

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА
И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ**



УДК 627.33/34 (571.1/5):620.107

А.А. ШАТАЛОВ, К.А. НИКИТЕНКО, А.П. ПИЧУГИН

**СОСТОЯНИЕ БЕТОННЫХ ПРИЧАЛОВ,
ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ СИБИРИ**

Большинство бетонных и железобетонных причалов речных бассейнов Сибири выработали свой проектный ресурс и находятся в неудовлетворительном состоянии. Обследования позволили установить, что в пробах бетона, отобранных из разрушающихся частей причальных массивов, резко увеличилась суммарная пористость и в том числе макропористость, что напрямую свидетельствует о высокой степени коррозионного разрушения бетона. Изучена структурная пористость проб бетона и предложены полимерсодержащие составы для защиты причальных сооружений.

Ключевые слова: бетон, железобетон, пористость, микропористость, водонепроницаемость, морозостойкость, долговечность причальных сооружений.

DOI 10.32683/0536-1052-2018-718-10-71-79

При доставке грузов в труднодоступные районы Сибири и Крайнего Севера, имеющие слаборазвитую сеть автомобильных и железных дорог, рационально использование водного транспорта. Это обусловливается наличием естественных водных магистралей в данном регионе. Для обслуживания судов по погрузке-выгрузке грузов применяются портовые гидротехнические сооружения, в районах Сибири и Крайнего Севера фактический срок эксплуатации некоторых из них достигает 75 лет.

Бетонные и железобетонные причальные конструкции, эксплуатируемые в суровых сибирских условиях, подвержены постоянному воздействию воды, температурных перепадов, наносов, плавающих средств, льдов и других разрушающих факторов. Разрушение защитного слоя бетонных причалов может быть вызвано ледоходом или неправильной швартовкой судов при отсутствии отбойных устройств. По характеру распространения коррозия бетона может быть различной: сплошной, равномерной и неравномерной; местной в виде отдельных точек, пятен, язв или каверн или по всей видимой площади. Кроме того, на начальной стадии коррозия носит поверхностный характер, но под действием разрушающих факторов и диффузионных процессов может распространяться на весь объем. Любой конструкционный материал подвергается коррозионному или эрозионному разрушению, в ре-

© Шаталов А.А., Никитенко К.А., Пичугин А.П., 2018

зультате чего происходит деструкция не только поверхностных слоев материала (бетона), но и внутри массива, что приводит к постепенному физико-химическому разрушению бетона (рис. 1) [1–5].

Климатические особенности Обского, Енисейского и Ленского речных бассейнов в совокупности с повышенным насыщением песчаных взвесей и огромных массивов льда создают условия для интенсивной коррозии бетона. Некоторые причальные сооружения выходят из строя и требуют капитального ремонта уже через 5–10 лет после их постройки. Однако имеются такие случаи, когда бетон в конструкциях не разрушается в течение 30 лет и более. При обследовании причальных бетонных сооружений, простоявших более 20–30 лет, были отобраны пробы из объектов с различным возрастом бетона, в том числе из интенсивно разрушающегося бетона.

Цементный камень (растворная часть бетона) этих проб был подвергнут химическим и структурным исследованиям. При этом было выявлено, что все стадии разрушения бетона (от начального выщелачивания до интенсивной солевой коррозии и разрушения от воздействия попеременного замерзания) связаны непосредственно с изменением структурной пористости [3–7].

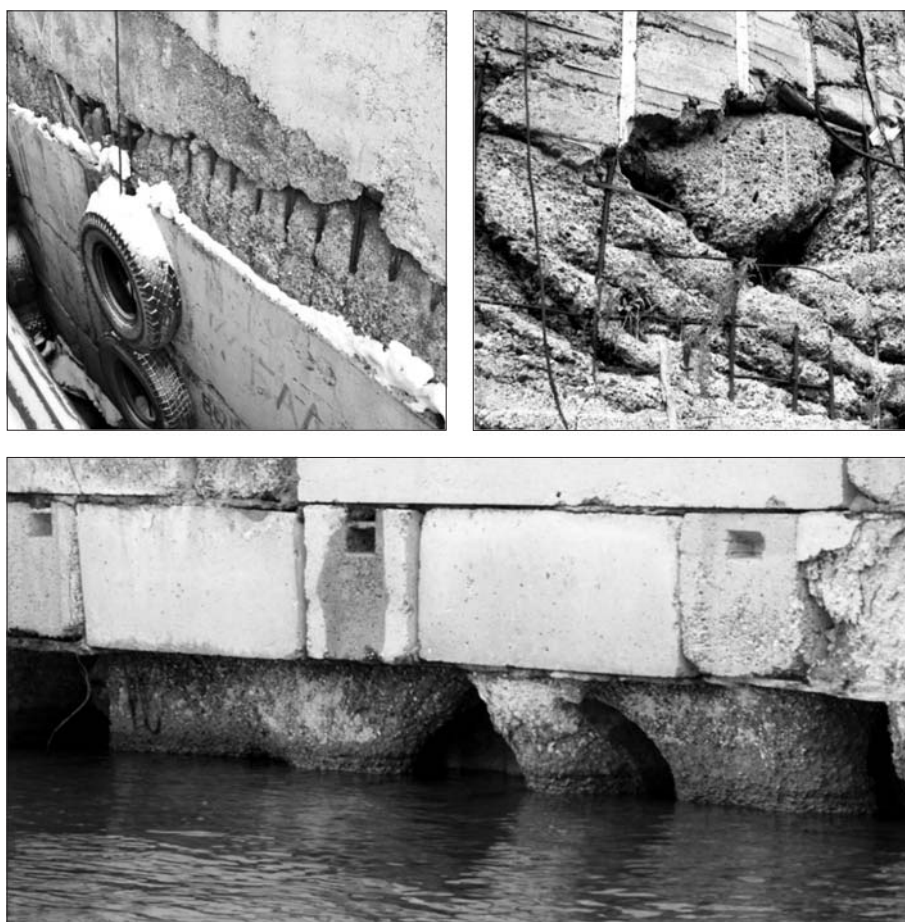


Рис. 1. Примеры разрушения бетонных причальных сооружений в бассейнах сибирских рек

На долговечность бетона в воде особенно влияет плотность поверхностных (омываемых водой) слоев. Это подтверждается неодинаковой степенью коррозии различных массивов одних и тех же сооружений, выполненных из бетона с одним видом и качеством исходных материалов. Результаты исследования структурной пористости некоторых характерных проб растворной части бетона различных сроков эксплуатации приведены в таблице.

Характеристики пористой структуры образцов бетона причальных сооружений

Проба, №	Описание места отбора и внешнего вида образца	Суммарная пористость, %	Объем микропереходных пор ($r \leq 100$ нм) по бензолу, см ³ /г	Объем макропор ($r \geq 100$ нм), % от суммарной пористости	Водопоглощение за 24 ч, %
1	Рыхлый бетон из внутренней части массива на переменном горизонте воды; заметны новообразования	46,8	0,073	80,7	46,2
2	Бетон с поверхности разрушающегося массива, рыхлый с белыми новообразованиями	37,4	0,091	62,1	8,5
3	Рыхлый раствор с глубины 0,3 м подводной, частично разрушенной зоны массива	28,9	0,097	48,0	13,0
4	Раствор с поверхности подводной неразрушенной (боковой) части того же массива	20,9	0,064	40,1	11,2
5	Бетон из внутренней, неразрушенной части сваи на переменном уровне воды	13,3	0,029	52,8	4,1
6	Бетон из внутренней части сваи выше уровня горизонта воды	17,4	0,042	54,0	6,2

В пробах бетона, отобранных из разрушающихся частей причальных массивов, резко увеличилась суммарная пористость и в том числе макропористость. Чем больше видимая степень коррозии и разрушения бетона, тем выше суммарная и макропористость. Проба № 4 имеет меньший объем, хотя и повышенный, суммарной пористости, что свидетельствует о влиянии повышенного водоцементного фактора и недостаточного уплотнения бетонной смеси. Подтверждением начальной неплотной структуры являлись многочисленные, ясно видимые крупные и мелкие поры, каверны и трещины усадки. Бетон с такой макроструктурой в условиях водной среды не может быть долговечным. Несмотря на капитальный ремонт, в зоне переменного горизонта воды разрушения интенсивно нарастают, о чем свидетельствуют данные образцов [4–8].

Цементный камень бетона, отобранного из свай другого неразрушающегося многолетнего сооружения, является образцом высокой плотности, и как

следствие, стойкости. Небольшой объем суммарной пористости пробы № 5 – около 13 %; подтвержденный малым водопоглощением, свидетельствует о тщательном ведении работ по бетонированию. Объем макропор хотя и составляет почти 53 %, но в большей мере это поры диаметром менее 500 нм, малодоступные для проникновения воды. Суммарная пористость растворной части того же бетона, но длительно находившегося в воздушных условиях эксплуатации (выше уровня воды), несколько повышена при том же объеме макропористости. Как следствие, увеличивается водопоглощение. Вместе с суммарной пористостью возрос объем переходных пор и капилляров, очевидно за счет продолжавшихся длительное время процессов твердения и образования гелеобразных и микрокристаллических систем с мельчайшей пористостью [6–10].

С целью продления срока службы бетона недостаточно только одного способа защиты. Чтобы бетон не поддавался вредному влиянию окружающей среды, уже на стадии проектирования проводят профилактические мероприятия по его защите. Эксплуатационно-профилактические мероприятия предусматривают нейтрализацию агрессивных сред, герметизацию бетона при эксплуатации. Важную роль в предохранении бетона от дальнейшего разрушения играет рациональное конструирование. При этом необходимо придание бетонной поверхности конструкционной формы, которая будет исключать скопление в углублениях воды и различных органических веществ.

Защиту бетона от коррозии можно разделить на первичную и вторичную.

Первичная защита бетона от коррозии предусматривает при его изготовлении и формировании введение в состав бетона специальных добавок. При этом изменяется минералогический состав бетона. Этот способ считается наиболее эффективным. В качестве добавок используют различные водоудерживающие, пластифицирующие, стабилизирующие, химические модификаторы и др.

Химические добавки могут существенно улучшить эксплуатационные свойства бетона, повысить его плотность, в результате чего агрессивные агенты в порах замедляют скорость своего передвижения. Арматура, находясь в плотном бетоне, менее подвержена коррозионным разрушениям. Также при помощи химических добавок можно значительно увеличить количество условно замкнутых пор. В результате морозостойкость бетона возрастает в разы.

Самыми распространенными химическими добавками, которые применяются для защиты бетона от разрушений, являются: пластифицирующие, противоморозные, уплотняющие, гидрофобизирующие, воздухововлекающие, замедлители схватывания, газообразующие, ингибиторы коррозии арматуры.

Вторичная защита бетона от коррозии предусматривает нанесение на цементный камень различных лакокрасочных материалов, защитных смесей, покрытий и облицовку различными плитами, т.е. гидроизоляцию бетона:

лакокрасочные и акриловые покрытия применяются при воздействии на него твердых и газообразных сред. Образовавшаяся защитная пленка

эффективно защищает поверхность бетона не только от воздуха и влаги, но и от воздействия различных микроорганизмов;

мастика используется при воздействии на него влаги, контакте с твердыми средами. Часто применяются мастики на основе различных смол (смолизация);

уплотняющие пропитки используют почти во всех средах (жидкой, газообразной), особенно при повышенной влажности. Уплотняющие пропитки заполняют наружный слой бетона, придают ему хорошие гидрофобные свойства, снижают водопоглощение;

биоцидные материалы применяются для защиты бетона от воздействия различных видов грибков, плесени, бактерий, микроорганизмов. Химически активные вещества биоцидных добавок заполняют поры бетона и уничтожают бактерии;

оклеечные покрытия используют при эксплуатации бетонного камня в жидких средах, грунтах с высокой влажностью и местах частого смачивания электролитом. Например, нижнюю часть бетонного волнореза оклеивают полиизобутиленовыми пластинами.

К вторичной защите также можно отнести карбонизацию (выдержку бетона на воздухе).

Защита арматуры бетона от коррозии. Существует несколько способов защитить стальную арматуру в бетоне от коррозии: облагородить окружающую металл среду (т.е. использовать качественный бетон специального состава, вводить ингибиторы); дополнительно защитить арматуру бетона от коррозии (пленки и т.п.); улучшить характеристики самого металла.

Разнообразные методы борьбы за долговечность бетона причальных сооружений в значительной мере предусматривают получение плотной структуры. Высококачественные исходные материалы и высокая степень плотности затвердевшего бетона создают условия безремонтной эксплуатации причальных сооружений в течение десятков лет. Число причальных набережных, частично или полностью исчерпавших свой ресурс эксплуатации либо находящихся в ограниченно-работоспособном, предаварийном, аварийном (предельном) техническом состоянии, постепенно растет. Большинство портовых гидротехнических сооружений требует текущего и капитального ремонта.

Влияние поверхностного уплотнения бетона на его проницаемость и долговечность было проверено нами в лабораторных условиях. Существенно снижают объем макропористости и способствуют увеличению сроков службы бетонных и железобетонных причальных сооружений профилактические мероприятия по устройству защит из полимерных и полимерсиликатных композиций с добавками направленного действия. Нами были исследованы и рекомендованы следующие составы и композиции: жидкое стекло, полиметилметакрилат, ПВА, латекс СКС-65 ГП, фенолформальдегидные, акриловые и эпоксидные смолы.

Лучшими оказались эпоксидные олигомеры, однако для массового использования они не были рекомендованы ввиду высокой стоимости. Латекс СКС-65 ГП и жидкое стекло были нестойкими при переменном увлажнении и высушивании и совсем непригодными при замораживании и оттаивании.

Акриловые составы и дисперсия ПВА также относятся к недостаточно водостойким материалам. Несколько лучшие показатели стойкости у фенолформальдегидных смол, однако они требуют термообработки для полного отверждения [7–11].

Добавка дегидрола не только оказывает минимальное влияние на ухудшение реологических характеристик составов, но и вызывает пластифицирующий эффект. Это приводит к снижению вязкости и реологических характеристик композиций, что весьма важно с позиций обеспечения высокого качества защиты от коррозионного разрушения. На рис. 2 представлена зависимость глубины проникновения защитной композиции для полимерсиликатных композиций с различным содержанием воды и добавки дегидрола на различных бетонных поверхностях [10–11].

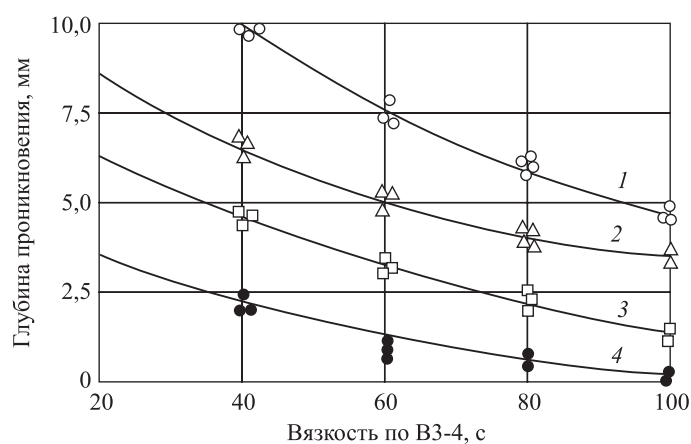


Рис. 2. Проницаемость бетонных образцов в зависимости от состава полимерсиликатной композиции
 1 – с добавкой дегидрола 15 %; 2 – то же, 10 %; 3 – то же, 5 %;
 4 – без добавок

Изучение гидрофильных свойств защитных покрытий на поверхности бетонных и каменных материалов осуществлялось на установке определения краевого угла смачивания. Для получения надежного и экономичного защитного покрытия краевой угол смачивания должен находиться в пределах от 90 до 135°. Такой состав обеспечивает достаточную адгезию к подложке и в то же время создает благоприятные условия по пропитке и кольматации пористой структуры подложки.

Были проведены исследования по изучению влияния бинарных наполнителей и степени наполнения полимерсиликатных составов на коэффициент линейного расширения. Это позволило определить оптимальные наполненные полимерсиликатные составы с бинарным наполнителем, обладающие повышенной адгезионной прочностью с обычными цементными бетонами, представляющие смесь отходов хризотилцементного производства с дегидролом. Как показали испытания таких составов, разрушения целостности контактного слоя не происходит. Наблюдается неполное смачивание обычного бетона в зоне контакта, разрушение испытываемых образцов, как правило, происходит в зоне обычного бетона. Прочность в контактной зоне при

испытании на сдвиг колеблется от 5,0 до 12,5 МПа, а при испытании на отрыв – от 0,8 до 4,5 МПа. Следует отметить, что адгезионная прочность зависит от прочности цементного бетона и качества поверхности бетонного основания, его чистоты и влажности.

Определена водостойкость и морозостойкость полимерсиликатных наполненных защитных композиций на основе дисперсии ПВА и жидкого натриевого стекла с бинарными минеральными добавками. Прочность материала покрытия при попеременном увлажнении и высушивании так же, как и при постоянном нахождении в воде, практически не изменяется; при замораживании и оттаивании она снижается всего на 5–8 % за 300 циклов, что свидетельствует о достаточной сопротивляемости защитного материала. При этом следует отметить незначительные потери массы, не превышающие 0,5–2,5 %. Наилучшей стойкостью обладают составы с большей степенью наполнения добавкой дегидрол. Защитные полимерсиликатные композиции, включающие 30–40 мас. % минерального наполнителя при соотношении дегидрол : отходы ХЦП в пределах от 1:1 до 1:2, являются водостойким и морозостойким материалом, вполне приемлемым для устройства покрытий бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений и инженерных объектов сельскохозяйственного назначения [9, 11].

Анализ полученных данных по исследованию химической стойкости полимерсиликатных покрытий на бетонных образцах позволил сделать следующие выводы:

полимерсиликатные составы на основе дисперсии ПВА и жидкого стекла с минеральными добавками устойчивы к большинству агрессивных сред малой концентрации, в том числе к растворам кислот с концентрацией до 2 %;

устойчивость материала против воздействия щелочей, солей, продуктов нефтехимии и агрессивных сред является вполне достаточной для практических целей;

несколько ниже стойкость полимерсиликатных композиций против воздействия спирта и других аналогичных растворителей в допустимых или предельных концентрациях;

полимерсиликатные защитные покрытия нестойки в бензоле, уксусной кислоте, ацетоне и кислотах повышенной концентрации;

состав вполне устойчив в нейтральных средах, таких как масло, жиры, вода и т.д.

Рациональным было предложение по получению комбинированной композиции, состоящей из двух полимерсодержащих компонентов с добавками направленного действия. Такая композиция была получена и на ней проводились все опыты, которые показали ее эффективность и высокие эксплуатационные качества. В настоящее время оформлена и подана заявка на патент.

Заключение. Бетонные и железобетонные причальные сооружения, эксплуатируемые для обслуживания судов в бассейнах сибирских рек, в большинстве своем находятся в неудовлетворительном состоянии. Большинство обследованных объектов требуют текущего и капитального ремонта, а отобранные пробы бетона и их характеристики свидетельствуют

об интенсивной деградации бетона и необходимости проведения ремонтных работ и восстановительной защиты. Для обеспечения нормальной технической эксплуатации и повышения долговечности причальных сооружений рекомендуется использовать специальные полимерсиликатные составы с добавками направленного действия. Таким образом, полимерсиликатные защитные композиции могут повысить стойкость бетонных причалов в условиях агрессивного воздействия гидротехнических сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соломатов В.И., Селяев В.П. Химическое сопротивление композиционных материалов. М.: Стройиздат, 1987. 264 с.
2. Погорелов В.А. Влияние гранулометрического состава бетонной смеси на структурное преобразование бетонной прочности // Вестн. МГСУ. 2010. № 1. С. 199–205.
3. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов: Моногр. Омск: Изд-во СиБАДИ, 2011. 462 с.
4. Бабков В.В. и др. Механизм упрочнения цементных связок при использовании тонкодисперсных заполнителей // Цемент. 1991. № 9-10. С. 34–41.
5. Бутт Ю.М., Тимашев В.В., Бакшутев В.С. Структура цементного камня многолетнего твердения // Цемент. 1969. № 10. С. 14–16.
6. Химические и минеральные добавки в бетон / Под ред. А.В. Ушерова-Маршака. Харьков: Колорит, 2005. 280 с.
7. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учеб. М.: Изд-во АСВ, 2003. 500 с.
8. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др. Добавки в бетон: Справ. пособие. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
9. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Комплексная защита сельскохозяйственных объектов от коррозионного разрушения // Строит. материалы. 2011. № 3. С. 45–47.
10. Пичугин А.П., Городецкий С.А., Бареев В.И. Коррозионно-стойкие материалы для защиты полов и инженерных систем сельскохозяйственных зданий и сооружений: Моногр. Новосибирск, 2010. 123 с.
11. Кудряшов А.Ю., Хриланков В.Ф., Пичугин А.П. Диффузионные процессы пропитки строительных материалов полимерами // Вестн. Одес. гос. акад. строительства и архитектуры. 2006. № 23. С. 143–145.

Шаталов Антон Александрович, асп.

Новосибирский государственный аграрный университет

Никитенко Ксения Анатольевна, асп.

Новосибирский государственный аграрный университет

Пичугин Анатолий Петрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gmunsau@mail.ru

Новосибирский государственный аграрный университет

Получено 21.09.18

Shatalov Anton Alexandrovich, Post-graduate Student

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Nikitenko Kseniya Anatol'evna, Post-graduate Student

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

Pichugin Anatoliy Petrovich, DSc, Professor; E-mail: gmunsau@mail.ru

Novosibirsk State Agrarian University, Russia

STATE OF THE CONCRETE PIERS, OPERATED IN HARSH SIBERIA

Concrete and reinforced concrete moorings of river basins of Siberia in the majority developed the project resource, and are in an unsatisfactory condition. The conducted surveys allowed to establish that in the samples of concrete taken from the collapsing parts of mooring massifs, the total porosity, including macroporosity, sharply increased, which directly indicates a high degree of corrosion destruction of concrete. The structural porosity of the selected concrete samples is studied and polymer-containing compositions for the protection of berthing facilities are proposed.

Key words: concrete, reinforced concrete, porosity, microporosity, water resistance, frost resistance, durability of berthing facilities.

REFERENCES

1. Solomatov V.I., Selyaev V.P. Khimicheskoe soprotivlenie kompozitsionnykh materialov [Chemical resistance of composite materials]. Moscow, Stroyizdat, 1987. 264 p. (in Russian)
2. Pogorelov V.A. Vliyanie granulometricheskogo sostava betonnoy smesi na strukturnoe preobrazovanie betonnoy prochnosti [Influence of the granulometric composition of the concrete mix on the structural transformation of the concrete strength]. Vestnik MGSU [Bull. MSSU]. 2010. No. 1. Pp. 199–205. (in Russian)
3. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Upravlenie strukturoobrazovaniem stroitel'nykh kompozitov: Monografiya [Management of structure formation of building composites: monograph]. Omsk: SibADI publishing House, 2011. 462 p. (in Russian)
4. Babkov V.V. et al. Mekhanizm uprochneniya tsementnykh svyazok pri ispol'zovanii tonkodispersnykh zapolniteley [The mechanism of hardening of cement bonds when using fine aggregates]. Tsement [Cement]. 1991. No. 9–10. Pp. 34–41. (in Russian)
5. Butt Yu.M., Timashev V.V., Bakshutov V.S. Struktura tsementnogo kamnya mnogoletnego tverdeniya [Structure of cement stone hardening perennial]. Tsement [Cement]. 1969. No. 10. Pp. 14–16. (in Russian)
6. Khimicheskie i mineral'nye dobavki v beton [Chemical and mineral additives in concrete]. Kharkov, Color, 2005. 280 p. (in Russian)
7. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [The technology of concrete: textbook]. Moscow, 2003. 500 p. (in Russian)
8. Ramachandran V.S., Feldman R.F., Collepardi M. et al. Dobavki v beton: Spravochnoe posobie [Additives in concrete: right. Book]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 575 p. (in Russian)
9. Pichugin A.P., Gorodetskiy S.A., Bareev V.I. Kompleksnaya zashchita sel'skokhozyaystvennykh ob'ektov ot korrozionnogo razrusheniya [Comprehensive protection of agricultural facilities from corrosion damage]. Stroitel'nye materialy [Building material]. 2011. No. 3. Pp. 45–47. (in Russian)
10. Pichugin A.P., Gorodetskiy S.A., Bareev V.I. Korrozionno-stoykie materialy dlya zashchity polov i inzhenernykh system sel'skokhozyaystvennykh zdaniy i sooruzheniy: Monografiya [Corrosion-Resistant materials for the protection of floors and engineering systems of agricultural buildings and structures: Monograph]. Novosibirsk, 2010. 123 p. (in Russian)
11. Kudryashov A.Yu., Khritankov V.F., Pichugin A.P. Diffuzionnye protsessy propitki stroitel'nykh materialov polimerami [Diffusion impregnation of building materials with polymers]. Vestnik Odesskoy gosudarstvennoy akademii stroitel'stva i arkhitektury [Bulletin of the Odessa state Academy of construction and architecture]. 2006. No. 23. Pp. 143–145. (in Russian)