

УДК 625.843-033.38

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ ПЛИТ ПДН, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТА

Янковский Л.В.

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,

Министерство образования и науки Российской Федерации, Пермь,

e-mail: yanekperm@yandex.ru;

ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования»,

Саратов, e-mail: soni.81@mail.ru.

Описаны результаты натурных экспериментов по изучению влияния пластификаторов и плёнкообразующих препаратов на долговечность цементобетонных конструкций при их производстве. Расчёт долговечности цементного бетона плит ПДН произведён по новому методу оценки состояния с учётом воздействия климата северных территорий на материал конструкций. Воздействие изменяющихся параметров реального климата северных территорий на бетон конструкций способствует развитию микро- и макродефектов в бетоне, что приводит к снижению долговечности конструкций или сооружений. Как было установлено, пропарка изделий приводит к увеличению стойкости бетона при воздействии на него климата, но одновременно способствует образованию дефектов структуры, которые при определенных условиях могут сказаться на стойкости бетонов. Использование форсированных режимов пропарки, увеличение температуры пропарки приводит к увеличению дефектности структуры бетона к началу воздействия на него климата и может стать определяющим в обеспечении стойкости.

Ключевые слова: оценка состояния, цементобетонные конструкции, воздействие климата, остаточный ресурс, бетон, долговечность, срок службы

RESULTS OF THE ASSESSMENT FIRMNESS CONCRETE PLATES PDN, BEING MAINTAINED IN THE CONDITIONS OF CLIMATE INFLUENCE

Yankovsky L.V.

Perm national research polytechnical university, Perm, e-mail: yanekperm@yandex.ru;

Open Company «Face Downwards technical regulation», Saratov, e-mail: soni.81@mail.ru.

Results of natural experiments on studying of influence of softeners and film-forming preparations on durability of concrete designs are described by their manufacture. Calculation of durability of cement concrete of plates PND is made on a new method of an estimation of a condition with the account influence of a climate of northern territories on a material of designs. Influence of changing parameters of a real climate of northern territories on concrete of designs promotes development micro- and macro defects in concrete that leads to decrease in durability of designs or constructions. As it has been established, steaming of products leads to strengthening of firmness of concrete at influence on it of a climate, but promotes formation of defects of structure which under certain conditions can affect firmness of concrete. Use of the forced modes of steaming leads to accumulation of deficiency of structure of concrete to the influence beginning on it of a climate and can become defining in firmness maintenance.

Keywords: condition assessment, betonnny designs, climate influence, residual resource, concrete, durability, service life

Известно, что климатическое воздействие оказывает сильное влияние на долговечность конструкций и сооружений из цементобетона (далее бетона), и это необходимо учитывать при проектировании [1, 2]. Существуют различные методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред [3].

Воздействие изменяющихся параметров реального климата северных территорий на бетон конструкций способствует развитию микро- и макродефектов в бетоне, что при-

водит к снижению долговечности конструкций или сооружений.

В работе [4] рассмотрен практический метод оценки и прогнозирования долговечности бетонов. Метод основан на определении значений характеристик R_b , R_{crc}^0 , W до начала и R_b^* , R_{crc}^{0*} , W^* после воздействия климатической среды на бетон конструкции или сооружения в течение 1 года. Определяется время воздействия климатической среды – T , потребное для достижения бетоном предельного состояния по формуле:

$$T = [(\pi/2)t]/[(\pi/2) - \phi],$$

$$\phi = \arccos \frac{R_b^* R_b^{np} + R_{crc}^{0*} R_{crc}^{0np} + W^* W^{np}}{\sqrt{(R_b^*)^2 + (R_{crc}^{0*})^2 + (W^*)^2} \sqrt{(R_b^{np})^2 + (R_{crc}^{0np})^2 + (W^{np})^2}};$$

где R_b^{np} , R_{crc}^{0np} , W^{np} – предельно допустимые изменения значений характеристик относитель-

но начальных значений бетона до начала воздействия климата.

Величина остаточного ресурса в годах может определяться также графическим способом по номограмме, разработанной нами, и представленной на рис. 1.

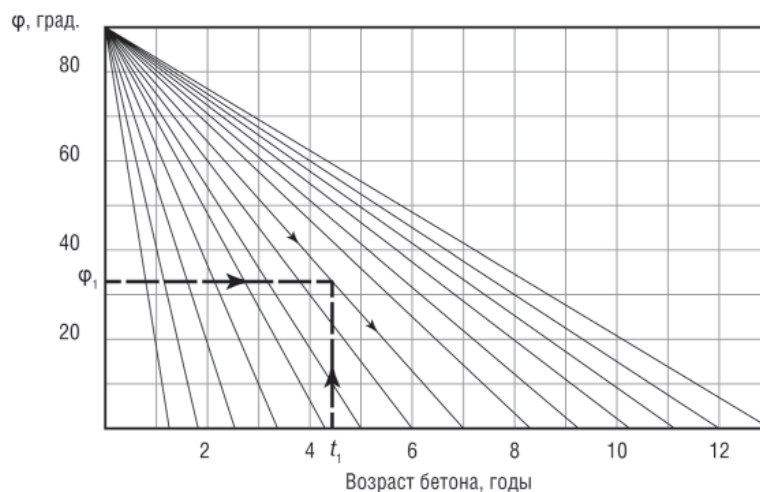


Рис. 1. Номограмма для определения времени воздействия среды на бетон, в течение которого он достигнет предельного состояния:
 φ , t – мера близости и возраст бетона в момент определения его свойств

Определенный интерес представляет использование этой методики при исследовании свойств пластифицированных бетонов непосредственно в натурных конструкциях. В качестве таких конструкций были выбраны сборные дорожные предварительно напряженные плиты (ПДН), изготавливаемые на заводе ЖБК по проекту Киевского филиала института «Союздорпроект» в соответствии с СН-120-70, СНиП П-21-75, 2Н-25-74, ВОН 46-72 (типовые решения 503-0-42). Предварительно испытаниями была установлена недостаточная трещиностойкость плит. В соответствии с расчетами примерно 44 % момента трещинообразования плит ПДН обеспечивается бетоном. Изготовление и эксплуатация плит ПДН в климатиче-

ских условиях Урала и Сибири предъявляет специфические требования к бетону.

Свойства бетона определялись по результатам испытания кернов, которые отбирались в различные сроки из плит ПДН. Для этого были использованы две партии плит по три штуки в каждой. Передаточная прочность бетона, определенная по результатам испытания стандартных образцов, изготовленных, пропаренных и хранившихся с плитами на открытом полигоне завода, равнялась 28,5 и 32,6 МПа, что составляет 81,3 и 93,3 % от проектной марки бетона, и соответствовала проектным требованиям. Основные характеристики свойств бетона плит первой и второй партии (ПДН) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения характеристик свойств бетона плит ПДН

Наименование характеристики	Значение характеристики свойств бетона в возрасте							
	1 мес.	3 мес.	5 мес.	7 мес.	9 мес.	11 мес.	19 мес.	20 мес.
Средняя прочность, МПа	40,0/ 31,6	46,1/ 33,6	53,0/ 35,1	53,6/ 39,2	52,1/-	51,6/ 45,9	51,3/ 48,7	-/50,5
Коэффициент вариации прочности, %	-/-	-/-	-/-	5,8/ 10,8	6,0/-	6,2/ 10,1	6,7/ 9,4	-/-
Модуль упругости, МПа·10 ⁴	3,74/ 3,09	3,7/-	3,85/ 3,2	4,1/ 3,4	3,95/-	3,9/ 3,5	3,8/ 3,7	-/3,86
Коэффициент Пуассона	0,147/ 0,113	-/-	0,162/ 0,131	0,167/ 0,134	0,167/-	0,169/ 0,140	0,174/ 0,160	-/0,148
Водопоглощение, %	-/-	11,1/ 11,4	-/-	10,10/ 10,0	10,0/-	10,0/ 10,0	9,95/ 10,15	-/10,0
Нижний уровень микротрещинообразования	-/-	-/-	0,37/ 0,37	0,38/ 0,37	-/-	0,38/ 0,39	0,39/ 0,41	-/0,41

Примечания:

1. Над чертой приведены значения характеристик бетона с добавкой ПЯ-01, под чертой – бетона без добавки.

2. Значения характеристик в возрасте 1 и 3 месяца определены испытанием лабораторных образцов, изготовленных и хранившихся вместе с плитами.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что использование добавки ПЯ-01 повышает прочность, модуль упругости, нижний уровень микротрещинообразования бетона в возрасте до 7 месяцев. Выдерживание плит в природных условиях климата в большей степени сказывается на свойствах бетонов с добавкой ПЯ-01. Упрочняющий эффект на бетон плит добавки ПЯ-01 в возрасте примерно 7 месяцев ослабевает и в результате развития микродефектов наблюдается снижение прочности, увеличивается коэффициент вариации прочности, в бетоне с добавкой развитие микродефектов под воздействием климата сопровождается увеличением коэффициента Пуассона и снижением модуля упругости.

В бетоне без добавок за тот же период (7–20 месяцев) под воздействием климата продолжает увеличиваться прочность, модуль упругости и нижний уровень микротрещинообразования. Определение стойкости бетона плит показало, что для достижения состояния, принятого за предельное,

бетону с добавкой ПЯ-01 в условиях воздействия климата необходимо 17,4 лет. Сопоставление с результатами определения стойкости бетона по лабораторным образцам показывает, что стойкость бетонов плит в условиях воздействия климатической среды выше стойкости бетона образцов. Это может быть объяснено спецификой воздействия климата на бетон конструкции и образца, различием их массивности.

Определенный интерес вызывает изучение влияния пластификации бетона добавкой ПЯ-01 с одновременным снижением расходов цемента и воды на трещиностойкость плит. Для определения трещиностойкости были изготовлены 2 партии плит ПДН из бетона разного состава. На 3–4 день после изготовления плиты вывозились на полигон завода и до испытания в течение 1–2 месяца выдерживались под воздействием природной климатической среды. Методика испытаний плит на трещиностойкость соответствовала проекту, а результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытания плит ПДН на трещиностойкость верхних и нижних зон

Партия плит и дата изготовления	Индекс плиты и дата испытания	Контрольная нагрузка по трещиностойкости при оценке зоны		Фактическая испытательная нагрузка на плиту и её состояние при оценке трещиностойкости зоны		Обеспечение трещиностойкости		
		нижней	верхней	нижней	верхней	Плиты по зоне		Партии плит
П-1 24.VI.08 (без добавки)	П-1-1 28.VII.08	39,0	32,0	39,0 трещина на 30 мин	19, 2 трещина на 1-й мин	Да	Нет	Нет
	П-1-2 28.VIII.08	39,0	32,0	30,0 трещина на 2-й мин	22,0 трещина на 1-й мин	Нет	Нет	Нет
П-2 14.IV.08 (с добавкой ПЯ-01)	П-2-1 23.V.08	39,0	32,0	30,0 трещина на 3-й мин	32,0 трещин нет	Нет	Да	Нет
	П-2-2' 18.VI.08	39,0	32,0	30,0 трещина на 5-й мин	32,0 трещин нет	Нет	Да	Нет
П-3 7.IV.08 (без добавки)	П-3-1 3.V.08	39,0	32,0	17,5 трещина на 1 мин	-	Нет	-	Нет
	П-3-2 23.V.08	39,0	32,0	15,0 трещина на 2 мин	-	Нет	-	Нет
П-4 3.IV.08 (с добавкой)	П-4-1 14.V.08	37,0	31,0	38,9 трещин нет	32,5 трещин нет	Да	Да	Да
	П-4-2 14.V.08	37,0	31,0	38,9 трещин нет	27,5 трещина на 10-й мин	Да	Нет	Нет
	П-4-3 14.V.08	37,0	31,0	38,9 трещин нет	32,5 трещин нет	Да	Да	Да

Анализ результатов испытания показал, что из 9 испытанных плит трещиностойкость обеспечена только в двух, при изготовлении которых применен бетон с добавкой.

Трещиностойкость нижней зоны обеспечена в 4-х плитах, 3 из которых изготовлены из бетона с добавкой ПЯ-01. Трещиностойкость верхней зоны обеспечена в 4-х плитах, изготовленных из бетона с добавкой ПЯ-01. Таким образом, использование добавки ПЯ-01 повысило трещиностойкость плит ПДН, но испытания проводились по-

сле воздействия климата в течение 1–2 месяцев и не учитывали те изменения свойств бетона, которые имели место при воздействии климатической среды в течение более 7 месяцев. При нормативном сроке службы плит ПДН – 20 лет, применение добавки ПЯ-01 с одновременным уменьшением расходов цемента и воды снизило стойкость бетона до 17,4 лет, то есть уменьшило её против базовой на 13,0%. Пропаренный бетон соответствует требуемой стойкости.

Интенсификация производства плит ПДН на заводе ЖБК осуществлялась на

базе внедрения форсированного режима тепловлажностной обработки (0 + 4 + 2 + 7). В связи с этим возникла необходимость изучения возможности использования такого режима при изготовлении плит из бетона с добавкой ПЯ-01. Из бетонов с добавкой ПЯ-01 и без добавки были изготовлены образцы и плиты. Тепловлажностная обработ-

ка осуществлялась по режиму 0 + 4 + 2 + 7. На третий день после изготовления образцы и плиты были вывезены на полигон завода и в дальнейшем хранились в условиях воздействия климатической среды. Результаты определения свойств бетона лабораторных образцов и кернов, отобранных из плит, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика свойств бетона образцов и плит

Наименование характеристик	Значение характеристик свойств бетона			
	Лабораторных образцов в возрасте		Кернов, отобранных из плит в возрасте	
	3 суток	12 месяцев	45 суток	6 месяцев
Кубиковая прочность, МПа	39,7/44,8	41,6/48,5	-/44,8	36,2/57,1
Призменная прочность, МПа	29,0/34,0	31,5/37,5	-/35,8	31,1/ 41,2
Модуль упругости, МПа	3,00/3,2	3,16/3,32	-/3,45	3,25/3,83
Нижний уровень микротрещино образования	0,36/0,36	0,37/0,37	-/-	- /-
Водопоглощение, %	9,8/10,9	9,2/10,0	-/-	-/-

Примечание. Над чертой приведены значения характеристик бетона с добавкой ПЯ-01, под чертой – бетона без добавки.

Как было установлено, пропарка изделий приводит к увеличению стойкости бетона при воздействии на него климата, но одновременно способствует образованию дефектов структуры, которые при определенных условиях могут сказаться на стойкости бетонов. Использование форсированных режимов пропарки, увеличение температуры пропарки приводит к увеличению дефектности структуры бетона к началу воздействия на него климата и может стать определяющим в обеспечении стойкости.

Определение стойкости бетонов показало, что для достижения состояния, принятого за предельное, необходимо воздействие климатической среды на бетон с добавкой ПЯ-01 – 11,9 лет, на бетон без добавки – 13,2 лет. Следовательно, использование форсированного режима снизило стойкость бетона без добавки на 15,9 %, а бетона с добавкой ПЯ-01 – на 24,2 % по сравнению с базовой стойкостью бетона, определенной ранее.

Неравномерность температурного поля в бетоне при прогреве бетона контактным способом является причиной перемещения свободной влаги вследствие процесса термовлагопроводности, на который накладывается перенос влаги под действием градиента общего внутреннего давления в твердеющем бетоне. Из-за неравномерности температурных полей процессы гидратации и кристаллизации в массе бетона протекают неравномерно, образуются участки, различные по прочности, что при-

водит, с точки зрения «теории структурных неоднородностей» [5], к общему снижению прочности бетона.

В последнее время широко ведутся исследования по смягчению этого недостатка посредством покрытия поверхностей изделий, свободных при прогреве от опалубки, пленкообразующими материалами, например, препаратом К-9 водорастворимого полимера, соответствующего ТУ 606-17-03-77. Была произведена оценка стойкости пропаренных бетонов с добавкой ПЯ-01, защищенных пленкообразующими материалами. Покрытие пленкообразующим препаратом поверхности лабораторных образцов производилось сразу после разопалубки. Через 4 часа после покрытия пленкообразующим препаратом образцы подвергались воздействию климата. Характеристики свойств бетона определялись в возрасте 28 суток, 12 месяцев и представлены в табл. 4.

Стойкость бетона с добавкой ПЯ-01, защищенного после изготовления от воздействия климата пленкообразующим препаратом К-9, составила 15,9 лет. Таким образом, защита пленкообразующим препаратом повысила стойкость бетона с добавкой ПЯ-01 на 16,9 %.

Изучение структуры бетона с добавкой ПЯ-01 покрытого препаратом К-9, показало, что защищенный бетон близок к бетону, который после изготовления твердел в нормальных условиях. Основные характеристики структуры представлены в табл. 5, а микроструктура цементного камня бето-

нов – на рис. 2 и 3. Микротрещины в защищенном бетоне преимущественно заполнены новообразованиями, а в незащищенном бетоне они полые. Характер новообразований, уменьшение размеров пор, микротрещин, количества непрогидратированных реликтов объясняют увеличение стойкости

защищенных бетонов. Цементный камень бетона, защищенного пленкообразующим препаратом К-9, характеризуется плотной игольчатой структурой, в промежутках между слоевыми кристаллами вторичного портландита наблюдаются мелкие призматические кристаллы и их сплетения.

Таблица 4

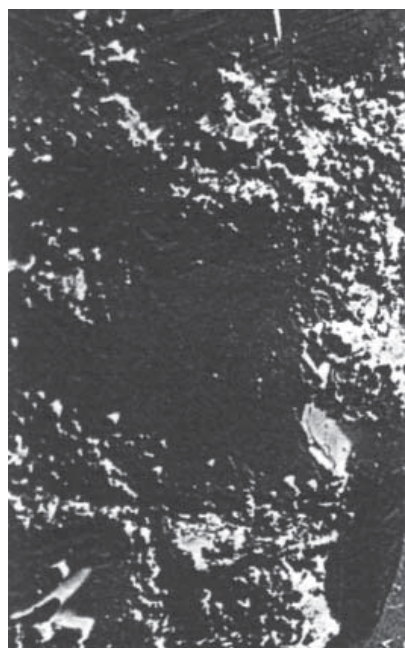
Характеристики свойств бетона, защищенного плёнкообразующим препаратом

Наименование характеристик	Значения характеристик свойств бетона в возрасте		Значения параметров состояния бетона после 12 месяцев воздействия климата
	28 суток	12 месяцев	
R_b , МПа	35,5	42,5	0,197
R_{crc}^0	0,37	0,4	0,081
W , %	10,5	9,3	-0,114

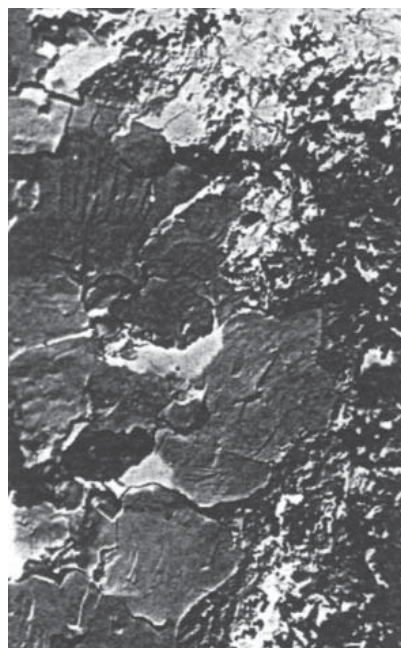
Таблица 5

Характеристики структуры бетона образцов в возрасте 29 месяцев

Характеристики структуры бетона	Единица измерения	Бетона, твердевшего в условиях		
		Нормальных	Реальной климатической среды	
			покрытый плёнкой	не покрытый плёнкой
Непрогидратированные реликты	%	7–10	7–10	10
Пористость	%	3	2–3	5
Размеры пор	микрон	60–120	80–120	80–120
Размеры микротрещин	микрон	10–12	2–5	7–12
Гидрогель	%	5–7	7	7–8
Гидросиликаты и гидроокись Са	%	2–3	7	1,5–2
Гидросульфалоюминат	%	0,5	-	1,5–2



а



б

Рис. 2. Микроструктура цементного камня ($\times 10000$) бетона, покрытого полимером К-9 (а) и непокрытого (б), твердевшего под воздействием климата

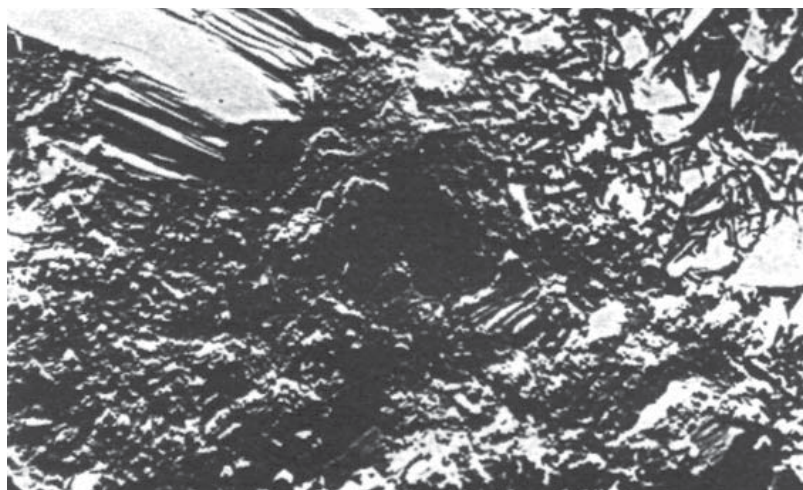


Рис. 3. Микроструктура цементного камня бетона, твердевшего в нормальных условиях

Мелкие кристаллы заполняют поровое пространство, тем самым упрочняют цементный камень. В цементном камне несут в себе отпечатки зародышей кристаллизации. Контакты крупного заполнителя с цементным камнем не плотные, наблюдаются полые микротрещины шириной 7–12 мкм. Контакты цементного камня с мелким заполнителем выполнены в основном гидросульфатоминатом.

Выводы

1. Предложен метод оценки остаточного ресурса бетона конструкции или сооружения.
2. Установлено, что пластификация бетонной смеси добавкой ПЯ-01 понижает стойкость пропаренных бетонов при использовании жестких режимов термовлажностной обработки изделий, существенно понижает стойкость бетона к климатическим воздействиям.
3. Доказано, что защита бетона изделий от воздействия климата препаратом К-9 повышает стойкость бетонов, пластифицированных добавкой ПЯ-01 до нормативных значений.

Список литературы

1. Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд / А.В. Кочетков, Н.Е. Кокодева, П.Б. Рапопорт, Н.В. Рапопорт, И.Г. Шашков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 1. – С. 65–74.
2. Кочетков А.В., Янковский Л.В., Кокодева Н.Е. Методические подходы реализации принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве // Охрана окружающей среды. Транспорт. Безопасность жизнедеятельности: Вестник ПГТУ. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – № 1. – С. 44–56.
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. Проблемы долговечности цементных бетонов / П.Б. Рапопорт, Н.В. Рапопорт, А.В. Кочетков, Ю.Э. Васильев, В.В. Каменев // Строительные материалы. – 2011. – № 5. – С. 38–41.

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

References

1. Kochetkov A.V., Kokodeeva N.E., Rapoport of the Item B., Rapoport N.V., Shashkov I.G. Condition of modern methodical maintenance of calculation and designing of road clothes // Bulletin Perm national research polytechnical university. Preservation environment, transport, health and safety. 2011. no. 1. pp. 65–74.
2. Kochetkov A.V., Jankovskij L.V., Kokodeeva N.E. Methodical approaches of realization of principles of technical regulation in a road economy // Preservation environment. Transport. Health and safety: Bulletin PSTU. Perm, 2011. no. 1. pp. 44–56.
3. Mezhnjakova A.V., Ovchinnikov I.G. Method of an estimation durability reinforced designs at action loadings and excited environments // Industrial and civil building. 2008. no. 8. pp. 44–45.
4. Rapport P.B., Rapport N.V., Kochetkov A.V., Vasilev J.E., Kamenev V.V. Problemy durability cement concrete // Building materials. 2011. no. 5. pp. 38–41.
5. Yankovsky L.V. To a question an estimation and the forecast a condition of the cement concrete maintained in the conditions of influence of a climate of Ural Mountains and Siberia // Bulletin of the Perm national research polytechnical university. Preservation environment, transport, health and safety. 2012. no. 2. pp. 86–95.

Рецензенты:

Овчинников И.Г., д.т.н., профессор, академик транспорта Российской академии транспорта, профессор кафедры «Транспортное строительство» Саратовского государственного технического университета, г. Саратов;

Кадыров Ж.Н., д.т.н., профессор, академик Метрологической академии (Россия), профессор Казахского автомобильно-дорожного института, директор ТОО «Контора патентного поверенного», г. Алматы.

Работа поступила в редакцию 14.08.2012.