

*И.В. РУССУ*, докт. хаб. техн. наук, проф., ТУМ, Кишинэу,  
*В.М. ПРИСАК*, докторант, ТУМ, Кишинэу,  
*И. КИРИКУЦА*, докторант, ТУМ, Кишинэу,  
*И. КОНСТАНТИНЕСКУ*, докторант, университет «Нижний Дунай»,  
Галаць, Румыния

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ И СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Наведені результати досліджень по створенню систем лакофарбових покриттів, що володіють високою адгезією, тріщиностійкістю, хімічної стійкістю і механічною міцністю, низькою набрякливістю і проникністю, призначених для захисту залізобетонних конструкцій, експлуатованих в умовах дії сильноагресивних кислих середовищ.

Приведены результаты исследований по созданию систем лакокрасочных покрытий, обладающих высокой адгезией, трещиностойкостью, химической стойкостью и механической прочностью, низкой набухаемостью и проницаемостью, предназначенных для защиты железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия сильноагрессивных кислотных сред.

The results of a study on creation of coatings with high adhesion, fracture toughness, chemical resistance and mechanical strength, low swelling and permeability for the protection of concrete structures, operated in conditions of acidic environments silnoagressivnyh.

**Введение.** Большинство систем лакокрасочных покрытий для противокоррозионной защиты бетона конструкций состоят из грунтовки, шпатлевки и эмали. Но при эксплуатации железобетонных конструкций в сильноагрессивных средах, в частности кислых, требуются усовершенствованные системы и составы покрытий и надежную их противокоррозионную защиту в таких условиях могут обеспечивать лакокрасочные покрытия, обладающие высокой адгезией, трещиностойкостью, химической стойкостью и механической прочностью, низкой набухаемостью и проницаемостью [1, 2]. Такими свойствами могут обладать покрытия определенной системы и состава.

Выбор системы покрытия должен производиться с учетом характера покрываемой поверхности бетона конструкций (шероховатости, пористости, влажности, щелочности и др.), условий эксплуатации железобетонных конструкций (воздействие статических, динамических или ударных нагрузок, пе-

ременный температурно-влажностный режим), степени агрессивного воздействия на бетонных конструкциях различных веществ (периодическое или постоянное воздействие газов, растворов кислот, щелочей, микроорганизмов, жиров и др.), других особенностей эксплуатации.

**Экспериментальная часть.** Величина адгезии лакокрасочных полимерных покрытий зависит как от свойств самой пропитывающей грунтовки (ее состава и вязкости, гидрофильности или гидрофобности по отношению к бетону, способностью образования с составляющими бетона различных связей), так и от состояния и свойств поверхностного слоя защищаемого бетона (влажности, пористости, шероховатости, механической прочности) [2].

Результаты исследований показали существенную зависимость адгезии полимерных лакокрасочных покрытий от их свойств, особенно грунтовок, и особенностей и свойств бетонного субстрата.

Анализ полученных результатов показывает (рис. 1 и рис. 2), что глубина пропитки ( $h$ , мм) слоя бетонного субстрата (при влажности  $V < 4\%$ ) в значительной степени зависит от его пористости ( $P$ , %), а также от вязкости ( $\eta$ , с) и типа полимера лакокрасочного грунта.

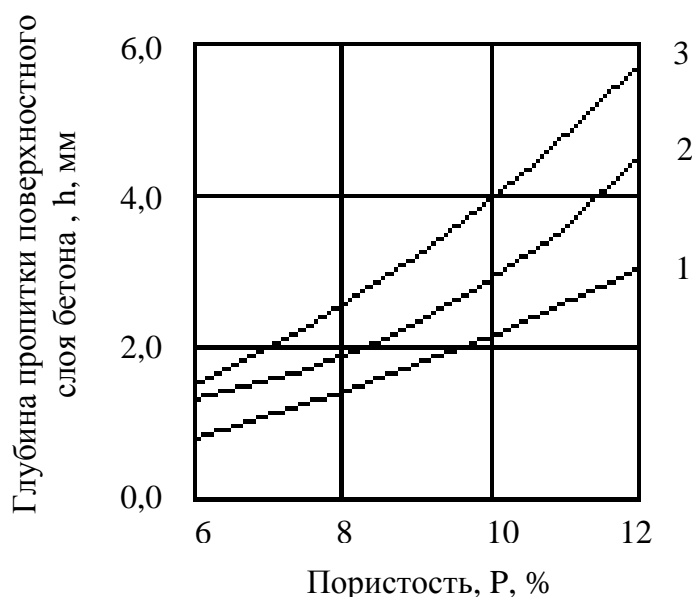


Рис. 1. Зависимость глубины пропитки ( $h$ , мм) слоя бетонного субстрата (при влажности  $V < 4\%$ ) в значительной степени зависит от его пористости ( $P$ , %):  
1 – грунт на основе хлорсульфированного полиэтилена, 2 – полиуретановый грунт,  
3 – эпоксидный грунт

Но от величины пористости в значительной степени зависят прочностные свойства бетона и его проницаемость, поэтому она лимитируется опре-

деленными пределами. Пределы вязкости лакокрасочных материалов (включительно грунтов) также лимитированы их технологическими свойствами (тиксотропностью, особенностями оборудования для нанесения, требованиями к отсутствию наплывов и ровности нанесения и др.), поэтому глубина пропитки бетонного субстрата не может быть изменена в широких пределах.

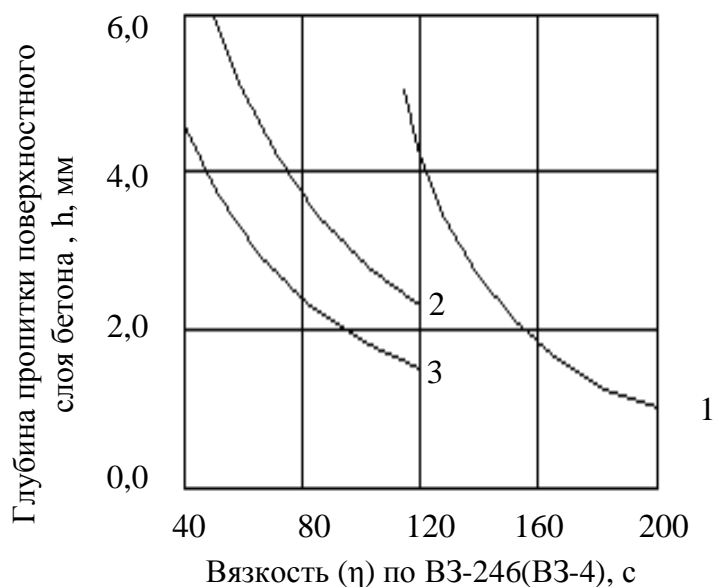


Рис. 2. Зависимость глубины пропитки (h, мм) слоя бетонного субстрата (при  $V < 4\%$ ,  $P = 8\%$ ) от вязкости ( $\eta$ , с) и типа полимера лакокрасочного грунта: 1 – грунт на основе хлорсульфированного полиэтилена, 2 – полиуретановый грунт, 3 – эпоксидный грунт

Взаимосвязь между величиной адгезии (A, МПа) лакокрасочного покрытия, пористостью бетонного субстрата (P, %), глубиной его пропитки (h, см) и типа полимера показана на (рис. 3 и рис. 4). Выявленная взаимосвязь свидетельствует о том, что независимо от типа полимера лакокрасочного грунта, максимальная адгезия последнего обеспечивается при пористости бетонного субстрата в пределах 4...8 % и при глубине его пропитки в пределах 4...8 мм.

Выявленные зависимости позволяют выбрать условия, обеспечивающие максимальную адгезию лакокрасочных покрытий к бетонному субстрату.

Нормы рационального проектирования и изготовления железобетонных конструкций допускают образование и раскрытие в большинстве из них трещин определенной ширины [3].

В случаях когда эти конструкции эксплуатируются в агрессивных средах и защищаются лакокрасочными покрытиями последние должны обладать оп-

ределенной трещиностойкостью. Известные трещиностойкие тиоколовые, наиритовые и хлорсульфированные полиэтиленовые покрытия не всегда могут быть использованы как самостоятельные ввиду их недостаточной химической стойкости, низкой адгезии к бетону или высокой токсичности [4].

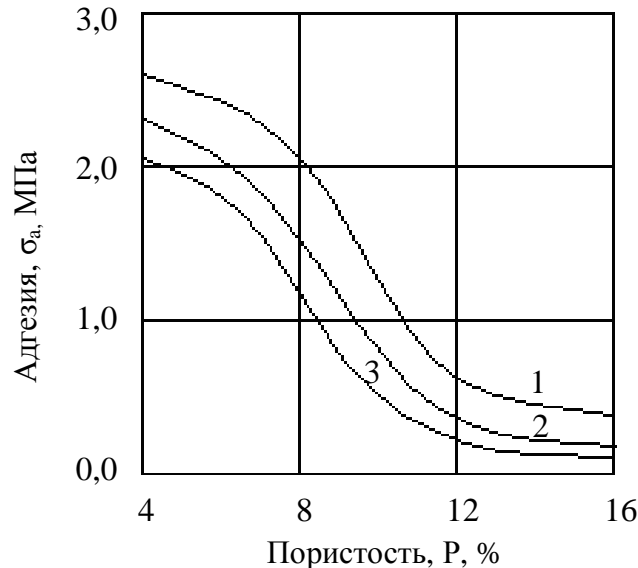


Рис. 3. Взаимосвязь между величиной адгезии ( $A$ , МПа) лакокрасочного покрытия и пористостью бетонного субстрата ( $P$ , %) при влажности  $V < 4$  %:

1 – грунт на основе хлорсульфированного полиэтилена, 2 – полиуретановый грунт, 3 – эпоксидный грунт.

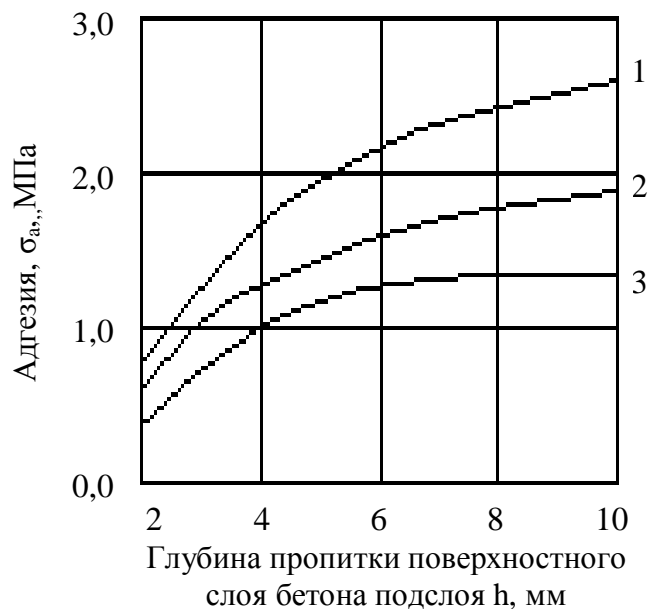


Рис. 4. Взаимосвязь между величиной адгезии ( $A$ , МПа) лакокрасочного покрытия и глубиной его пропитки ( $h$ , см) при  $V < 4$  %,  $P = 8$  %:

1 – грунт на основе хлорсульфированного полиэтилена, 2 – полиуретановый грунт, 3 – эпоксидный грунт

Исследования различных систем покрытий позволили выбрать для противокоррозионной защиты бетона конструкций, эксплуатируемых в сильно-агрессивных средах, систему покрытия (рис. 5), состоящую из пропитывающей грунтовки, эластичного подслоя, промежуточного подслоя и покрывного эмалевого слоя.

Образование трещин (4) в покрытиях (S) является следствием ряда физико-механических и химических факторов. В целом же образование трещин является результатом деформации бетона (1) выше его предела относительных удлинений в данных условиях. В практике трещинообразование связано с хрупким разрушением и трещиностойкость может быть достигнута, либо снижением хрупкости защитных покрытий, либо уменьшением допускаемых деформаций в защищаемом материале.

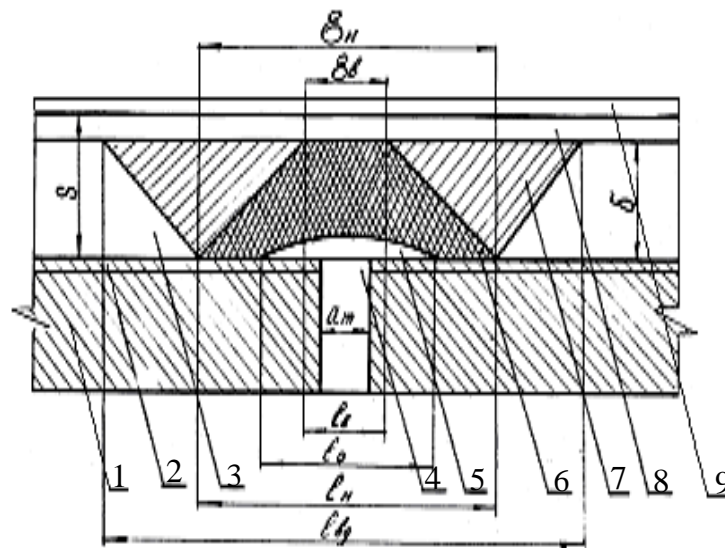


Рис. 5. Система покрытия

Основным требованием обеспечения целостности трещиностойкого покрытия является условие его неразрывности:

$$\sigma_n < R_{пр}, \quad (1)$$

где  $\sigma_n$  – напряжение в покрытии, МПа;  $R_{пр}$  – прочность покрытия при разрыве, МПа.

Условие целостности покрытия может быть выполнено, если предельные деформации растяжения ( $\epsilon_p$ ) полимерного покрытия больше ширины

раскрытия трещин ( $a_m$ ), т.е.  $(\epsilon_p) > (a_m)$ . При этом адгезия полимерного покрытия ( $\sigma_a$ , МПа) должна быть больше прочности бетона на разрыв ( $R_{бр}$ , МПа):

$$\sigma_a > R_{бр}. \quad (2)$$

В момент образования трещины (4) в бетонной подложке (1) происходит мгновенное приложение нагрузки лишь к слою, находящемуся в контактной зоне (5) с бетоном. Следовательно, напряжения возникают вначале в этом слое и он может оторваться от бетона.

В зависимости от упругопластических свойств подслоя (3) покрытия, напряжения в нем (6) будут снижаться по толщине ( $\delta$ ) эластичного деформируемого подслоя (7) при удалении от адгезионного слоя (2) к промежуточному (8) эмалевому (9) слоям. Для обеспечения целостности покрытия при образовании трещин в защищаемой железобетонной конструкции, напряжения на границе эластичного подслоя (7) и промежуточного (8) подслоя покрытия не должны превышать прочности последнего на разрыв. Это свойство было положено в основу получения трещиностойких покрытий с эластичным подслоем.

При выполнении противокоррозионной защиты лакокрасочными покрытиями бетона конструкций, эксплуатируемых в условиях воздействия жидких агрессивных сред, в основном преследуется одна цель: предотвратить диффузию последних через защитное покрытие и уменьшить их разрушительное воздействие на конструкции.

Известно, что проницаемость лакокрасочных покрытий зависит от ряда факторов, среди которых наиболее существенное влияние оказывают: свойства пленкообразующего полимера, его структура, строение и расположение молекул, наличие полярных и ионогенных групп в полимерной макромолекуле, вид и форма частиц пигмента, степень пигментирования и толщина самого полимерного покрытия [5].

Большой практический интерес представляет определение оптимального соотношения между составляющими компонентами покрытий, их влияние на набухаемость, проницаемость и других свойств последних. Зная определенные закономерности, присущие этой связи, можно создать покрытия с заданными эксплуатационными характеристиками и с наибольшей достоверностью прогнозировать их защитные свойства.

С этой целью было изучено влияние добавок катионита КУ 2-8чС в  $H^+$  и

в  $\text{Ca}^{2+}$  формах на набухаемость ( $W_{\text{пог}}$ , % мас.), влаго-  $\{P_{\text{в}}, \text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па})\}$  и кислотопроницаемость  $\{P_{\text{к}}, \text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па})\}$  покрытий на основе эпоксидной смолы ЭД-20.

Изучение набухаемости лакокрасочных эпоксидных покрытий в воде (рис. 6) показало, что покрытия, содержащие катионит КУ 2-8чС в  $\text{H}^+$  и в  $\text{Ca}^{2+}$  формах (3 и 4), обладают наибольшей набухаемостью по сравнению с лаковым и эмалевым покрытиями (1 и 2) и это вызвано значительным набуханием самого катионита.

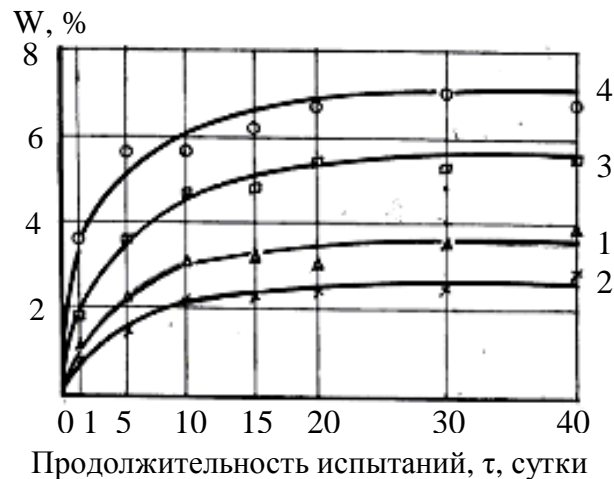


Рис. 6. Изучение набухаемости лакокрасочных эпоксидных покрытий в воде:  
 1 – лаковое; 2 – эмалевое; 3 – с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $\text{H}^+$  форме;  
 4 – с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $\text{Ca}^{2+}$  форме

Сравнение хода кривых влагопроницаемости (рис. 7) с ходом кривых набухаемости (рис. 6) тех же покрытий во времени показывает, что изменение влагопроницаемости во времени представляет производную функции (3), описывающей зависимость набухания от времени, что может быть выражено уравнением:

$$[dm_{\text{H}_2\text{O}}/d\tau] \cdot \tau = P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot K, \quad (3)$$

где  $m$  – набухаемость, % масс.;  $P_{\text{H}_2\text{O}}$  – коэффициент влагопроницаемости,  $\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{Па})$ .;  $\tau$  – продолжительность испытаний, сут.;  $K$  – поправочный коэффициент.

Очевидно, что по мере набухания покрытий (рис. 6) происходит уплотнение их структуры и снижение, как следствие, проникновения влаги через

них (рис. 7). Это связано с гомогенизацией и уплотнением структуры полимера, так и с образованием водных ассоциатов, препятствующих продвижению мономерной воды.

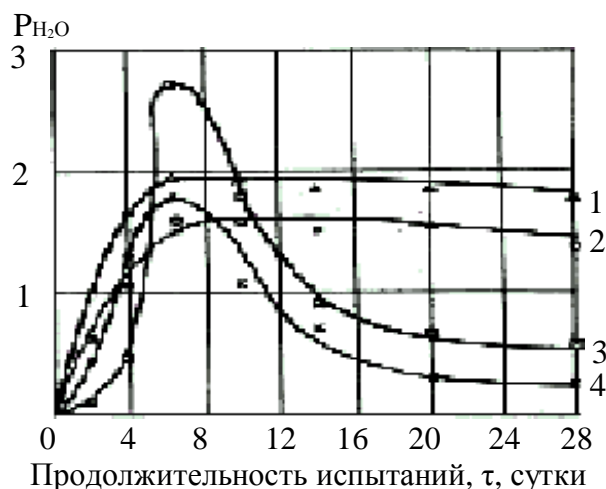


Рис. 7. Изучение влагопроницаемости лакокрасочных эпоксидных покрытий в воде:  
 1 – лаковое; 2 – эмалевое; 3 – с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $H^+$  форме;  
 4 – с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $Ca^{2+}$  форме

Особенно заметно это явление в пленках 3 и 4, которые, как известно, способны удерживать у ионогенных групп значительное количество воды в виде гидратной оболочки.

Исследование методом наложенного напряжения проницаемости уксусной кислоты  $CH_3COOH$  (рис. 8) через покрытия того же состава показали, что коэффициент кислотопроницаемости ( $P_k$ ) покрытия 1 равен  $0,66 \cdot 10^5$  кг/(м·с·Па), а покрытия 2 практически равен нулю. Значения  $P_k$  для покрытий 3 и 4 имеют отрицательные значения.

Дальнейшие исследования показали, что в покрытиях 3 и 4 возникает положительное электрическое поле, обусловленное наличием катионита КУ 2-8чС в  $H^+$  или  $Ca^{2+}$  формах. Положительное электрическое поле направлено против движения  $H^+$  ионов кислот, что затрудняет их диффузию через такие покрытия. Диффундирующая часть кислот через покрытия, содержащие катионит КУ 2-8чС в  $Ca^{2+}$  форме, нейтрализуется в результате обмена  $H^+$  катионов кислот на  $Ca^{2+}$  катионы с образованием труднорастворимых кальциевых солей не коррозионноопасных для бетона.

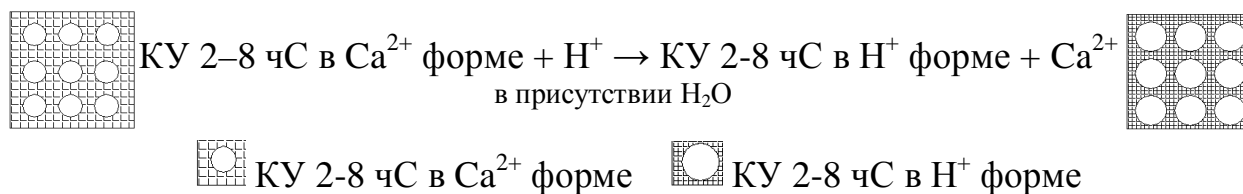
Таким образом, полимерные покрытие, содержащие в своих составах положительно заряженные компоненты, способствуют снижению или полностью предотвращают диффузию через них кислот.





Рис. 8. Исследование проницаемости уксусной кислоты  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :  
 1 – лаковая пленка; 2 – эмалевая; 3 – лаковая с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $\text{H}^+$  форме; 4 – лаковая с содержанием катионита КУ 2-8чС в  $\text{Ca}^{2+}$  форме.

Снижение проницаемости кислот через полимерные покрытия имеет место благодаря содержанию в промежуточный слой катионита КУ 2-8 чС в  $\text{Ca}^{2+}$  форме. Растворы кислот диффундируют через лакокрасочные покрытия в диссоциированном виде и при достижении фронтом диффузии поверхности катионита КУ 2-8 чС в  $\text{Ca}^{2+}$  форме происходит обмен ионов  $\text{Ca}^{2+}$  на ионы  $\text{H}^+$  с выделением ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в свободном виде согласно реакции:



Катионит КУ 2-8 чС обладает высокой набухаемостью и при его контакте с жидкими средами он значительно увеличивается в объеме уплотняя полимерную составляющую промежуточного подслоя покрытия. Таким образом, кроме ионного обмена снижение проницаемости имеет место и за счет уплотнения полимерного составляющего покрытия. Химическая и механическая стойкость полимерных покрытий, их цвет и внешний вид, а при необходимости и санитарно-гигиенические свойства обеспечиваются эмалевым слоем. Исходя из этих теоретических предпосылок были разработаны и внедрены лакокрасочные покрытия для защиты бетона конструкций, эксплуатируемых в различных агрессивных средах, в т.ч. и в условиях предприятий по переработке плодов и овощей.

## **Выводы.**

**1.** Адгезия лакокрасочных покрытий для изоляции и защиты железобетонных конструкций зависит от влажности, пористости, прочности поверхностно слоя бетона и его гидрофильности по отношению к грунтовочному материалу, а также от вязкости и особенностей материала полимерного грунта и его возможности реагировать с компонентами бетона с образованием прочных химических соединений.

**2.** При образовании и раскрытии в пределах допустимых значений трещин в конструкциях из железобетона, повышение трещиностойкости лакокрасочных покрытий возможно включением в их систему промежуточного подслоя из эластичного материала.

**3.** Снижение водо- и кислотопроницаемости полимерных лакокрасочных покрытий возможно введением в их состав катионита КУ 2-8 чС, который набухает в воде и увеличиваясь в объеме уплотняет покрытие, уменьшая его проницаемость. В  $\text{Ca}^{2+}$  форме катионит КУ 2-8 чС обменивает ионы  $\text{Ca}^{2+}$  на  $\text{H}^+$  ионы, нейтрализуя, таким образом, кислоты и уменьшая их отрицательное воздействие на бетон.

**4.** Положительное электрическое поле полимерных покрытий, обусловленное наличием катионита КУ 2-8чС в  $\text{Ca}^{2+}$  форме, направлено против движения  $\text{H}^+$  ионов кислот, что затрудняет их диффузию через такие покрытия.

**Список литературы.** **1.** Степанова В.Ф. Выбор критериев оценки и основных показателей качества антикоррозионных покрытий бетона / В.Ф. Степанова, С.Е. Соколова, А.Л. Полушкин // Строительные материалы. – 2000. – № 10. – С. 12 – 13. **2.** Руссу И.В. Зависимость адгезии полимерных покрытий от свойств лакокрасочных материалов и особенностей бетонного субстрата / И.В. Руссу // Строительные материалы. – 2004. – № 6. – С. 42 – 43. **3.** Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84. – М., 1985. – 79 с. **4.** Черников Г.П. Опыт применения трещиностойких защитных покрытий на основе хлорсульфированного полиэтилена / Г.П. Черников // Противокоррозионные работы в строительстве. – 1982. – Вып. 4. – С. 2 – 4. **5.** Заиков Г.Е. Диффузия электролитов в полимерах / Г.Е. Заиков, А.Л. Иорданский, В.С. Маркин. – М.: Химия, 1984. – 240 с.

*Поступила в редколлегию 26.07.11*