов в бетоне, что приводит к снижению стойкости [1, 2, 3]. Воздействие климата на бетон строительных конструкций должно быть учтено, особенно при проектировании и эксплуатации конструкций и сооружений, к которым предъявляются повышенные требования. Это вызывает необходимость тщательного изучения изменения структуры и свойств цементных бетонов в природных климатических условиях под действием агрессивной коррозионной среды [4, 5]. Рассмотрим результаты исследований влияния тепловлажностной обработки на коррозионную стойкость растворных образцов.

Зависимость прочностных характеристик образцов бетонов конструкций при изгибе от условий предварительного твердения показана в таблице 1, из которой видно, что рост прочности пропаренных растворных образцов в разных условиях дальнейшего твердения несколько выше, чем не пропаренных.

Таблица 1

Прочность при изгибе образцов 2x2x10 см различных условий предварительного хранения при твердении в воде и 3%-ном растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

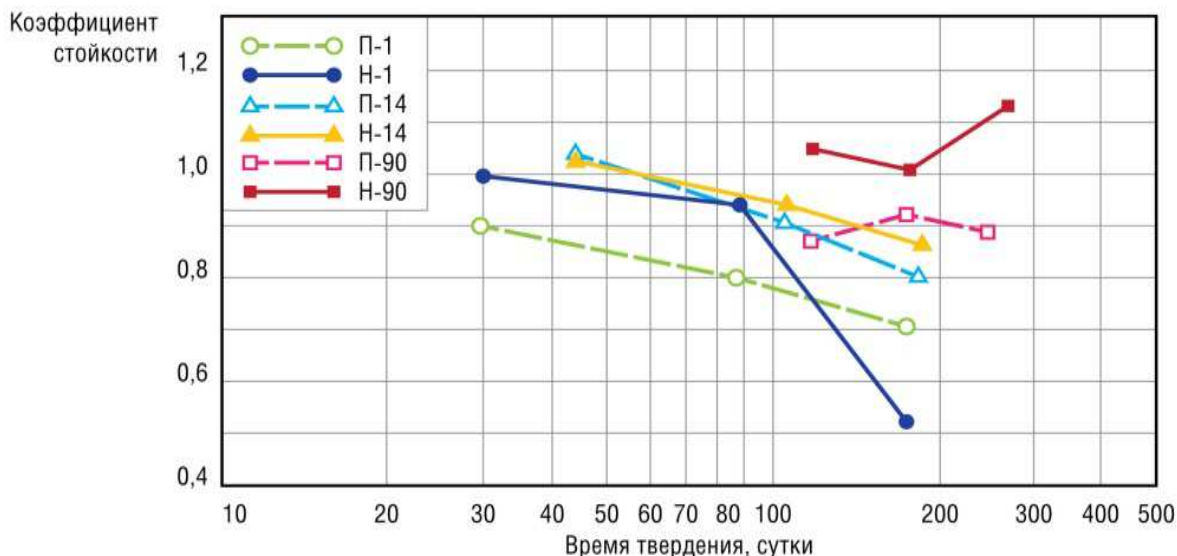
Наименование проб рас-творных образцов	Через сутки тверде-ния на солнце	Водное твердение в возрасте, мес			Через 14 суток тверде-ния на солнце	Водное твердение в возрасте, мес			Через 90 суток тверде-ния на солнце	Водное твердение в возрасте, мес		
		1	3	6		1	3	6		1	3	6
Непропа-ренных Д - Н	7,12	13,0 2	15,3 3	16,91	7,93	10,9 2	15,0 1	15,02	10,61	14,1 0	17,8 5	16,75
Пропа-ренных Д - П	8,19	11,6 6	14,6 5	14,65	10,43	11,1 3	15,6 7	15,28	11,60	14,9 9	17,3 8	18,01
3% -ный раствор Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>												
Непропа-ренных Д - Н	--	<u>13.0</u> 2 1,00	<u>14.5</u> 4 0,95	<u>9.54</u> 0,54	--	<u>11.3</u> 9 1,04	<u>14.2</u> 9 0,95	<u>13.23</u> 0,88	--	<u>14.9</u> 4 1,06	<u>18.1</u> 6 1,02	<u>19.11</u> 1,14
Пропа-ренных Д - П	--	<u>10.5</u> 5 0,90	<u>11.8</u> 7 0,81	<u>10.55</u> 0,72	--	<u>11.5</u> 5 1,04	<u>14.4</u> 0 0,92	<u>12.34</u> 0,81	--	<u>13.3</u> 1 0,89	<u>16.1</u> 7 0,93	<u>15.80</u> 0,88
Примечание: над чертой прочность при изгибе, МПа; под чертой - K <sub>c</sub> (коэффициент стойкости)												

Прирост прочности пропаренных образцов к 14 суткам твердения на солнце составляет 27, а образцов нормального твердения всего 11% к прочности образцов суточного твердения.

Образцы нормального предварительного твердения, перенесенные в агрессивный раствор через 1 сутки хранения во влажной среде, к 6 месяцам твердения обнаруживают большой спад прочности (более чем на 30%), а пропаренные образцы к этому сроку теряют прочность лишь на 12%.

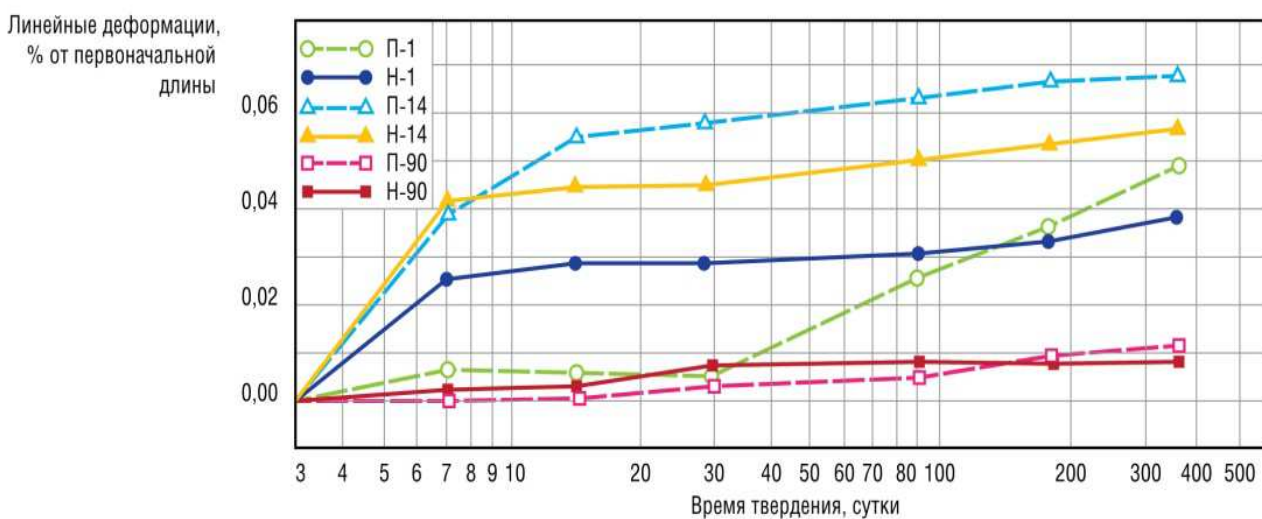
Интересно отметить, что с увеличением времени твердения образцов под воздействием климата, улучшается их стойкость в растворе сернокислого натрия коэффициент стойкости повышается с 0,54 до 0,88 (рис. 1).

Образцы не пропаренные (нормального предварительного твердения), хранившиеся под воздействием климата 90 суток, обнаруживают хорошую устойчивость в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (коэффициент стойкости во всех случаях выше 1,0). Следует отметить, что пропаренные образцы во все сроки твердения под воздействием климата, обнаруживают более низкую сульфатостойкость, чем образцы не пропаренные.

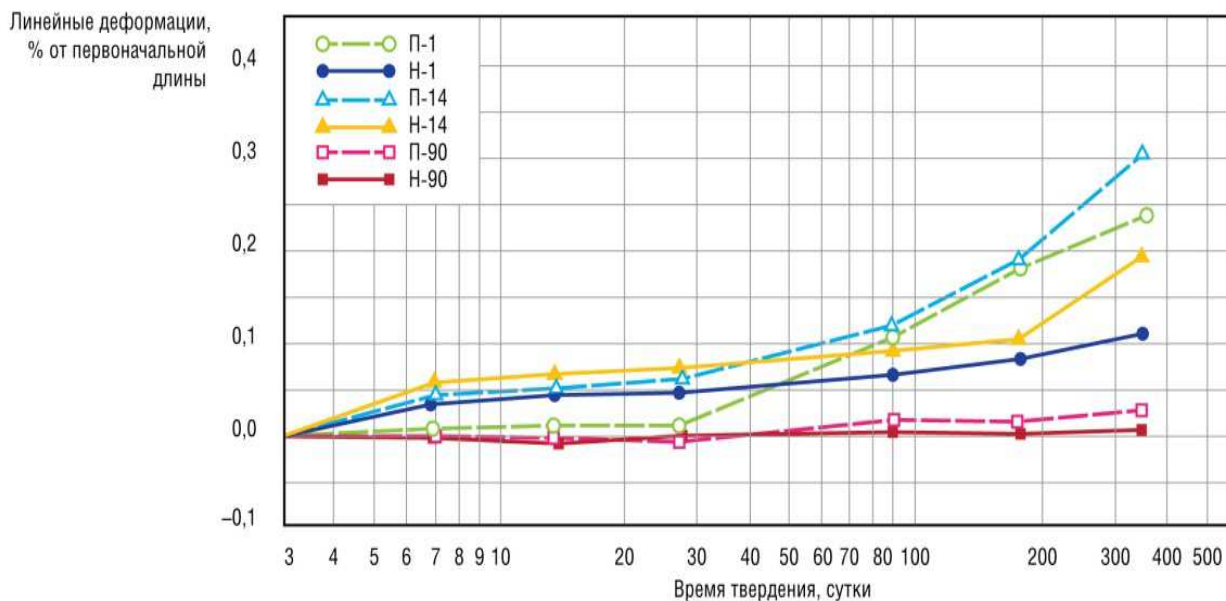


**Рис. 1.** Изменение коэффициента стойкости цементно-песчаного раствора при выдерживании в 3% - ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде

Результаты изменения линейных деформаций образцов различного предварительного твердения при хранении в 3% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (рис. 2, 3) полностью подтверждают данные, полученные при физико-механическом испытании.



**Рис. 2.** Линейные деформации растворных образцов при обводнении ( $\text{H}_2\text{O}$ ): П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде



**Рис. 3.** Линейные деформации линейных образцов (в растворе  $Na_2SO_4$ ):

*П* – образцы пропаренные; *Н* – образцы нормального предварительного твердения;

*1, 14, 90* – время выдерживания в реальной климатической среде

Линейные деформации пропаренных образцов во всех случаях больше, чем образцов нормального твердения. Наибольшие линейные удлинения, а соответственно и большая степень деструкции, характерны для образцов 14-ти дневного пребывания под воздействием климатической среды.

Так, линейные деформации образцов нормального предварительного твердения к первому году хранения в 3% растворе составляют 0,183, а пропаренных - 0,304%. По-видимому, это объясняется развитием под воздействием климата микродефектов, приобретенных раствором образцов в процессе пропарки.

Образцы же 90 суточного хранения под воздействием климата обнаруживают незначительные линейные удлинения, составляющих к первому году твердения в том же растворе всего лишь 0,022-0,006%.

Содержание свободного и связанного гипса, накопившегося в образцах в процессе твердения в агрессивном растворе, приведено в таблице 2 и для наглядности на рисунках 4 и 5.

Из данных видно, что с увеличением времени твердения образцов в 3% растворе  $Na_2SO_4$  происходит накопление гипса за счет проникновения вглубь образцов ионов  $SO_4^{2-}$  и взаимодействия их с составляющими твердевшего портландцемента, по следующим реакциям:

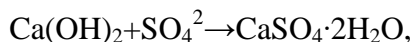
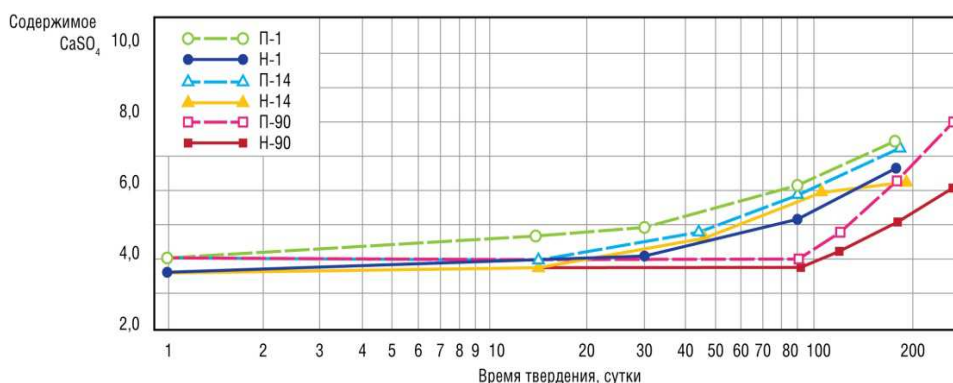


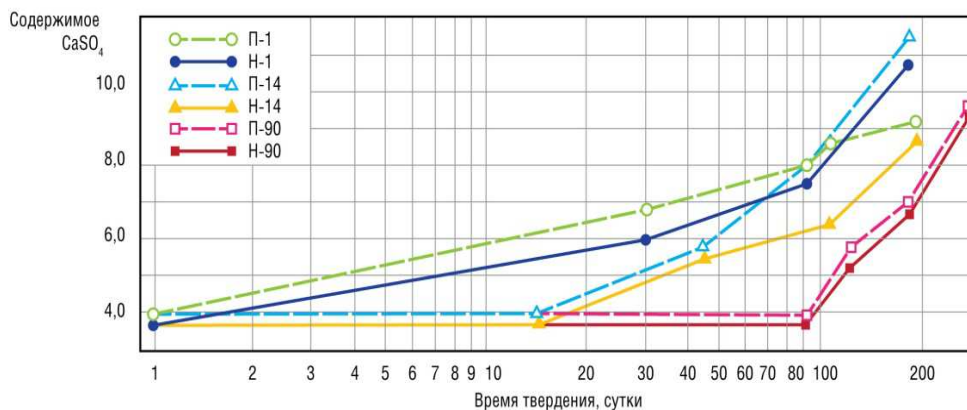
Таблица 2

Кинетика накопления  $\text{CaSO}_4$  в виде двухводного гипса и гидросульфоалюмината кальция в образцах  $2 \times 2 \times 10$  см, твердевших в 3%-ном растворе сульфата натрия

Наименование проб	Слой образца	Содержание $\text{CaSO}_4$											
		1 сутки влажно-воздушного твердения	1 мес.	3 мес.	6 мес.	14 суток воздействия климата	1 мес.	3 мес.	6 мес.	90 суток воздействия климата	1 мес.	3 мес.	6 мес.
Непропаренных Д – Н	Наружный	3,87	6,18	7,63	10,84	3,84	5,69	6,56	8,84	3,91	5,97	6,82	9,47
	внутренний	3,73	4,12	5,12	6,59	3,86	4,52	6,08	6,32	3,78	4,28	5,04	6,15
Пропаренных Д – П	Наружный	4,00	6,98	8,16	11,64	4,01	5,94	8,75	9,23	3,85	5,41	7,12	9,67
	внутренний	4,04	4,96	6,12	7,43	3,95	4,80	6,06	7,01	3,97	4,85	6,35	8,02



**Рис. 4.** Кинетика накопления  $\text{CaSO}_4$  во внутренних слоях образцов: П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде



**Рис. 5.** Кинетика накопления  $\text{CaSO}_4$  в наружных слоях образцов: П – образцы пропаренные; Н – образцы нормального предварительного твердения; 1, 14, 90 – время выдерживания в реальной климатической среде

Следует отметить, что в предварительно пропаренных образцах, накопление  $\text{CaSO}_4$  в виде двухводного гипса и гидросульфатоалюмината кальция во всех случаях больше, чем в образцах нормального твердения. Количество сульфатов в образцах 14-суточного твердения под воздействием климата меньше, чем в образцах других условий твердения. В наружных слоях образцов, твердевших в 3%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , содержится больше сульфатных новообразований, чем во внутренних слоях.

Результаты определения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в виде  $\text{CaO}_{\text{св}}$  в образцах, твердевших в воде и в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , приведены в таблице 3, из данных которой видно, что количество извести в твердевших образцах находится в исключительной зависимости от продолжительности хранения образцов под воздействием климата.

Таблица 3

Содержание свободной извести в образцах 2x2x10 см различных условий предварительного хранения, твердевших в воде и в 3%-ном растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Наименование пробы	Слой образца	Вода											
		1 сутки влажно-воздушного твердения	1 мес	3 мес	6 мес	14 суток воздействия климата	1 мес	3 мес	6 мес	90 суток воздействия климата	1 мес	3 мес	6 мес
Нормальные твердение	Наружный	2,94	4,64	6,04	5,78	2,44	3,20	3,64	3,14	1,18	1,38	0,63	нет
	Внутренний	3,28	4,96	6,6	7,42	3,4	4,56	6,52	6,78	3,32	3,08	4,15	4,07
Пропаренные	Наружный	3,84	4,04	4,84	5,03	2,66	3,88	4,64	3,26	1,16	1,36	1,59	1,03
	Внутренний	3,88	5,28	5,48	6,79	4,20	6,04	6,68	6,53	4,48	4,76	4,65	5,53
3%-ном растворе Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>													
Нормальные твердение	Наружный	-	4,16	3,96	3,64	-	2,56	2,76	2,39	-	0,60	0,50	нет
	Внутренний	-	4,40	5,72	6,16	-	3,64	4,12	5,03	-	2,36	2,14	1,08
Пропаренные	Наружный	-	5,04	3,16	2,4	-	3,16	2,36	1,89	-	1,12	1,00	0,58
	Внутренний	-	4,48	4,52	4,4	-	4,52	5,52	5,56	-	5,12	4,15	3,27

С увеличением времени твердения образцов под воздействием климата и дальнейшего твердения в воде и в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> количество свободной извести уменьшается. Так, образцы 6-ти месячного твердения в воде, предварительно твердевшие сутки во влажно-воздушной среде, содержат 6,78% CaO<sub>св</sub>, тогда как в образцах 90 суточного предварительного хранения под воздействием климата и при дальнейшем твердении в воде к тому же сроку свободная известь практически отсутствует.

Образцы всех условий предварительного твердения, хранившиеся в растворе сернокислого натрия, отличаются лишь несколько меньшим содержанием свободной извести. Так, образцы суточного влажно-воздушного твердения к 6 месяцам хранения в растворе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> содержат 3,64% свободной извести, тогда как образцы, твердевшие 6 месяцев в воде, содержат 5,78%, что вероятно объясняется взаимодействием извести с составляющими агрессивного раствора с образованием новых кристаллогидратов (гипса, гидросульфата кальция).

Результаты определения содержания химически связанной воды показывают (табл. 4), что с течением времени хранения образцов разных условий предварительного твердения, содержание химически связанной воды увеличивается.

Таблица 4

Содержание связанной воды в образцах 2х2х10 см различных условий предварительного хранения при твердения в воде

Наименование проб	Слой образцов	Условия предварительного твердения	Через сутки влажно-воздушного хранения	Водное твердение			14 суток твердения на солнце	Водное твердение			90 суток твердения на солнце	Водное твердение		
				1 мес	3 мес	6 мес		1 мес	3 мес	6 мес		1 мес	3 мес	6 мес
Д - Н	Наружный	Нормальные	2,4	4,92	6,0	7,24	2,32	3,72	5,52	5,95	4,08	4,72	5,00	5,7
	Внутренний		2,68	5,84	6,2	6,64	2,32	4,92	5,72	6,02	3,88	4,80	5,30	5,2
Д - П	Наружный	Пропаренные	4,88	6,52	6,04	7,92	3,68	3,84	5,64	6,14	3,76	4,16	4,96	5,8
	Внутренний		4,44	6,48	6,04	7,92	4,28	4,60	5,72	6,32	4,08	5,02	5,38	5,8

Интересно отметить, что в образцах односуточного предварительного влажно-воздушного твердения при дальнейшем хранении в воде химически связанной воды значительно больше, чем в образцах 14 и 90 суточного предварительного твердения на солнце.

В свою очередь, в образцах 14 суточного предварительного твердения под воздействием климата, химически связанной воды больше, чем в образцах 90 суточного твердения в тех же условиях, следовательно, воздействие климата приводит к уменьшению степени гидратации цемента. Причем имеет место уменьшение количества связанной воды во внутренних слоях образцов под воздействием климата. Так, за 90 суток во внутренних слоях пропаренных образцов количество связанной воды уменьшилось с 4,44 до 4,08%. Это, вероятно, объясняется тем, что при хранении образцов под воздействием климата, происходит частичная карбонизация составляющих цементного камня углекислотой воздуха. Этот процесс приводит к частичному уменьшению количества химически связанной воды в пробе, а также к увеличению плотности образцов за счет образования карбонатного слоя, в результате чего, процесс гидратации минералов цементного клинкера замедляется.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Рост прочности пропаренных растворных образцов в разных условиях дальнейшего твердения несколько выше, чем не пропаренных.



2) С увеличением времени твердения образцов в 3% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  происходит накопление гипса за счет проникновения вглубь образцов ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и взаимодействия их с составляющими твердевшего портландцемента.

3) Количество извести в твердевших образцах находится в исключительной зависимости от продолжительности хранения образцов под воздействием климата.

4) Результаты определения содержания химически связанной воды показывают, что с течением времени хранения образцов разных условий предварительного твердения, содержание химически связанной воды увеличивается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. Проблемы долговечности цементных бетонов // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 38-41.

2. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Анализ срока службы современных цементных бетонов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6559> (дата обращения: 02.07.2012).

3. Межнякова А.В., Овчинников И.Г. Методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. — № 8. — С. 44–45.

4. Васильев Ю.Э., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6606> (дата обращения: 06.07.2012).

5. Янковский Л.В. К вопросу оценки и прогноза состояния цементных бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата Урала и Сибири // Вестник ПНИПУ: Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – №2. – С. 86-95.