

Применение пленкообразующего препарата для увеличения стойкости бетонных изделий в условиях резкого континентального климата

К.т.н., доцент Л.В. Янковский,*

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Ключевые слова: пластификатор; пленкообразующий препарат; бетон; цементобетонные изделия; воздействие климата; долговечность

Проблема повышения долговечности цементобетонных конструкций и сооружений, находящихся в условиях агрессивной среды, является одной из наиболее актуальных [1-8]. Данная работа посвящена изучению влияния пленкообразующих препаратов на характеристики бетонных изделий, эксплуатируемых в условиях негативного воздействия климата Урала и Сибири [9, 10].

Общеизвестен технологический прием повышения стойкости бетона путем увеличения его прочности к началу негативного воздействия [11-14]. Чаще всего увеличение прочности обеспечивается пропаркой бетонных и железобетонных изделий. Пропарка изделий приводит к увеличению стойкости бетона, но одновременно способствует образованию дефектов структуры, которые при определенных условиях могут сказаться на стойкости бетонов. Использование форсированных режимов пропарки, увеличение температуры пропарки или пропарка изделий в термоформах приводит к увеличению дефектности структуры бетона к началу воздействия на него климата и может стать определяющим фактором в обеспечении стойкости.

Как показала практика изготовления железобетонных изделий, наиболее дефектной структурой отличаются бетоны изделий, пропарка которых осуществлялась в термоформах [15]. Неравномерность температурного поля в бетоне при его прогреве контактным способом является причиной перемещения свободной влаги, вследствие чего наблюдается процесс термовлагопроводности, на который накладывается перенос влаги под действием градиента общего внутреннего давления в твердеющем бетоне.

В последнее время проводятся исследования по смягчению этого недостатка посредством покрытия поверхностей изделий, свободных при прогреве от опалубки, пленкообразующими материалами [16]. Пленкообразующие материалы, используемые преимущественно для ухода за свежееуложенным бетоном монолитных конструкций (помароль, этиноль, латекс СКС-65111, битумная эмульсия, полиэтиленовые пленки и т.п.), сложны в обращении, зачастую обходятся дорого и не исследованы при температурах выше 60°C, поэтому на заводах сборного железобетона практически не применяются.

В связи с этим возникла необходимость дополнения номенклатуры пленкообразующих материалов, эффективно применяемых при прогреве железобетонных изделий контактным способом. В качестве такого материала нами выбран препарат К-9 водорастворимого полимера, соответствующий ТУ 606-17-03-77. Препарат К-9 представляет собой отходы производства азота и используется преимущественно в качестве пластификатора глинистого раствора при бурении скважин. Апробация этого препарата в качестве пленкообразующего материала произведена в лабораторных условиях и на железобетонных изделиях – сваях и лотках, изготавливаемых в термоформах на полигоне в летний период.

Изучение возможности использования пленкообразующего препарата К-9 для повышения стойкости бетонов в условиях воздействия климата осуществлялось двумя путями: посредством создания пленки на поверхности образцов и изделий, свободных от опалубки, до прогрева их в термоформах и в виде вторичной защиты образцов и изделий, пропаренных в камерах ямного типа.

В первом случае образцы прогревались на специальной установке, обеспечивающей нагрев днища форм. Верхняя поверхность образцов контактировала с внешней средой и прокрывалась пленкообразующим препаратом одним или двумя слоями. Полимер К-9 в виде водного раствора наносился на поверхность образцов и изделий через 15-25 минут после формования.

Янковский Л.В. Применение пленкообразующего препарата для увеличения стойкости бетонных изделий в условиях резкого континентального климата

Для сопоставления часть образцов оставалась непокрытой, часть смачивалась водопроводной водой и лак-этинолем в один или два слоя.

Температура бетона замерялась в центре образцов и варьировалась от 80 до 135°C, скорость подъема температуры менялась от 20 до 60°C в час, время прогрева составило 8 часов, остывание естественное.

При испытаниях определялись следующие свойства образцов: кубиковая и призмная прочности, нижний уровень микротрещинообразования и водопоглощение. Испытания проводились в холодном состоянии через 10-12 часов после отключения подогрева, часть образцов испытана в возрасте 28 суток и 3 месяца. В качестве характеристики структуры бетона использовалось водопоглощение бетона. Определение эффекта от применения пленкообразующего препарата К-9 на изделиях, прогреваемых в термоформах, осуществлялось на сваях и лотках.

Во втором случае водный раствор пленкообразующего препарата К-9 наносился на поверхность образцов и изделий через 4 часа после их тепловлажностной обработки. Эффект от использования пленкообразующего препарата в качестве вторичной защиты определялся посредством исследования физико-механических свойств и петрографическим анализом бетонных образцов и потребительских свойств плит ПГ. Оценка качества предварительно напряженных плит ПГ (3х6 м) производилась по фактическим показателям прочности, жесткости и трещиностойкости плит. Для сопоставления результатов испытывались следующие виды плит: не покрытые пленкообразующим препаратом К-9, покрытые пленкообразующим препаратом и плиты, изготовленные из бетонных смесей, пластифицированных добавкой ПЯ-01, и покрытые препаратом К-9.

Результаты исследований выявили, что из-за неравномерности температурных полей при пропарке в термоформах процессы гидратации и кристаллизации в массе бетона протекают неравномерно, образуются участки, различные по прочности, что приводит, с позиций теории структурных неоднородностей, к общему снижению прочности бетона (рис. 1).

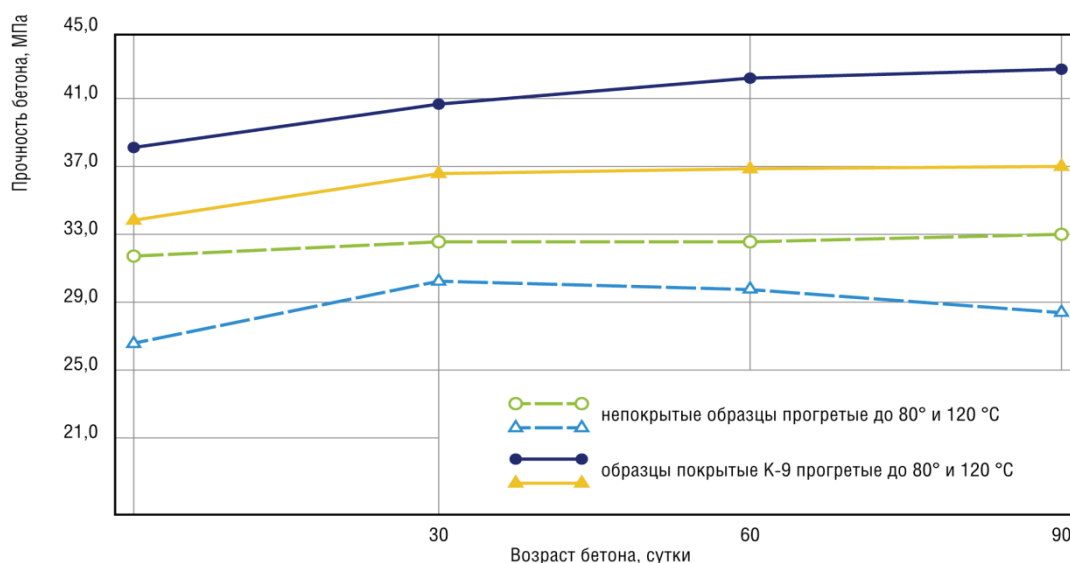


Рисунок 1. Изменение кубиковой прочности бетона образцов, прогреваемых в термоформах, во времени

Испытание лабораторных образцов, прогреваемых в термоформах, показало, что бетон в зависимости от температуры прогрева характеризуется отсутствием прироста прочности или спадом прочности при дальнейшем твердении в воздушно-сухих условиях (рис. 2).

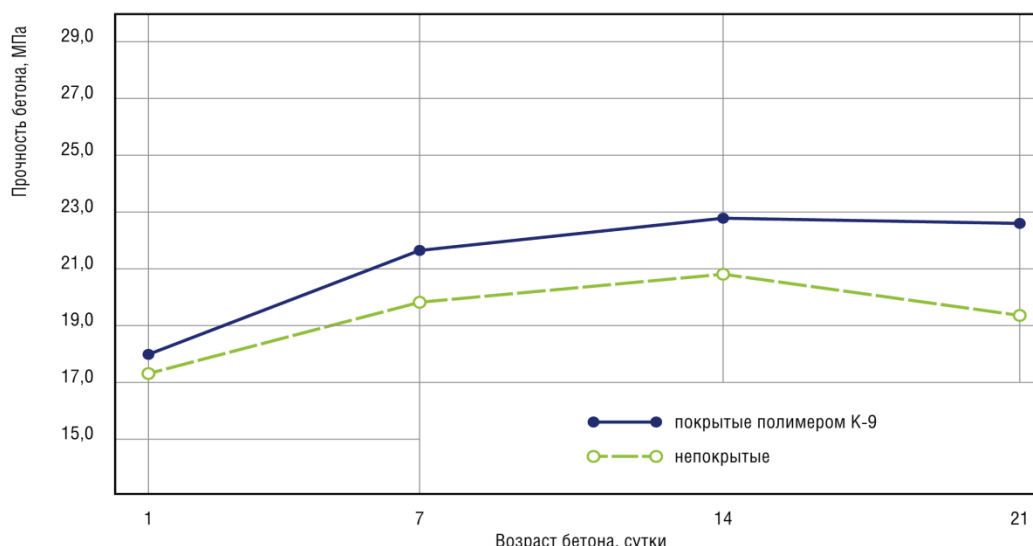


Рисунок 2. Изменение прочности бетона лотков

Результаты испытаний подтвердили предположение о том, что в процессе прогрева контактным способом бетон теряет влагу и приобретает дефектную структуру, причем дальнейшее твердение на воздухе не влечет за собой улучшение качества бетона. Покрытие поверхности, свободной от опалубки, полимером К-9 повысило качество бетона и обеспечило стабильный прирост прочности во времени.

Данные, приведенные в таблице 1, показывают, что прочность бетона образцов, прогреваемых в термоформах, зависит от температуры прогрева (с повышением температуры прогрева прочность бетона уменьшается). Покрытие поверхности образцов пленкообразующими материалами влечет за собой увеличение прочности: чем выше температура прогрева, тем больший эффект использования пленкообразующих материалов.

Таблица 1. Прочность бетона после прогрева

Скорость подъема температуры, °С в час	Максимальная температура бетона, °С	Кубиковая прочность бетона, МПа					
		не покрытого	покрытого				
			водой	полимером		лак-этинолом	
				за 1 раз	за 2 раза	за 1 раз	за 2 раза
60	135	20,9/	21,1/	34,1/	31,8/	24,9/	26,1/
		100,0	100,9	163,1	152,1	119,1	124,9
50	120	27,2/	27,5/	37,6/	37,4/	31,3/	32,8/
		100,0	101,1	138,4	137,5	116,1	120,6
40	96	29,6/	29,5/	37,9/	37,5/	33,1/	34,8/
		100,0	99,6	127,9	126,6	117,8	117,5
20	80	31,7/	32,7/	38,3/	37,8/	34,6/	37,2/
		100,0	103,1	120,8	119,2	109,1	117,3

Примечание: над чертой даны абсолютные величины прочности бетона, под чертой – в процентах по отношению к прочности непокрытого бетона.

Сопоставление полимера К-9 с лак-этинолом показывает, что при температуре прогрева 96°С и выше полимер К-9 предпочтительней, так как дает больший эффект. Нанесение пленкообразующего материала на поверхность, свободную от опалубки, уменьшает количество испарившейся воды (таблица 2), способствуя тем самым сохранению влаги в бетоне и последующему набору прочности.

Результаты апробации полимера К-9 в сопоставлении с лак-этинолом представлены в таблице 3.

Таблица 2. Водопоглощение бетона

Скорость подъема температуры, °С в час	Максимальная температура бетона, °С	Водопоглощение, в % бетона			
		не покрытого	покрытого		
			водой	полимером	
				за 1 раз	За 2 раза
40	96	13,5	13,1	11,8	11,9
Количество испарившейся воды, в г					
40	96	139	124	86	79

Таблица 3. Характеристики прочности бетона в изделии

Характеристика	Значение характеристики в изделиях			
	покрытых полимером		покрытых лак-этинолом	
	за 1 раз	за 2 раза	за 1 раз	за 2 раза
Средняя прочность, МПа	19,4/14,7	18,5/14,3	17,7/16,2	19,9/16,8
Среднеквадратичное отклонение	19,6/33,4	13,5/28,9	18,5/32,3	19,7/27,6
Коэффициент вариации прочности бетона в изделии (v)	10,1/19,8	7,3/17,7	10,4/19,9	10,4/16,4

Примечание: над чертой – для изделий, покрытых пленкообразующими материалами, под чертой – непокрытых

Из данных видно, что нанесение раствора полимера К-9 и лак-этиноля на поверхность изделия, свободную от опалубки, дает эффект в виде повышения прочности на 31,9 и 15,3% соответственно. Нанесение второго слоя полимера в этом случае уменьшило разброс показателей прочности по изделию, уменьшив среднеквадратичные отклонения и коэффициенты вариации прочности (см. табл. 3).

При температуре 80°С эффект сравниваемых пленкообразующих материалов примерно одинаков. Покрытие полимером К-9 2 раза нецелесообразно, так как при этом, по-видимому, нарушается целостность ранее нанесенного слоя.

Большое внимание в настоящее время уделяется разработке новых методов расчета долговечности бетонных конструкций [17,18]. Определение стойкости бетона по разработанной методике [9,19] велось на лабораторных образцах. Значения характеристик свойств сравниваемых бетонов приведены в таблице 4. Стойкость бетона образцов, рассчитанная по разработанной нами методике, составила для непокрытых образцов – 9,4 года, для покрытых – 12,1 лет. При этом улучшается и структура бетона, о чем свидетельствуют данные, приведенные в таблицах 2 и 5.

Таблица 4. Характеристика сравниваемых бетонов

Параметры	Значение характеристик бетона в возрасте			
	28 суток		12 месяцев	
	непокрытых	покрытых	непокрытых	покрытых
R_b , МПа	23,2	27,8	26,0	30,5
$R_{срс}^0$	0,34	0,35	0,35	0,37
W , %	12,7	11,5	11,3	10,9

Изучение прочностных свойств бетона лотков, изготавливаемых в термоформах, показало, что по длине и по высоте лотков имеет место разброс показателей прочности бетона. Лоток формируется днищем вверх, и прочность уменьшается по направлению снизу вверх, то есть по направлению движения влаги при прогреве изделия. В первой серии экспериментов среднее значение прочности бетона изменялось по высоте лотка от 19,0 до 29,0 МПа, а по длине – от 25,0 до 35,0 МПа, в целом до лотку от 16,0 до 34,0 МПа. Аналогичный разброс имел место и во второй серии экспериментов.

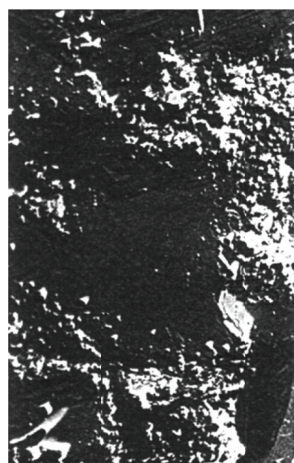
При использовании полимера К-9 как пленкообразующего материала прочность бетона лотков увеличилась на 5,5% при нанесении полимера в один слой и на 12,9% при нанесении в два слоя. При этом изменение средней прочности бетона по высоте изделия составило: при нанесении полимера в один слой – 24,3%, при нанесении в два слоя – 20,7%, а в непокрытых лотках – 34,5%. По длине лотков средняя прочность изменялась в первом случае на 18,8%, во втором – на 25,8%, а в непокрытых лотках – на 34,4%. Апробация полимера на изделиях (сваях и лотках) показала наличие эффекта несколько меньшего, чем на лабораторных образцах.

Янковский Л.В. Применение пленкообразующего препарата для увеличения стойкости бетонных изделий в условиях резкого континентального климата

Изучение структуры бетона с добавкой ПЯ-01, покрытого препаратом К-9, показало, что по своим основным характеристикам защищенный бетон близок к бетону, который после изготовления твердел в нормальных условиях. Основные характеристики структуры представлены в таблице 5, а микроструктура цементного камня бетонов – на рисунках 3 и 4.

Таблица 5. Характеристики структуры бетона образцов в возрасте 29 месяцев

Характеристики структуры бетона	Единица измерения	Бетон, твердевший в условиях		
		Нормальных	Реальной климатической среды	
			Покрытый пленкой	Непокрытый
Непрогидротированные 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
Гидросульфалюминат	%	0,5	-	1,5-2



а)



б)

Рисунок 3. Микроструктура цементного камня ($\times 10\ 000$) бетона, покрытого полимером К-9 (а) и непокрытого (б), твердевших под воздействием климата

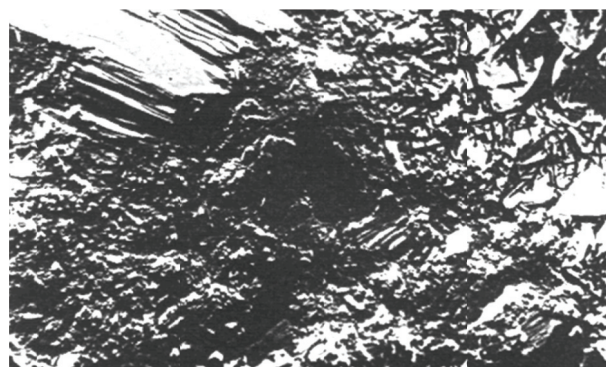


Рисунок 4. Микроструктура цементного камня бетона, твердевшего в нормальных условиях

Микротрещины в защищенном бетоне преимущественно заполнены новообразованиями, в то время как 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. Мелкие кристаллы заполняют поровое пространство, тем самым упрочняя цементный камень.

В цементном камне незащищенного бетона крупные кристаллы несут в себе отпечатки зародышей кристаллизации. Контакты крупного заполнителя с цементным камнем неплотные, наблюдаются полые микротрещины шириной 7-12 микрон. Контакты цементного камня с мелким заполнителем выполнены в основном гидросульфалюминатом.

Исследования были проведены также на натурных изделиях – предварительно напряженных ребристых плитах ПГА-IV-2Т (3х6 м), предназначенных для покрытия производственных зданий [20, 21]. Испытывались 4 плиты, из них две серийные, выпускаемые заводом, две другие были изготовлены с использованием добавки ПЯ-01, при этом расход цемента в производственном составе был уменьшен на 10%. Поверхности одной серийной плиты и одной плиты с добавкой после пропарки и разопалубки покрывались пленкообразующим препаратом К-9. Плиты и образцы через 1 сутки после изготовления были вывезены на полигон завода и до испытаний хранились в условиях воздействия климатической среды.

Янковский Л.В. Применение пленкообразующего препарата для увеличения стойкости бетонных изделий в условиях резкого континентального климата

Цель испытаний – оценка и сопоставление фактической прочности, жесткости и трещиностойкости плит в соответствии с требованиями ГОСТ.

Плиты из бетона без добавки разрушились под нагрузкой $702,22 \text{ кг/м}^2$, что в 1,873 раза превышает расчетную испытательную нагрузку. Прогиб плиты при контрольной нагрузке по жесткости на 46,3% превышал допускаемое значение, ширина раскрытия трещин при контрольной нагрузке по трещиностойкости, равной 250 кг/м^2 , превысила допустимую в 2,2 раза.

Плита из бетона без добавки, покрытая пленкообразующим препаратом К-9, разрушилась под нагрузкой 578 кг/м^2 , что в 1,541 раза превышает расчетную испытательную нагрузку. Прогиб плиты при контрольной нагрузке по жесткости составил 4,46 мм, что меньше допускаемого значения, ширина раскрытия трещин при контрольной нагрузке по трещиностойкости, равной 250 кг/м^2 , превысила допускаемую в 1,6-2 раза.

Плиты из бетона с добавкой ПЯ-01 разрушились под нагрузкой $604,44 \text{ кг/м}^2$, что в 1,612 раза превышает расчетную испытательную нагрузку. Прогиб плиты при контрольной нагрузке по жесткости составил 3,5 мм, что меньше допускаемого значения, трещин при контрольной нагрузке по трещиностойкости, равной 250 кг/м^2 , не появилось. Плита удовлетворяет требованиям проекта.

Использование добавки ПЯ-01 увеличило прочность бетона в возрасте 28 суток на 11,6%, а покрытие пленкообразующим препаратом К-9 – на 10,4%. Пластификация бетона добавкой ПЯ-01 и защита его препаратом К-9 повысила прочность в том же возрасте на 24%.

Плиты, изготавливаемые по установившейся на заводе технологии, не удовлетворяли требованиям ГОСТ по жесткости и трещиностойкости. Применение добавки ПЯ-01 и пленкообразующего препарата К-9 улучшило качество плит ПГ, повысило их жесткость и трещиностойкость. Наибольший эффект наблюдается при использовании добавки ПЯ-01 и последующей защиты бетона от климатических воздействий пленкообразующим препаратом К-9.

Было проведено определение стойкости бетона по разработанной нами методике на лабораторных образцах. Значения характеристик бетона сравниваемых плит определялись в возрасте 28 суток и 12 месяцев и представлены в таблице 6.

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 плит на 16,9%.

Таблица 6. Характеристики свойств бетона, защищенного пленкообразующим 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
$R_{срс}^0$	0,37	0,4	0,081
W , %	10,5	9,3	-0,114

Выводы

1. Выявлено, что использование жестких режимов термовлажностной обработки изделий существенно ухудшает структуру и понижает стойкость пропаренных бетонов к воздействию климата.
2. Доказано, что защита бетона изделий пленкообразующим препаратом К-9 улучшает структуру и свойства бетона, снижает водопоглощение, повышает кубиковую и призмную прочность и стойкость бетонов в условиях воздействия резкого континентального климата.
3. Доказано, что защита бетона изделий пленкообразующим препаратом К-9 повышает жесткость и трещиностойкость плит ПГА-IV-2Т в 1-2 месячных возрастах.
4. Предложен практический метод улучшения структуры и свойств бетона изделий и конструкций, при изготовлении которых используется прогрев в термоформах.

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. [и др.] Анализ срока службы современных цементных бетонов // Современные проблемы науки и образования. 2012. №4. С. 92-92.
3. Гарибов Р. Б., Маринин А. Н., Овчинников И. Г. Сопротивление железобетонных конструкций воздействию хлоридной коррозии и карбонизации. Саратов: ПАТА, 2008. 260 с.
4. Чуб А. А. Организационные принципы принятия технологических решений при восстановлении объектов городского хозяйства // Современное промышленное и гражданское строительство. 2011. Т. 7. №2. С. 75-81.
5. Шейнин А. М., Эккель С. В. High-strength concrete for roads // Наука и техника в дорожной отрасли. 2008. №3. С. 31-34.
6. Platoshkina V. V., Lyupaev B. M. The forecast of durability of polymer concretes based on liquid rubbers with the use of thermofluctuation approach to destruction and deformation of the solids // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2010. №3. Pp. 20-28.
7. Darquennes A., Staquet S., Espion B., Delplancke-Ogletree M.-P. Effect of autogenous deformation on the cracking risk of slag cement concretes // Cement and Concrete Composites. 2011. Vol. 33. №3. Pp. 368-379.
8. Chan W. W. J., Wu C. M. L. Durability of concrete with high cement replacement // Cement and Concrete Research. 2000. Vol. 30. №6. Pp. 865-879.
9. 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.
10. Янковский Л. В. Долговечность цементных бетонов в свете перехода на европейские стандарты // Строительные материалы. 2012. №1. С. 16-18.
11. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Влияние комплексной добавки на долговечность тяжелого бетона // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. №2(16). С. 190-194.
12. Гаркави М. С., Трошкина Е. А. Влияние модифицированных лигносульфонатов на твердение и долговечность бетона на основе шлакопортландцемента // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2008. №3. С. 50-55.
13. Шитиков Е. С. [и др.] Лигносульфонатные пластификаторы нового типа для бетонных смесей и бетонов различного назначения // Строительные материалы. 2002. №6. С. 36-38.
14. Кондратов Г. М. Долговечность бетонов и растворов, модифицированных латексом ВДВХМК-65Е-ВДК // Успехи современного естествознания. 2007. №10. С. 88-90.
15. Федорак А. Д. Эффективность производства бетонов и бетонных изделий // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 2.
16. Selvaraj R., Selvaraj M., Iyer S.V.K. Studies on the evaluation of the performance of organic coatings used for the prevention of corrosion of steel rebars in concrete structures // Progress in organic coatings. 2009. Vol. 64. №4. Pp. 454-459.
17. Кочетков А. В. [и др.] Состояние современного методического обеспечения расчета и конструирования дорожных одежд // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. №1. С. 65-74.
18. 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.
19. Янковский Л. В. Метод прогнозирования состояния цементобетонных строительных конструкций в условиях воздействия климата // Вестник гражданских инженеров. Архитектура. Строительство. Транспорт. 2012. №5(34). С. 315-319.
20. Челпанов И. Б. [и др.] Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. 2011. №2. С. 57-68.
21. Васильев Ю. Э. [и др.] Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей // Современные проблемы науки и образования. 2012. №4. С. 101-101.

** Леонид Вацлавович Янковский, г. Пермь, Россия*

Тел. раб.: +7(834)239-14-04; эл. почта: yanekperm@yandex.ru

© Янковский Л.В., 2012

Янковский Л.В. Применение пленкообразующего препарата для увеличения стойкости бетонных изделий в условиях резкого континентального климата