

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСТРУКЦИИ ТОРКРЕТ-БЕТОНА
КАК ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ КОНСТРУКЦИЙ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

**INVESTIGATION OF THE SHOTCRETE DESTRUCTION
AS A PROTECTIVE COATING FOR STRUCTURES
OF CONSTRUCTION FACILITIES IN THE TEXTILE INDUSTRY**

У.А. НОВИКОВА¹, К.В. СТРОКИН¹, И.А. КРАСИЛЬНИКОВА²

U.A. NOVIKOVA¹, K.V. STROKIN¹, I.A. KRASILNIKOVA²

¹Сахалинский государственный университет,
²Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)

(¹Sakhalin State University,
²Vladimir State University)

E-mail: varrym@gmail.com, korasb@mail.ru, uliana.a.novikova@gmail.com,
strokin07@rambler.ru, irinanebukina@rambler.ru

В статье рассматривается проблема коррозионной стойкости строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности. Предложено в качестве защитного покрытия как новых, так и ремонтируемых зданий на предприятиях текстильной отрасли использовать торкрет-бетонные покрытия. Разработана рецептура пяти составов торкрет-бетона, состоящего из основного и дополнительного вяжущего, заполнителей и ускорителей твердения. Исследованы размер и характер пор изготовленных образцов, развитие деструкции по изменению массы и прочности. Для прогнозирования долговечности торкрет-бетонных покрытий определены коэффициенты диффузии.

The article deals with the problem of corrosion resistance to building structures of all textile and light industry enterprises. It is proposed to use shotcrete concrete coatings as a protective coating for both new and renovated buildings at industry enterprises. A formulation has been developed for 5 compositions of shotcrete, consisting of a basic and additional binder, fillers and hardening accelerators. The size and nature of the pores of the manufactured samples, the development of destruction by changes in mass and strength are investigated. Diffusion coefficients have been determined to predict the durability of shotcrete coatings.

Ключевые слова: торкрет-бетон, долговечность, диффузия, ускорители твердения, прочность, пористость, ремонтные покрытия.

Keywords: shotcrete, durability, diffusion, hardening accelerators, strength, porosity, repair coatings.

К строительным конструкциям всех предприятий текстильной и легкой промышленности предъявляются высокие требования по коррозионной стойкости приме-

няемых материалов [1]. Это условие необходимо для обеспечения прежде всего требуемого уровня промышленной безопасности данных объектов [2]. Проектирование

долговечности железобетонных конструкций традиционно основывается на установленных правилах и требованиях к характеристикам материалов, к качеству их составляющих, к условиям работы конструкции с учетом требований, отраженных в действующих отечественных нормативных документах и ряде документов зарубежных стран. Очевидна естественная связь между качеством сооружения и его сроком службы [3].

Анализ результатов натуральных обследований, проектных материалов и экспертный опрос специалистов позволяют заключить, что интенсивному воздействию агрессивных, в том числе сульфат- и хлоридсодержащих, сред подвергается до 75 % инженерных конструкций предприятий текстильной промышленности [4]. После длительной эксплуатации в агрессивных условиях защитный слой железобетонных конструкций разрушается (рис. 1). Особенно интенсивно процессы деструкции происходят в конструкциях цехов с влажным воздухом, сооружениях, подверженных воздействию агрессивных жидкостей, подземных конструкциях [5].



Рис. 1

Одним из прогрессивных способов выполнения бетонных работ является метод торкретирования. Торкретирование целесо-

образно в тех случаях, когда необходимо бетонировать строительные конструкции сложной конфигурации и незначительной толщины, при возведении которых возникают трудности, связанные с уплотнением бетонных смесей вибраторами, и требуются значительные затраты на изготовление опалубки, а также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по коррозионной стойкости, водонепроницаемости и морозостойкости [6]. Особенно эффективно применение торкретбетона при сооружении пространственных конструкций покрытий зданий (куполов, оболочек), резервуаров различного типа и назначения, элементов наружных трехслойных конструкций производственных зданий с эффективным утеплителем, в качестве облицовки небольших водопропускных сооружений, поверхностей каналов и т.д.

Применение торкретирования для ремонта и усиления поврежденных конструкций предприятий текстильной промышленности является наиболее эффективным и нередко единственно возможным способом [7...9].

Целесообразен поиск решения проблемы прогнозирования долговечности бетонных и железобетонных конструкций в агрессивных средах, поскольку своевременная их защита позволит значительно сократить экономический ущерб от последствий коррозионных разрушений, повысить надежность конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности, снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций. Необходимо фокусировать исследования на расширении комплекса прочностных и антикоррозионных свойств железобетона в соответствии с множеством вариантов его применения. В связи с вышеизложенным представленная работа является актуальной [10, 11].

На основании аналитического обзора научно-технической, нормативной и методической литературы по применению торкретбетона разработана программа исследований, в основу которой положен подбор составов и изготовление торкретбетона с заданными физико-механическими свойствами. По результатам определения

прочности при сжатии выбраны оптимальные составы и изготовлены образцы торкрет-бетона для изучения коррозионных свойств [12...14].

Для назначения торкрет-бетона в качестве защиты железобетонных конструкций от агрессивных воздействий среды необходимы данные о его сульфатостойкости и проницаемости для хлоридов как наиболее агрессивных сред. Недостаточная изученность коррозионных свойств торкрет-бетона ограничивает области его применения не только для бетонирования новых конструкций, но и для ремонтных работ [15...18].

Для исследования разработана рецептура пяти составов смеси для изготовления торкрет-бетона (табл. 1). Смеси изготавливались из портландцемента марки ПЦ 500-Д0-Н, крупного и мелкого заполнителей, ускорителя твердения ($\text{NaAlO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и воды. В двух образцах портландцемент был частично заменен кремнеземом и золой-уноса. Исследования проводились на образцах с размерами 10x10x10 см, изготовленных с различным водоцементным отношением.

Т а б л и ц а 1

Материалы	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4	Образец №5
Портландцемент, кг	464	464	464	418	418
Зола, кг				46	
Кремнезем, кг					45
Крупный заполнитель – щебень, кг	907	907	907	907	907
Мелкий заполнитель – песок, кг	890	890	890	890	890
Ускоритель – $\text{NaAlO}_2 + 2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, кг	10,55	10,55	10,55	10,55	10,55
Вода, кг	162,4	208,8	255,2	208,8	208,8
В/Ц	0,35	0,45	0,55	0,45	0,45

После 28 дней первоначального отверждения образцы торкрет-бетона погружали в агрессивные солевые водные растворы, содержащие 5% (мас.) только сульфата натрия и 5% (мас.) хлорида натрия. Все растворы обновлялись ежемесячно, а показатель pH контролировался в диапазоне 6,0...8,0 путем титрования разбавленными растворами серной кислоты через регулярные промежутки времени (15 дней).

Для изучения свойств, структуры и состава исследуемых в работе материалов (твердой и жидкой фазы) до и после воздействия агрессивной солевой среды проведены экспериментальные исследования с применением методов химического и физико-химического анализа: методики определения плотности, водопоглощения, пористости и прочности цементного камня; анализа распределения пор по размеру; рентгенографического анализа; дифференциально-термического анализа; количественного анализа катионов кальция; электрометрического метода для измерения водородного показателя pH среды; прямого титрования.

Распределение пор по размерам различных торкретбетонных смесей, измеренное с помощью ртутного порозиметра AutoPore IV 9520, показано на рис. 2.

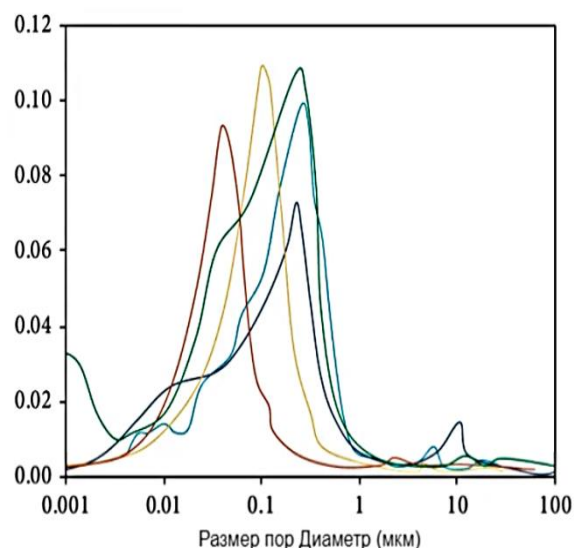


Рис. 2

Смешанные бинарные связующие с добавлением золы или кремнезема имеют более мелкую структуру пор по сравнению с обычными связующими, изготовленными

только на портландцементе с ускорителем твердения. Общий объем пор различных образцов распределен следующим образом: №1,2,3 > №4 > №5. Для образцов №1,2,3 более низкое соотношение В/Ц приводит к меньшему объему внедренных пор. Смеси, изготовленные с соотношением В/Ц 0,35, обладают наименьшим объемом внедренных пор. Кроме того, смеси, содержащие 10% кремнезема, имеют большой объем мелких пор.

После 10 месяцев непрерывного полного погружения в оба солевых раствора все образцы торкрет-бетона остались визуально неповрежденными, за исключением образцов, содержащих 10% кремнезема. Образцы, модифицированные золой-уноса, продемонстрировали лучшую устойчивость к повреждению поверхности по сравнению с другими образцами. Это может быть связано с расходом гидроксида кальция в пуццолановых реакциях, в то время как он является наиболее уязвимым компонентом при попадании сульфат-ионов [17]. Между тем этот процесс может повысить компактность торкрет-бетона, тем самым улучшая проницаемость и пористость. Такой эффект измельчения может уменьшить образование вредных соединений, таких как эттрингит и гипс. Высокое содержание оксида алюминия и низкое содержание трехкальциевого алюмината в образцах с золой-уноса не способствовало образованию эттрингита.

Однако разрушение поверхности образца с кремнеземом было наиболее интенсивным, что свидетельствует о наихудшей стойкости к сульфатному воздействию по сравнению с другими. Такое поведение обусловлено тем, что низкое содержание оксида алюминия (Al_2O_3) благоприятствовало образованию таумасита ($CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot CaSO_4 \cdot 15H_2O$) в образцах с кремнеземом, что подтверждается рентгенографическим анализом. Поскольку рентгенограмма таумасита аналогична рентгенограмме эттрингита, некоторые основные пики почти перекрываются, такие как пик $16^\circ 2\theta$. Таким образом, мы должны идентифицировать таумасит по некоторым слабым пикам, таким как $26^\circ 2\theta$ и $28^\circ 2\theta$.

Установлено, что хлорид может смягчать химическое сульфатное воздействие на материалы на основе цемента [16]. Поскольку способность к проникновению свободных хлорид-ионов выше, чем у сульфат-ионов, хлорид может сначала соединиться с C_3A и гидроксидом кальция с образованием соли Фриделя ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$) до поступления сульфата. Данные соединения могут блокировать микропоры и трещины в системе, задерживая или смягчая сульфатное воздействие на торкрет-бетонную массу.

Способность связывания хлорид-ионов может быть значительно улучшена благодаря большему содержанию гелей C-S-H (гидратированный силикат кальция) в связующих для летучей золы. Свободные хлорид-ионы могут связываться C-S-H или C-A-H (гидратированный алюминат кальция) с образованием соли Фриделя, блокируя таким образом микропоры. В результате сульфатное воздействие на торкрет-бетон может быть уменьшено в присутствии хлорида.

Торкрет-бетонные смеси, изготовленные на бинарных связующих, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента, могут способствовать сульфатному воздействию на торкрет-бетон независимо от присутствия хлорида.

Добавление золы-уноса в качестве частичной замены портландцемента оказалось действенной контрмерой для снижения степени износа поверхности. Кроме того, одновременное применение хлоридов в сульфатных растворах может смягчить вызванное сульфатами разрушение торкрет-бетона из-за эффекта блокирования, вызванного предыдущей формой соли Фриделя.

Все образцы торкрет-бетона, погруженные в растворы солей, страдали от потери прочности, что указывало на развитие деструкции (табл. 2). Максимальная потеря прочности наблюдалась у образцов, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента. Полученный результат явился прогнозируемым, поскольку образование таумасита, наряду с эттрингитом и гипсом, серьезно ухудшило коррозионную стойкость. Очевидно,

что частичная замена портландцемента золой-уноса продемонстрировала превосходную производительность при сульфатном

или сульфатно-хлоридном воздействии по сравнению с другими смесями.

Т а б л и ц а 2

	Изменение массы, %		Изменение прочности при сжатии, %	
	Na ₂ SO ₄	Na ₂ Cl	Na ₂ SO ₄	Na ₂ Cl
Образец №1	1,04	0,73	-5,51	-2,83
Образец №2	1,56	1,21	-7,12	-4,31
Образец №3	2,13	1,78	-9,81	-7,12
Образец №4	0,61	0,42	-1,83	-0,71
Образец №5	-0,71	-0,22	-15,26	-10,6

Таким образом, использование диоксида кремния в качестве частичной замены портландцемента не подходит для торкрет-бетона в средах, содержащих сульфаты. Кроме того, образцы в растворах хлоридов показали меньшую потерю прочности, чем образцы в растворах сульфатов. Эти результаты согласуются с результатами массового и визуального контроля, а также с результатами аналогичных исследований, выполненных другими учеными [14...17].

Скорость коррозии образцов определяется диффузией сульфатов и хлоридов. Метод определения диффузионной проницаемости торкрет-бетона для хлоридов основан на аналогии между диффузионным потоком вещества и электрическим током в теле бетона. Результаты определения диффузионной проницаемости для хлоридов водонасыщенных образцов сухого торкрет-бетона приведены табл. 3.

Т а б л и ц а 3

	SO ₄ ²⁻		Cl ⁻	
	на 30 сутки	на 180 сутки	на 30 сутки	на 180 сутки
Образец №1	3,3·10 ⁻¹²	2,7·10 ⁻¹²	4,5·10 ⁻¹²	3,8·10 ⁻¹²
Образец №2	4,2·10 ⁻¹²	3,5·10 ⁻¹²	7,1·10 ⁻¹²	5,7·10 ⁻¹²
Образец №3	5,8·10 ⁻¹²	4,6·10 ⁻¹²	11,6·10 ⁻¹²	8,9·10 ⁻¹²
Образец №4	1,2·10 ⁻¹²	1,1·10 ⁻¹²	1,3·10 ⁻¹²	1,2·10 ⁻¹²
Образец №5	10,5·10 ⁻¹²	7,8·10 ⁻¹²	18,7·10 ⁻¹²	13,4·10 ⁻¹²

Диффузионная проницаемость торкрет-бетона для хлоридов и сульфатов со временем по мере гидратации цемента и уплотнения бетона снижается.

Полученные результаты коррозионных испытаний позволяют рассматривать торкрет-бетон в качестве эффективной защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.

В Ы В О Д Ы

1. Выполненный анализ проблемы долговечности бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной среде предприятий текстильной и легкой промышленности, показал высокую значимость данных исследований и эффективность применения торкрет-бетонных покрытий.

2. Установлено, что образцы, модифицированные золой-уноса, продемонстрировали лучшую устойчивость к повреждению поверхности по сравнению с другими образцами. Высокое содержание оксида алюминия и низкое содержание трехвалентного алюмината в образцах с золой-уноса не способствовало образованию этtringита.

3. В целом все образцы торкрет-бетона, погруженные в растворы солей, страдали от потери прочности, что указывало на износ и повреждения. Максимальная потеря прочности наблюдалась у образцов, содержащих 10% кремнезема в качестве частичной замены портландцемента.

4. Выявлено, что использование диоксида кремния в качестве частичной замены портландцемента не подходит для торкрет-бетона в средах, содержащих сульфаты. Кроме того, образцы в растворах хлоридов

показали меньшую потерю прочности, чем образцы в растворах сульфатов. Эти результаты согласуются с результатами массового и визуального контроля, а также с результатами аналогичных исследований, выполненных другими учеными.

5. Полученные результаты коррозионных испытаний позволяют рассматривать торкрет-бетон в качестве эффективной защиты бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В.* Эксплуатационная безопасность кирпичных наружных стен предприятий текстильной промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 201...208.

2. *Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А., Новикова У.А., Строккин К.Б.* Изменение несущей способности строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 218...227.

3. *Травуш В.И., Гурьев В.В., Дмитриев А.Н., Дорофеев В.М., Волков Ю.С.* О концепции развития нормативно-технической базы строительных объектов в период их эксплуатации // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 1. С. 121...133.

4. *Римшин В.И., Лукин М.В., Рева Д.В., Рощина С.И.* Повышение энергоэффективности вспомогательных зданий текстильной промышленности за счет продления цикла жизнедеятельности сборных композитных стеновых панелей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 6 (408). С. 203...213.

5. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А.* Исследования физико-химических процессов в системе «цементный бетон – жидкая агрессивная среда» // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 7. С. 61...70.

6. *Степанова В.Ф., Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Баев С.М.* Определение коррозионной стойкости торкрет-бетона как защитного покрытия бетонных и железобетонных конструкций // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 69...73.

7. *Гусев Б.Н., Матрохин А.Ю., Грузинцева Н.А., Лысова М.А.* Обеспечение качества технического текстиля для производства строительных изделий на различных этапах жизненного цикла // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 69...78.

8. *Лысова М.А., Грузинцева Н.А., Гриценко Е.А., Гусев Б.Н.* Обеспечение необходимого уровня качества технического текстиля с учетом требований специалистов строительной отрасли // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4 (406). С. 96...102.

9. *Лысова М.А., Коробов Н.А., Грузинцева Н.А., Гусев Б.Н.* Компьютерное исследование процесса коагуляции нетканых геотекстильных полотен при дренировании объектов строительства // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2021. № 2 (392). С. 113...117.

10. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Караваев И.В.* Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из бетона, содержащего гидрофобизирующие добавки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 6 (372). С. 268...276.

11. *Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Ouan Z., Zhao S. and Niu L.* The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*. 2000. vol. 42. issue 10. pp. 1669-1683. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)

12. *Yang Z., Li Q., Liu M. etc.* Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17. e01509. – DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01509

13. *Fedosov S.V., Bulgakov B.I., Krasilnikov I.V., Hung N.X., Lam T.V.* Forecast of the durability of shore structures made of reinforced concrete // *Solid State Phenomena*. 2022. Т. 334. С. 217...224.

14. *Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A.* Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // *Construction and Building Materials*, 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879

15. *Smirnova N.N. Krasil'nikov I.V.* An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. Т. 92. № 11. С. 1570...1580. – DOI: 10.1134/S1070427219110144

16. *Fedosov S., Roumyantseva V., Krasilnikov I., Krasilnikova I.* Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Т. 403 LNNS. С. 1362...1370. – DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_152

17. *Chukhlanov V., Smirnova N., Krasilnikova I., Chukhlanova N.* Heat-conducting and dielectric characteristics of polyorganosiloxane composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2023. № 6 (122). С. 12203.

18. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konvalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 7 (83). С. 198...207. – DOI: 10.18720/MCE.83.18

REFERENCES

1. *Korol E.A., Kustikova Yu.O., Shenbereva A.V.* Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 3 (405). pp. 201...208.

2. *Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A., Novikova U.A., Strokin K.B.* Changing the bearing capacity of building structures of textile and light industry enterprises // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 2 (404). pp. 218...227.
3. *Travush V.I., Guryev V.V., Dmitriev A.N., Dorofeev V.M., Volkov Yu.S.* About the concept of development of the regulatory and technical base of construction objects during their operation // *Academia. Architecture and construction*. 2021. No. 1. pp. 121...133.
4. *Rimshin V.I., Lukin M.V., Reva D.V., Roshchina S.I.* Improving the energy efficiency of auxiliary buildings of the textile industry by extending the life cycle of prefabricated composite wall panels // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. № 6 (408). pp. 203...213.
5. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A.* Research of physical and chemical processes in the system "cement concrete – liquid aggressive environment" // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 7. P. 61...70.
6. *Stepanova V.F., Rosenthal N.K., Chekhov G.V., Baev S.M.* Determination of corrosion resistance of shotcrete as a protective coating of concrete and iron-concrete structures // *Building materials*. 2018. No. 8. pp. 69...73.
7. *Gusev B.N., Matrokhin A.Yu., Gruzintseva N.A., Lysova M.A.* Quality assurance of technical textile for the manufacture of building products at different stages of the life cycle *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. No. 2 (404). pp. 69...78.
8. *Lysova M.A., Gruzintseva N.A., Gritsenko E.A., Gusev B.N.* Ensuring the required level of technical textile quality taking into account the requirements of specialists of construction industry // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2023. No. 4 (406). pp. 96...102.
9. *Lysova M.A., Korobov N.A., Gruzintseva N.A., Gusev B.N.* Computer study of the process of colmatation of nonwoven geotextile fabrics during draining of construction objects // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2021. No. 2 (392). pp. 113...117.
10. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Karavaev I.V.* Determination of the resource of safe operation of concrete structures containing hydrophobic additives // *Izvestiya Vysshih Uchebnyh Zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*. 2017. № 6 (372). pp. 268...276.
11. *Ma H., Cheng X., Li G., Chen S., Ouan Z., Zhao S. and Niu L.* The influence of hydrogen sulfide on corrosion of iron under different conditions. *Corrosion Science*. 2000. vol. 42. issue 10. pp. 1669...1683. – [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(00\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(00)00003-2)
12. *Yang Z., Li Q., Liu M. etc.* Efflorescence inhibition and microstructure evolution of Portland cement-based artificial stone induced by mineral additives // *Case Studies in Construction Materials*. 2022. Vol. 17. e01509. – DOI: 10.1016/j.cscm.2022.e01509
13. *Fedosov S.V., Bulgakov B.I., Krasilnikov I.V., Hung N.X., Lam T.V.* Forecast of the durability of shore structures made of reinforced concrete // *Solid State Phenomena*. 2022. T. 334. p. 217...224.
14. *Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A.* Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO2 corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // *Construction and Building Materials*, 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879
15. *Smirnova N.N. Krasil'nikov I.V.* An effect of the nature of immobilized components on the adsorption and mass transfer properties of ultrafiltration membranes based on sulfonate-containing copolyamide // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019. T. 92. № 11. P. 1570...1580. – DOI: 10.1134/S1070427219110144
16. *Fedosov S., Roumyantseva V., Krasilnikov I., Krasilnikova I.* Research of the engagement of liquid aggressive environment and concrete // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. T. 403 LNNS. P. 1362...1370. – DOI: 10.1007/978-3-030-96383-5_152
17. *Chukhlanov V., Smirnova N., Krasilnikova I., Chukhlanova N.* Heat-conducting and dielectric characteristics of polyorganosiloxane composites // *Magazine of Civil Engineering*. 2023. № 6 (122). P. 12203.
18. *Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S.* Mathematical modeling of the colmatation of concrete pores during corrosion // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. № 7 (83). P. 198...207. – DOI: 10.18720/MCE.83.18

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 11.02.24.