

Academia. Архитектура и строительство, № 4, стр. 125–132.

Academia. Architecture and Construction, no. 4, pp. 125–132.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 691-4

DOI: 10.22337/2077-9038-2025-4-125-132

## Сопротивление строительных композитов агрессивным физико-химическим и биологическим средам и теоретические основы его прогнозирования и повышения. Часть 2. О некоторых способах повышения физико-химического и биологического сопротивления строительных композитов

**Федорцов Анатолий Петрович** (Москва). Кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21. НИИСФ РААСН). Эл. почта: antolij.fedortsov@mail.ru

**Богатов Андрей Дмитриевич** (Саранск). Кандидат технических наук, доцент. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарёва (Россия, 430005, Саранск, ул. Большевикская, д. 68. МГУ им. Н.П. Огарева). Эл. почта: bogatovad@list.ru

**Федорцов Владислав Анатольевич** (Москва). Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21. НИИСФ РААСН).

**Ерофеев Владимир Трофимович** (Москва). Доктор технических наук, профессор, академик РААСН. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ); Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (Россия, 127238, Москва, Локомотивный проезд, 21. НИИСФ РААСН). Эл. почта: erofeevvt@bk.ru

*Аннотация.* В статье приводится обобщение экспериментальных и теоретических исследований, касающихся способов повышения физико-химического и биологического сопротивления строительных композитов.

Установлена возможность повышения сопротивления материалов за счёт оптимизации технологических режимов их получения, введения в состав активных по отношению к средам веществ, а также уплотнения структуры тонкодисперсными наполнителями.

Теоретические и экспериментальные исследования по повышению физико-химического сопротивления строительных композитов активными добавками позволили сделать вывод, что сопротивление композита при действии агрессивных сред включает пассивную и активную составляющие. Пассивное сопротивление характеризуется физико-химической инертностью к среде компонентов композита и плотностью его структуры, а активное – его внутренними активными ресурсами, способными обеспечивать силу и продолжительность процессов, направленных на ослабление воздействия и сохранение материала.

*Ключевые слова:* строительные композиты, проницаемость, диффузия, реакция, коррозия, массоперенос, агрессивная среда, прогнозирование

*Для цитирования.* Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А., Ерофеев В.Т. Сопротивление строительных композитов агрессивным физико-химическим и биологическим средам и теоретические основы его прогнозирования и повышения. Часть 2. О некоторых способах повышения физико-химического и биологического сопротивления строительных композитов // Academia. Архитектура и строительство. – 2025. – № 4. – С. 125–132. – DOI: 10.22337/2077-9038-2025-4-125-132.

## Resistance of Building Composites Aggressive Environments and Theoretical Bases for Its Forecasting and Increase. Part 2. On Some Methods for Increasing the Physical, Chemical and Biological Resistance of Building Composites

**Fedortsov Anatolii P.** (Moscow). Candidate of Sciences in Technology, Docent, Senior researcher. The Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia. NIISF RAASN). E-mail: antolij.fedortsov@mail.ru

**Bogatov Andrei D.** (Saransk). Candidate of Sciences in Technology, Docent. National Research Ogarev Mordovia State University (68 Bolshevistskaya St, Saransk. 430005, Russia. MRSU). E-mail: bogatovad@list.ru

**Fedortsov Vladislav A.** (Moscow). The Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia . NIISF RAASN).

**Erofeev Vladimir T.** (Moscow). Doctor of Sciences in Technology, Professor, Academician of RAACS. National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU); The Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (21, Lokomotivny proezd, Moscow, 127238, Russia. NIISF RAASN). E-mail: erofeevt@bk.ru.

*Abstract.* The article summarizes experimental and theoretical studies on ways to increase the physical, chemical, and biological resistance of building composites. It has been established that the resistance of materials can be increased by optimizing the technological processes of their production, incorporating substances that are active in relation to the environment, and compacting the structure with fine-grained fillers.

Theoretical and experimental studies on increasing the physical and chemical resistance of building composites with active additives have led to the conclusion that the resistance of a composite to aggressive environments includes passive and active components. Passive resistance is characterized by the physical and chemical inertness of the composite's components to the environment and the density of its structure, while active resistance is characterized by its internal active resources that can provide the strength and duration of processes aimed at reducing the impact and preserving the material.

*Keywords:* building composites, permeability, diffusion, reaction, corrosion, mass transfer, aggressive environment, forecasting

*For citation.* Fedortsov V.A., Fedortsov A.P., Bogatov A.P., Erofeev V.T. Resistance of Building Composites Aggressive Environments and Theoretical Bases for Its Forecasting and Increase. Part 2. On Some Methods for Increasing the Physical, Chemical and Biological Resistance of Building Composites. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2025, no. 4, pp, 125–132, doi: 10.22337/2077-9038-2025-4-125-132.

Под физико-химическим сопротивлением строительных композитов в общем случае понимается их способность сопротивляться изменениям под влиянием окружающей среды во время образования или эксплуатации. Если при эксплуатации композита действуют агрессивные среды, то физико-химическое сопротивление материала определяется способностью сопротивляться их воздействию с сохранением в установленных пределах основных показателей качества, размеров и формы [1]. Известно, что эта способность зависит от плотности и инертности структуры материала.

Проникновение агрессивной среды всегда опережает химические взаимодействия. Нет проникновения среды, а значит, нет снижения показателя сопротивления от её физических и химических воздействий. По такому же механизму протекает разрушение строительных материалов в зданиях и

сооружениях с биологически активными средами, в том числе в помещениях с различными загрязнениями, служащими питательной средой для микроорганизмов. В этом случае микроорганизмы, размножаясь на изделиях, воздействуют на материал за счёт проникновения гифов и продуктов их метаболизма [2; 3].

Очевидно повышение плотности структуры композита всегда будет способствовать повышению его физико-химического сопротивления независимо от активности связующего вещества. Однако в строительной практике находят применение композиты различной плотности. Часто в этих случаях допускается их проницаемость средой, но больше внимания уделяется сохранению основы от химического разрушения.

Известно, что наибольшее применение в строительном производстве находят цементные композиты. Возникает на-

учный и практический интерес к возможности продления их срока эксплуатации путём введения активных к агрессивной среде добавок в незначительном количестве.

В предлагаемой работе приводится обобщение экспериментальных и теоретических исследований по повышению сопротивления строительных композитов агрессивным средам путём использования активных добавок – их совмещением между собой, и другими способами. В качестве композитов были приняты цементные бетоны и полимербетоны, то есть материалы с различной активностью связующего вещества. Применение активных добавок для повышения физико-химического сопротивления цементных бетонов, содержащих активное связующее вещество, преследовало также цель доказать, что любая система (материал), даже активная, стремится к сохранению своих структурообразующих элементов, используя для защиты свободные или частично связанные вещества. При этом для решения поставлены следующие задачи:

- определить условия применения активных добавок, в том числе в комплексе с другими способами, для повышения физико-химического сопротивления строительных композитов;

- определить и систематизировать влияние на физико-химическое сопротивление строительных композитов совмещения факторов, когда каждый фактор в отдельности способствует повышению коррозионной стойкости.

Для получения химически стойкого материала, независимо от проницаемости, необходимо наличие прочных и химически стойких связей между всеми его структурообразующими микро- и макроэлементами. В общем случае повышение показателя химического сопротивления материала (без учёта потерь его прочности от физического воздействия) можно добиться выполнением условия [1]:

$$V_x \ll V_n, \tag{1}$$

где  $V_x$  - скорость химического взаимодействия;  $V_n$  - скорость проникновения среды.

Повышение плотности структуры строительных композитов, а соответственно – уменьшение проницаемости агрессивной среды, одно из основных условий повышения их физико-химического сопротивления. Сопротивление плотных структур в этом случае можно повысить ещё больше, если в их составы будут введены активные к агрессивной среде добавки или наполнители, а также вещества, способные отталкивать проникающие среды. Известны, например, способы повышения физико-химического сопротивления строительных композитов путём введения в составы материалов буферных смесей (в цементные композиты), ионообменных веществ (в полимербетоны), восстановителей (в цементные композиты), мелкодисперсных металлов различной активности (в полимербетоны), добавок, образующих нерастворимые соединения при взаимодействии с агрессивной средой (в полимербетоны и цементные композиты), биоцидных добавок [1–16].

Заслуживают также большого внимания способы повышения долговечности бетонов модифицирующими микробиологическими добавками [16–18]. Биоцидные добавки подавляют рост микроорганизмов за счёт нарушения клеточной структуры, ингибирования активности продуцируемых ферментов и угнетения других механизмов их жизнедеятельности.

В основе повышения сопротивления строительных композитов воздействию агрессивных сред путём введения в их составы активных веществ лежит объективная закономерность: если агрессивная среда частично или полностью связывается введёнными добавками, то содержание находящихся в ней агрессивных веществ, вступающих в контакт со структурообразующими компонентами материала в различной степени, будет уменьшаться, что равносильно уменьшению проницаемости [14]:

$$V_x + V_c \leq V_n, \tag{2}$$

где  $V_x$  – скорость химического взаимодействия,  $V_n$  – скорость проникновения среды,  $V_c$  – скорость связывания проникающего вещества добавками.

При  $V_c = V_n$  скорость химического взаимодействия агрессивной среды со структурообразующими составляющими материала равна нулю, то есть  $V_x = 0$ . Очевидно активные добавки будут являться эффективными при малой проницаемости материала, то есть при большой его плотности. В этом случае время расхода активного вещества добавки возрастает, а соответственно и более длительно выполняется условие, когда количество переносимого активного вещества добавки в эквивалентном соотношении не меньше переносимого компонента агрессивной среды, то есть:

$$D_{Э,Д} k_э \frac{\partial c}{\partial x} ds dt \geq D_{Э,А} \frac{\partial c_A}{\partial x_A} ds_A dt, \tag{3}$$

где  $D_{Э,Д} k_э \frac{\partial c}{\partial x} ds dt$  – количество активного вещества, переносимого за время  $dt$  через единицу поверхности издоль  $ds$ , не подвергнутой коррозии и нормальной к оси  $x$ ;  $D_{Э,А} \frac{\partial c_A}{\partial x_A} ds_A dt$  – то же агрессивной среды через единицу внутренней поверхности  $ds_A$  слоя, подвергнутого коррозии;  $c$  и  $c_A$  – концентрация соответственно активного вещества и агрессивной среды в точках  $x$  и  $x_A$  в момент времени  $t$ ;  $D_{Э,Д}$  и  $D_{Э,А}$  – эффективные коэффициенты диффузии соответственно активного вещества добавки и агрессивной среды;  $k_э$  – коэффициент эквивалентности.

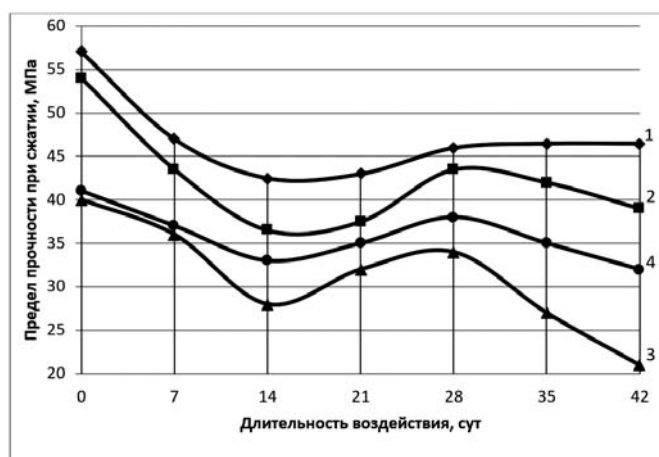
В противном случае, то есть при пористой структуре материала, при взаимодействии с агрессивными средами добавки быстро расходуются. Очевидно повышение плотности структуры композита будет способствовать повышению его прочности и коррозионной стойкости.

Сопротивление материала возрастает, если постоянно пополнять его активные ресурсы [19]. Меняя поток активной среды

извне, можно контролировать процесс коррозии композита и направлять развитие структур к состояниям, далёким от равновесного состояния с окружающей средой. Данное обстоятельство позволило разработать способ повышения физико-химического сопротивления цементных композитов путём подачи внутрь конструкции активных к агрессивным средам веществ [20].

Ранее было отмечено, что плотность строительных композитов, а следовательно и их физико-химическое сопротивление, можно повысить путём введения в составы активных добавок или наполнителей, способных взаимодействовать с агрессивными средами с образованием нерастворимых уплотняющих структуру соединений. Известно также, что одним из основных способов повышения плотности цементных композитов, как наиболее применяемых материалов в строительном производстве при обеспечении необходимой подвижности смесей, является введение в их составы пластифицирующих добавок, в том числе суперпластификаторов.

Эффективность добавки возрастает при совмещении нескольких факторов, направленных на повышение коррозионной стойкости материала. Так, например, исследования по применению комплексных активных добавок для защиты цементных композитов от воздействия растворов серной кислоты слабой концентрации подтверждают это положение [10]. В состав добавки входили: карбонат бария ( $BaCO_3$ ), при взаимодействии которого с растворами серной кислоты образуется без изменения объёма нерастворимый, уплотняющий поверхностные слои сульфат бария ( $BaSO_4$ ), а также смеси, состоящие из слабой кислоты и её соли, образующие буферные системы. Согласно исследованиям, коэффициенты стойкости композитов с данными добавками в 1,5-2 раза больше по сравнению с бездобавочным материалом.



1 – цементный камень из теста с В/Ц = 0,34 с комплексной добавкой (0,1 % кислоты, 0,1 % соли и 0,7 % суперпластификатора от массы цемента);

2 – то же с добавкой 0,7 % пластификатора от массы цемента;

3 – цементный камень из теста с В/Ц = 0,42 без добавки;

4 – то же с добавкой 0,1 % кислоты и 0,1 % соли от массы цемента

Рис. 1. Влияние добавок на изменение прочности цементного камня при выдержке в 2-процентной серной кислоте (источник: [14])

Для разработки водостойких композиций на основе полиэфирной смолы ПН-1, кроме активного к воде и полимеру наполнителя – цемента, в состав материала вводился гидрофобный графит [4; 21]. В результате совмещения этих наполнителей на пути проникновения воды в структуру материала создаются физические и химические барьеры. К тому же образующиеся при гидратации цемента продукты, в частности, гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, будут приводить к упрочнению материала.

Позитивное влияние совмещения факторов видно и при исследовании коррозионной стойкости цементного камня, в который вводили при изготовлении комплексную добавку ПФМ-НЛК, содержащую пластифицирующее, воздухововлекающее, гидрофобизирующее вещества и комплексную добавку – боратную буферную систему, включающую активные к агрессивной среде составляющие: борную кислоту и тетраборат натрия [14].

Действие агрессивной среды на материал ослабляется в результате уменьшения проницаемости из-за повышения плотности структуры, её гидрофобизации и взаимодействия среды с активной водорастворимой добавкой.

Из рисунка 1 видно, что цементный камень с комплексной добавкой, содержащей борную кислоту, тетраборат натрия и суперпластификатор ПФМ-НЛК, имеет более высокую прочность на протяжении воздействия 2-процентной серной кислотой. Кроме того, цементный камень этого состава в течение последних двух недель выдержки не теряет прочности в агрессивной среде. С уменьшением факторов, позитивно влияющих на сохранение прочности материала в агрессивной среде, его коррозионная стойкость уменьшается. Особенность комплексных добавок очевидна. Она состоит в том, что если каждый фактор, в том числе и добавка с направленным действием, в отдельности способствует улучшению свойства, то при совместном их действии эффект становится больше.

Вышеуказанные принципы были использованы при получении на основе вторичных ресурсов, состоящих из отходов стекла, керамических материалов и щелочного компонента, природоподобных строительных материалов [26]. Последний является при этом затворителем стеклощелочных бетонных смесей. В результате формирования композита из вышеперечисленных компонентов при варьировании рецептуры достигается получение материала близкого по минералогическому составу природным алюмосиликатным минералам. Повышенный уровень водородного показателя системы, являющийся неблагоприятным для роста и размножения микроскопических организмов, способствует приданию бицидных свойств бетонам на её основе [2].

Востребованными являются бетоны архитектурно-декоративного назначения, содержащие в своём составе карбонатные наполнители, в том числе на основе отсевов дробления известняка и доломита. Применение вышеуказанных наполнителей, введённых в количестве 70-80 %

позволяет заменить белый цемент на обычный. Большую грибостойкость продемонстрировали цементные композиты с включением в их состав, наряду с наполнителем из кварцевого песка, наполнителя из органогенного известняка, а также пигмента – сурика железного. Меньшую и примерно равную грибостойкость во всем диапазоне варьирования состава и дисперсности наполнителя показали цементные композиты, в составы которых были включены наполнители из кварцевого песка, а также известняка и доломита [23–25].

Также исследования показали, что направленными факторами могут быть не только добавки в строительные композиты или наполнители, но и другие технологические приёмы, улучшающие их свойства, например, условия отвердевания. В работе [15] установлено, что стойкость пропаренного цементного камня в 2-процентной серной кислоте как с добавкой продукта распада цемента в серной кислоте, так и без добавки значительно выше, чем камня нормального твердения. Примем во внимание два фактора, влияющих на кислотостойкость цементного камня. Один фактор – влияние добавки, другой – влияние условий отвердевания. Факторы проявляют взаимообусловленное действие. Поскольку пропарка цементного камня по сравнению с отвердеванием в нормальных условиях повышает кислотостойкость, то можно ожидать и большего эффекта при совмещении действия добавки и пропарки, что и было подтверждено экспериментально (см. [15]).

\* \* \*

На основании вышесказанного можем констатировать:

1. Исследование показало, что сопротивление композитов при действии агрессивных сред включает пассивную и активную составляющие. Пассивное сопротивление характеризуется физико-химической инертностью к среде компонентов композита и его плотностью, а активное – его внутренними активными ресурсами, способными обеспечивать силу и продолжительность процессов, направленных на ослабление воздействия и сохранение материала. При этом активное сопротивление материала можно повысить введением в составы активных к агрессивным средам веществ. Их применение в технологии получения композитов позволит увеличить долговечность и приспособленность структур материала.

2. Активные добавки будут являться эффективными при малой проницаемости материала, то есть при большой его плотности. В этом случае время расхода активного вещества добавки возрастает, а соответственно и более длительно выполняется условие, когда количество переносимого активного вещества добавки в эквивалентном соотношении не меньше переносимого компонента агрессивной среды.

3. Физико-химическое сопротивление строительных композитов возрастает с увеличением факторов, способствующих сохранению его показателя. В качестве таких факторов могут быть добавки, наполнители, элементы технологического режима, например, условия отвердевания. При этом реализуется положение, если каждый фактор, в том числе и добавка

с направленным действием, в отдельности способствует улучшению свойства, то при совместном их действии эффект становится больше.

4. На основании фактов повышения физико-химического сопротивления цементных композитов, содержащих активные связующие вещества, за счёт присутствия в композитах незначительного количества активных добавок, а также предположений, приведённых в работе [22], можно сделать вывод, что для систем (материалов) при взаимодействиях с агрессивными средами приоритетны процессы, которые стремятся сохранить их основные структурообразующие элементы и связи между ними. В этой связи повышение сопротивления материальных искусственных систем воздействиям можно достичь путём введения свободных или частично связанных веществ, способных активно взаимодействовать с агрессивными средами и (или) препятствовать их проникновению.

5. С точки зрения повышения химико-биологического сопротивления бетонов выделены стеклощелочные композиты (природоподобные материалы), являющиеся близкими по минералогическому составу природным алюмосиликатным минералам.

#### Список источников

1. Федорцов, А.П. Физико-химическое сопротивление строительных композитов и способы его повышения : монография / А.П. Федорцов. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2015. – 464 с. – Текст : непосредственный.

2. Оценка коррозии стеклощелочных композитов, прогнозирование их физико-химического сопротивления и способы его повышения / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов [и др.]. – Текст : электронный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 2. – С. 238–246. – URL: [https://tftp.vgpu.com/wp-content/uploads/2018/08/374\\_49.pdf](https://tftp.vgpu.com/wp-content/uploads/2018/08/374_49.pdf) (дата обращения 20.10.2025).

3. Development and Research of Methods to Improve the Biosustainability of Building Materials / Erofeev V.T., Smirnov V.F., Dergunova A.V. [и др.] // Materials Science Forum. – 2020. – Vol., P. 305–311. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/337787107\\_Development\\_and\\_Research\\_of\\_Methods\\_to\\_Improve\\_the\\_Biosustainability\\_of\\_Building\\_Materials](https://www.researchgate.net/publication/337787107_Development_and_Research_of_Methods_to_Improve_the_Biosustainability_of_Building_Materials) (дата обращения 20.10.2025).

4. Федорцов, А.П. Исследование химического сопротивления и разработка полиэфирных полимербетонов, стойких к электролитам и воде : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.П. Федорцов. – Ленинград, 1981. – 20 с. – Текст : непосредственный.

5. Соломатов, В.И. Позитивный эффект коррозии полимербетонов / В.И. Соломатов, А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Бетон и железобетон. – 1981. – № 2. – С. 20 – 21.

6. Соломатов, В.И. Цементные растворы с буферными системами / В.И. Соломатов, С.В. Дудынов, А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1995. – № 7-8. – С. 54–58.

7. Федорцов, А.П. Улучшение свойств цементного камня путем введения добавок, образующих буферные системы / А.П. Федорцов, Л.М. Ошкина, В.И. Соломатов // Вестник Мордовского университета. – 1998. – № 3-4. – С. 101–105.
8. Федорцов, А.П. Повышение химической стойкости цементного камня введением добавки хлорида бария / А.П. Федорцов, Л.М. Ошкина. – Текст : непосредственный // Долговечность строительных материалов и конструкций : Материалы научно-практической конференции. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2001. – С. 97–100.
9. Федорцов, А.П. Позитивная коррозия бетонов как предпосылка улучшения их свойств агрессивными воздействиями / А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Вестник Мордовского университета. – 2002. – № 1-2. – С. 152–156.
10. Комплексные добавки для защиты бетона от коррозии / А.П. Федорцов, В.В. Фомченков, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина. – Текст : электронный // Актуальные вопросы строительства : Материалы Международной научно-технической конференции. Саранск : Издательство Мордовского университета, 2004. – С. 301–304.
11. Федорцов, А.П. Повышение кислотостойкости цементного материала добавкой восстановителя – гипофосфита натрия / А.П. Федорцов, А.Ф. Андронов, В.Т. Ерофеев. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы строительства : Материалы Международной научно-технической конференции. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2008. – С. 209–212.
12. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, А.Д. Богатов, В.А. Федорцов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017, №6 (702). – С. 5–14.
13. Федорцов, А.П. Теоретические основы повышения физико-химического сопротивления строительных композитов ионообменными добавками / А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : Материалы Международной научно-технической конференции. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2018. – С. 452 – 455.
14. Improving the Strength and Resistance of Cement Composites to the External Environment by Utilizing Complex Additives / A.P. Fedortsov, V.A. Fedortsov, M.V. Ashchepkov, K.V. Rusakov, S.S. Gladkin, V.T. Erofeev. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences. – 2021. – Т. 281. – С. 03014. – URL: <https://clck.ru/3NRLdX> (дата обращения 01.08.2025).
15. Ерофеев, В.Т. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками / В.Т. Ерофеев, А.П. Федорцов, В.А. Федорцов. – Текст : непосредственный // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 2 (88). – С. 51–60.
16. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / В.Т. Ерофеев, П.Г. Комохов, В.Ф. Смирнов [и др.] ; под общ. ред. П.Г. Комохова, В.Т. Ерофеева, Г.Е. Афиногенова. – Санкт-Петербург : Наука, 2009. – 192 с.
17. Ерофеев, В.Т. Повышение долговечности и экологичности зданий и сооружений текстильной промышленности путём применения материалов, модифицированных микробиологической добавкой / В.Т. Ерофеев, С.Д.С. Аль Дулайми, А.В. Дергунова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 3 (393). – С. 141–146.
18. Biocidal Properties of Gypsum Stone Modified with *Reynoutria sachalinensis* Raw / Zemskova, O., Erofeev, V., Samchenko [и др.]. – Текст : электронный // BioResources. – 2024. – № 19 (4). – P. 8912–8919. – URL: <https://clck.ru/3Q2RyC> (дата обращения 01.08.2025).
19. Соломатов, В.И. Химически стойкие активные изделия / В.И. Соломатов, А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Экологические аспекты производства строительных материалов : Материалы межвузовской научно-технической конференции. – Пенза : ПИСИ, 1992. – С. 96–98.
20. Соломатов В.И., Федорцов А.П., Новичков П.И., Аблицимов С.А. Способ защиты строительных изделий и конструкций : А. с. 1662990 СССР, М. кл. С04В41/63 : № 4495099/33. опубл. 15.07.91, Бюл. № 26.
21. Соломатов В.И., Федорцов А.П., Селяев В.П., Ерофеев В.Т. Полимербетонная смесь : А. с. 966074 СССР, М. кл. С04В25/02./В : № 3271823/29-33. Опубл. 07.06.81, Бюл. № 38.
22. Федорцов, А.П. О сохранении материалом (системой) структурообразующих элементов и связей при воздействиях / А.П. Федорцов. – Текст : непосредственный // Актуальные вопросы архитектуры и строительства : материалы Двадцать первой Международной научно-технической конференции, посвящённой 60-летию Института архитектуры и строительства Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2022. – С. 166–175.
23. Erofeev, V. Biological Resistance Of Cement Composites Filled With Limestone Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov. – Текст : электронный // Solid State Phenomena. – 2016. – № 871. – С. 22-27. – URL: <https://clck.ru/3Q2SoK> (дата обращения 01.08.2025).
24. Biological Resistance Of Cement Composites Filled With Dolomite Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [и др.]. – Текст : электронный // Solid State Phenomena. – 2016. – № 871. – С. 33–39. (дата обращения 01.08.2025).
25. The Use of Copper Nanomodified Calcium Carbonate as a Bactericidal Additive for Concrete / Sharafutdinov K.B., Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T. – Текст : электронный // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2022. – № 18 (2). – С. 143–155. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50083775> (дата обращения 01.08.2025).
26. Ерофеев, В.Т. Строительные материалы на основе отходов стекла / В.Т. Ерофеев, Ю.М. Баженов, А.Д. Богатов [и др.]. – Саранск : Издательство Мордовского университета, 2005. – 120 с.

## References

1. Fedortsov A.P. Fiziko-khimicheskoe soprotivlenie stroitel'nykh kompozitov i sposoby ego povysheniya [Physicochemical Resistance of Building Composites and Methods for Its Improvement], Monograph. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2015, 464 p. (In Russ.)
2. Erofeev, V.T., Fedortsov, A.P., Bogatov, A.D., Fedortsov, V.A., Gusev, B.V. Otsenka korrozii stekloshchelochnykh kompozitov, prognozirovaniye ikh fiziko-khimicheskogo soprotivleniya i sposoby ego povysheniya [Evaluation of Corrosion of Alkaliglass Composites, Predicting Their Physico-Chemical Resistance and Ways to Improve It]. In: *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2018, no. 2, pp 238–246. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Dergunova A.V., Bogatov A.D., Letkina N.V. Development and Research of Methods to Improve the Biosustainability of Building Materials. In: *Materials Science Forum*, 2020, Vol. 974, pp. 305–311. (In Engl.)
4. Fedortsov A. P. Issledovanie khimicheskogo soprotivleniya i razrabotka poliefirnykh polimerbetonov, stoikikh k elektrolitam i vode [Study of Chemical Resistance and Development of Polyester Polymer Concretes Resistant to Electrolytes and Water], abstract. dis. cand. of technical sciences. Leningrad, 1981, 20 p. (In Russ.)
5. Solomatov V.I., Fedortsov A P. Pozitivnyi effekt korrozii polimerbetonov [Positive Effect of Polymer Concrete Corrosion]. In: *Beton i zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*, 1981, no. 2, pp. 20–21. (In Russ.)
6. Solomatov V.I. Dudynov S.V., Fedortsov A.P. Tsementnye rastvory s bufernymi sistemami [Cement Mortars with Buffer Systems]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 1995, no. 7-8, pp. 54–58. (In Russ.)
7. Fedortsov A.P., Oshkina L.M., Solomatov V.I. Uluchsheniye svoystv tsementnogo kamnya putem vvedeniya dobavok, obrazuyushchikh bufernye sistemy [Improving the Properties of Cement Stone by Introducing Additives That Form Buffer Systems]. In: *Vestnik Mordovskogo universiteta [Mordovia University Bulletin]*, 1998, no. 3-4, pp. 101–105. (In Russ.)
8. Fedortsov A.P., Oshkina L.M. Povysheniye khimicheskoi stoikosti tsementnogo kamnya vvedeniem dobavki khlorida bariya [Increasing the Chemical Resistance of Cement Stone by Introducing Barium Chloride Additive]. In: *Dolgovechnost' stroitel'nykh materialov i konstruksii [Durability of building materials and structures]*, Proceedings of the scientific and practical conference. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2001, pp. 97–100. (In Russ.)
9. Fedortsov A.P. Pozitivnaya korroziya betonov kak predposylka uluchsheniya ikh svoystv agressivnymi vozdeistviyami [Positive Corrosion of Concrete as a Prerequisite for Improving Their Properties by Aggressive Effects]. In: *Vestnik Mordovskogo universiteta [Bulletin of the Mordovian University]*, 2002, no. 1-2, pp. 152–156. (In Russ.)
10. Fedortsov A.P., Fomchenkov V.V., Erofeev V.T., Mitina E.A. Kompleksnye dobavki dlya zashchity betona ot korrozii [Complex Additives for Concrete Corrosion Protection]. In: *Aktual'nye voprosy stroitel'stva [Actual Issues of Construction]*, Proceedings of the International scientific and technical conference. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2004, pp. 301–304. (In Russ.)
11. Fedortsov A.P., Andronov A.F., Erofeev V.T. Povysheniye kislotostoikosti tsementnogo materiala dobavkoi vosstanovitelya – gipofosfita natriya [Increasing the Acid Resistance of Cement Material by Adding a Reducing Agent – Sodium Hypophosphite]. In: *Aktual'nye voprosy stroitel'stva [Actual Issues of Construction]*, Proceedings of the International scientific and technical conference. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2008. – S. 209 – 212. (In Russ.)
12. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Otsenka i prognozirovaniye fiziko-khimicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i sposoby ego povysheniya [Assessment and Forecasting of Physical and Chemical Resistance of Glass Alkali Composites and Methods of His Increase]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]*, 2017, no. 6 (702), pp. 5–14. ((In Russ., abstr. in Engl.)
13. Fedortsov A.P. Teoreticheskie osnovy povysheniya fiziko-khimicheskogo soprotivleniya stroitel'nykh kompozitov ionoobmennymi dobavkami [Theoretical Basis for Increasing the Physical and Chemical Resistance of Building Composites Using Ion-Exchange Additives]. In: *Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'stva [Actual Issues of Architecture and Construction]*, Proceedings of the International scientific and technical conference. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2018, pp. 452–455. (In Russ.)
14. Fedortsov A.P., Fedortsov V.A., Ashchepkov M.V., Rusakov K.V., Gladkin S.S., Erofeev V.T. Improving the Strength and Resistance of Cement Composites to the External Environment by Utilizing Complex Additives. In: *E3S Web of Conferences*, 2021, Vol. 281, p. 03014. URL: <https://clck.ru/3NRLdX> (Accessed 08/01/2025). (In Engl.)
15. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Fedortsov V.A. Povysheniye korrozionnoi stoikosti tsementnykh kompozitov aktivnymi dobavkami [The Increasing of Corrosive Resistance of Cement Composites by Active Additives]. In: *Stroitel'stvo i rekonstruksiya [Building and Reconstruction]*, 2020, no. 2 (88), pp. 51–60. (In Russ., abstr. in Engl.)
16. Erofeev V.T., Komokhov P.G., Smirnov V.F., Svetlov D.A. [et al.]. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot mikrobiologicheskikh povrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina [Protection of Buildings and Structures from Microbiological

Damage by Biocidal Preparations Based on Guanidine], P.G. Komokhov, V.T. Erofeev (tot.ed.). Saint Petersburg, Nauka Publ., 2009, 192 p. (In Russ.)

17. Erofeev V.T. AL' Dulaimi S.D.S., Dergunova A.V. Povyshenie dolgovechnosti i ekologichnosti zdaniy i sooruzheniy tekstil'noi promyshlennosti putem primeneniya materialov, modifitsirovannykh mikrobiologicheskoi dobavkoi [Improving the Durability and Environmental Friendliness of Buildings and Structures in the Textile Industry by Using Materials Modified with a Microbiological Additive]. In: *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti [Proceedings of Higher Education Institutions. Textile Industry Technology]*, 2021, no. 3 (393), pp. 141–146. (In Russ., abstr. in Engl.)

18. Zemskova, O., Erofeev, V., Samchenko, S., Kozlova, I., Dudareva, M., & Korshunov, A. Biocidal Properties of Gypsum Stone Modified with *Reynoutria sachalinensis* Raw. In: *BioResources*, 2024, Vol. 19, no. 4, pp. 8912–8919. URL: <https://clck.ru/3Q2RyC> (Accessed 08/01/2025) (In Engl.)

19. Solomatov V.I., Fedortsov A.P. Khimicheski stoikiye aktivnye izdeliya [Chemically Resistant Active Products]. In: *Ekologicheskie aspekty proizvodstva stroitel'nykh materialov [Ecological Aspects of Production of Building Materials]*, Proceedings of the interuniversity scientific and technical conference. Penza, PISI Publ., 1992, pp. 96–98. (In Russ.)

20. Solomatov V.I., Fedortsov A.P., Novichkov P.I., Ablisimov S.A. Sposob zashchity stroitel'nykh izdeliy i konstruktsii [Method of protection of building products and structures], A. s. 1662990 SSSR, M. kl. S04V41/63, № 4495099/33. Publ. 07/15/91, Byul. № 26. (In Russ.)

21. Solomatov V.I., Fedortsov A.P., Selyaev V.P., Erofeev V.T. Polimerbetonnaya smes' [Polymer Concrete Mixture], A. s. 966074 SSSR, M. kl. S04V25/02./V, № 3271823/29-33. Publ. 06/07/81, Byul. № 38. (In Russ.)

22. Fedortsov A.P. O sokhraneni materialom (sistemoi) strukturoobrazuyushchikh elementov i svyazei pri vozdeistviyakh [On the Preservation of Structure-Forming Elements and Bonds by a Material (System) under Impacts]. In: *Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'stva [Actual Issues of Architecture and Construction]*, Proceedings of the Twenty-First International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the Institute of Architecture and Construction of the Mordovian State University named after N.P. Ogarev. Saransk, Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2022, pp. 166–175. (In Russ.)

23. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. [et al.]. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders. In: *Solid State Phenomena*, 2016, no. 871, pp. 22–27. URL: <https://clck.ru/3Q2SoK> (Accessed 08/01/2025) (In Engl.)

24. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D. [et al.]. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Dolomite Powders. In: *Solid State Phenomena*, 2016, no. 871, pp. 33–39. URL: <https://clck.ru/3Q2Wz5> (Accessed 08/01/2025) (In Engl.)

25. Sharafutdinov K.B., Saraykina K.A., Kashevarova G.G., Erofeev V.T. The Use of Copper Nanomodified Calcium Carbonate as a Bactericidal Additive for Concrete. In: *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2022, 18(2) S. 143–155. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=500837753Q2Wz5> (Accessed 08/01/2025) (In Engl.)

26. Erofeev V.T. Bazhenov Yu.M., Bogatov A.D. [et al.]. Stroitel'nye materialy na osnove otkhodov stekla [Construction Materials Based on Glass Waste]. Saransk, Izdatel'stvo Mordovskogo universiteta [Publishing House of Mordovian University], 2005, 120 p. (In Russ.)