

УДК 66.098:620.22:691

**НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ БИОСТОЙКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ ГУАНИДИНА
С МЕХАНИЗМОМ ДЕЙСТВИЯ НА НАНОРАЗМЕРНОМ УРОВНЕ**

**A NEW GENERATION OF BIO-RESISTANT COMPOSITE MATERIALS
BASED ON GUANIDINE COMPOUNDS
WITH A MECHANISM OF ACTION AT THE NANOSIZED LEVEL**

Д.А. СВЕТЛОВ, И.В. ЕРОФЕЕВА, А.В. ДОЛГАНОВ

D.A. SVETLOV, I.V. EROFEEVA, A.V. DOLGANOV

(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева)
(Ogarev Mordovia State University)

E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Направленное воздействие, оказываемое на атомно-молекулярном уровне при создании нанокompозитов, новое и актуальное направление современного строительного материаловедения. Одним из основных способов получения нанокompозитов является их модификация различными добавками и применение специальных технологических операций. Наномодификаторы во многом определяют заранее заданные свойства материалов. В статье приводятся результаты о влиянии модификаторов на биологическую стойкость композиционных материалов. Показано, что микроорганизмы (бактерии и мицелиальные грибы) наносят значительный ущерб жилым зданиям и сооружениям различных производств. Кроме того, микроорганизмы оказывают патогенное воздействие на организм человека. В статье предлагается новая концепция противодействия биоповреждениям при использовании биоцидных добавок на основе соединений гуанидина (препарат "Тефлекс"). Исследован механизм взаимодействия биоцидного полимера с мембранами микроорганизмов, показано, что эффективность процесса определяется наличием на поверхности клеток отрицательных, а в полимере – положительно заряженных групп. Показано, что модификация препаратом "Тефлекс" приводит к значительному повышению биологической стойкости гипсовых, цементных, гипсоцементно-пуццолановых, стеклощелочных и полимерных композиционных материалов.

The directed influence exerted at the atomic-molecular level when creating nanocomposites is a new and relevant direction in modern building materials science. One of the main methods for producing nanocomposites is their modification with various additives and the use of special technological operations. Nanomodifiers largely determine the predefined properties of materials. The article presents the

results of the effect of modifiers on the biological resistance of composite materials. It is shown that microorganisms (bacteria and mycelial fungi) cause significant damage to residential buildings and structures of various industries. In addition, microorganisms have a pathogenic effect on the human body. The article proposes a new concept for counteracting biodeterioration when using biocidal additives based on guanidine compounds (Teflex preparation). The mechanism of interaction of the biocidal polymer with the membranes of microorganisms was studied, and it was shown that the efficiency of the process is determined by the presence of negative and positively charged groups on the cell surface. It has been shown that modification with Teflex leads to a significant increase in the biological resistance of gypsum, cement, gypsum-cement-pozzolanitic, glass-fiber and polymer composite materials.

Ключевые слова: композиционные материалы, модификация, нанодобавка, соединения гуанидина, биостойкость.

Keywords: composite materials, modification, nano-additive, guanidine compounds, biostability.

В настоящее время наиболее бурно развивающейся сферой человеческой деятельности является нанонаука – совокупность знаний о свойствах веществ в нанометровом масштабе. В последние годы можно очень часто услышать слова "наночастицы" и "нанотехнологии", причем в абсолютно различных областях не только науки, но и повседневной жизни.

Для строителя-технолога, владеющего основами химической технологии, освоение приемов получения материалов с использованием подходов из нанотехнологии не представляет особых трудностей. Получение наноструктурированных материалов возможно несколькими способами [1...5]. Один из таких способов заключается в целенаправленном ведении того или иного технологического процесса путем введения компонентов с заданными свойствами с целью получения компонентов системы не только в наномасштабе, но и в заданном сочетании их как по объему, так и по массе (числу). Имеющиеся достижения в физико-химии, коллоидной химии, знания в области высокодисперсных систем и пленок, поразительных эффектов ПАВ, механохимической активации твердых частиц и воды позволяют получать свойства материалов, ранее, казалось бы, невероятные. Например, при производстве минеральных вяжу-

щих веществ, в том числе и при изготовлении портландцементного клинкера, изменяя температуру обжига и давление, можно получать полуводный гипс α и β -модификаций, различающиеся размером кристаллов и свойствами. По данным многих исследователей α - и β -полугидраты не различаются по строению кристаллической решетки, но различаются по дисперсности кристаллов [6...12]. Изменяя и регулируя режимы обжига двухводного гипса, можно получить 8 модификаций полуводного и обезвоженного ангидрида с разным строением. Производство многих строительных материалов (бетон, керамика, асбестобетон и др.) связано с процессами коагуляционно-кристаллизационного структурообразования [3...5]. Как закономерности образования микро- и макроструктуры, так и способы управления этими процессами в композициях дисперсная фаза - жидкая среда остаются достаточно сложными. Объясняется это наличием происходящих фазовых переходов, что связано со значительным изменением не только дисперсности, но и формы дисперсной фазы.

Одним из широко применяемых сегодня приемов в нанотехнологии при производстве бетонов, растворов, паст на основе минеральных вяжущих веществ является использование различных добавок, в том

числе и ПАВ [1...5]. Они во многом определяют заранее заданные свойства, а иногда и непредсказуемые. Действие модифицирующих добавок проявляется через химические процессы на поверхности твердой, жидкой и газообразной фаз. Адсорбционные слои модификаторов на поверхности твердой частицы выполняют важные и разносторонние задачи, задерживают рост кристаллов, влияют на их форму, габитус, модификацию, изменяют поверхностное натяжение, влияют на степень смачиваемости дисперсных частиц [5], [6], [13...21]. И все это осуществляется на наноровне.

В России и в других странах еще в IX-X вв. при возведении кирпичных стен церквей, храмов, монастырей с успехом применяли в качестве модифицирующей добавки в известковые растворы белки куриных яиц. Это позволяло резко повысить прочность и атмосферостойкость этих сооружений. Белки куриных яиц – это высокомолекулярные органические вещества, построенные из 20 аминокислот (мономерных звеньев), содержащих карбоксильные (-COOH) и аминогруппы (-NH₂) и обладающие свойствами кислот и оснований. Известно, что живые организмы "конструируют" необходимые продукты из белков, которые в свою очередь могут формировать регулярные наноструктуры в виде кристаллических решеток. В рассматриваемом случае органические вещества (белки) оказываются совместимыми с неорганическим веществом (известковым раствором) в создании прочного и долговечного скрепляющего слоя кирпичной кладки. Этот и аналогичный примеры наталкивают ученых на мысль о конструировании из белков и неорганических соединений таких структур, которых нет в природе.

В последнее время все большее внимание уделяется защите строительных материалов от биологической коррозии [22...29]. Для понимания процессов необходимо биологическую коррозию представить в виде системы, имеющей.

1) биотические составляющие: 1.1. биодеструкторы из разных систематических групп и ветвей прокариот и эукариот 1.2. ассоциации видов – биодеструкторов –

микроорганизмов, плесеней, спор и т.д. 1.3. преемственные ассоциации, сменяющиеся во времени;

2) абиотические составляющие: 2.1. строительные материалы (бетон, дерево, пластик) – как среда обитания и источник нутриентов, продуктами коррозии которого являются механические изменения и химические вещества.

Сочетание благоприятной кислотности и высокой влажности, а также наличие большого количества органических веществ приводит к заселению поверхности материалов различными видами микроорганизмов, в основном, бактериями, плесневыми грибами и микроскопическими водорослями. Наиболее агрессивными из них являются плесневые грибы, способные использовать в качестве источника энергии не только органические, но и неорганические вещества. Такая широкая "всеядность" плесневых грибов объясняется наличием у них целого комплекса высокоактивных ферментов.

Сейчас известно, что из всех исследованных микроорганизмов грибы приносят наибольший вред материалам. Они повреждают все природные, многие синтетические материалы и даже стальные и железобетонные конструкции [24], [29]. Разрушения материалов грибами зависят от их состава. В первую очередь повреждаются материалы, содержащие питательные вещества для грибов. Это ткани из натуральных волокон, древесные наполнители, белковые клеи, углеводороды. Используя указанные материалы в качестве источников углерода и энергии, грибы приводят их в негодность. Кроме того, установлено, что порче подвергаются также материалы, не содержащие никаких питательных веществ, например, металлические изделия, бетон, железобетон. Даже небольшое прорастание грибных спор приводит к тому, что изменяются физико-химические свойства, материалы теряют прочность, снижаются относительное удлинение при разрыве, показатели модуля упругости и напряжения при растяжении, ухудшаются диэлектрические свойства [29].

Для справки – Споры – Прокариотические организмы бактерии обладают способностью к спорообразованию, которая заключается в том, что при наступлении условий, неблагоприятных для жизни, клетка частично теряет воду, объем и форму; под внешней мембраной образуется плотная сферическая оболочка. В виде споры бактерия может выдерживать огромные механические, температурные и химические нагрузки [29]. Например, некоторые споры выдерживают трехчасовое кипячение или температуру жидкого азота. Также в виде споры более эффективно проходит расселение, потому что частично обезвоженная клетка имеет меньшую массу. Таким образом, стратегически важным при создании эффективных ингибиторов биокоррозии создавать материалы, способные “бороться” с вредоносным биоматериалом за счет создания “мощных” центров, способных на наноуровне быстро и качественно уничтожать вредоносные источники.

Кроме того, обсуждая воздействие биокоррозии на строительные материалы, не следует забывать о неблагоприятном влиянии биоповреждений зданий на людей, которое заключается в свойствах микроорганизмов оказывать патогенное действие на организм человека. Практически все грибы, развивающиеся в толще строительных материалов, не являясь по своей природе болезнетворными, могут в организме человека приобретать патогенные свойства и вызывать инфекционные поражения – микозы, а у людей, склонных к аллергическим реакциям, – микогенные аллергии в виде астматического бронхита, бронхиальной астмы, крапивницы и др. [30]. Если два первых вида влияния биоповреждений на человека достаточно хорошо изучены, то третья форма – патогенное действие грибов – еще мало известна и врачам, и, тем более, техническим специалистам, занятым строительством и эксплуатацией зданий. Вместе с тем именно грибковые инвазии играют все большую роль в структуре заболеваемости людей, обусловленной влиянием биоповреждений зданий [30].

Кафедра строительных материалов и технологий Мордовского государственного

университета совместно с ЗАО “Софт Протектор” (г. Санкт-Петербург), разработчиком и производителем биоцидов на основе сополимеров гуанидина под маркой “Тефлекс”, на протяжении 20 лет занимается разработкой и изучением биоцидных бетонов с присадкой “Тефлекс”. В данной статье представлены новые данные, показывающие и доказывающие эффективность применения присадки “Тефлекс” при ингибировании биокоррозии в присутствии Сеной палочки (лат. *Bacillus subtilis*).

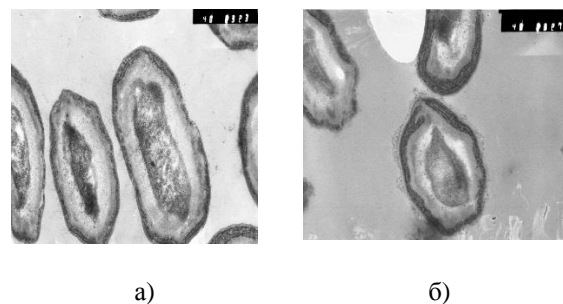


Рис. 1

С использованием электронной микроскопии был исследован механизм взаимодействия фунгицидной добавки “Тефлекс” с спорами *Bacillus subtilis* (рис. 1 – воздействие на споры *Bacillus subtilis* присадки “Тефлекс”: а – контроль, б – визуализация (доказательство) спороцидного действия препаратов “Тефлекс”. Данные получены с помощью электронной микроскопии. Контроль споры *Bacillus subtilis*). Показано, что введение добавки приводит к изменению формы и утолщению внешних стенок клеток спор, что в конечном итоге и приводит к полной гибели клетки. По проведенным расчетам каждая микробная клетка взаимодействует с 6×10^{-13} г активного вещества, причем его строение не оказывает существенного влияния на количество связываемого вещества. При контакте с клеткой вначале происходит электростатическое взаимодействие отрицательно заряженных групп на клеточной мембране с молекулой полимера, что ведет к переориентации молекулы и введению ее заряженных фрагментов в липидный монослой мембраны. Макромолекула кооперативно связывается с большим числом молекул фосфолипидов

мембраны, вызывая нейтрализацию отрицательного заряда. Образующийся комплекс стабилизируется сильным гидрофобным взаимодействием алкильных цепей жирных кислот фосфолипидов, что ведет к изменению стабилизирующих мембрану электростатического и гидрофобного взаимодействия и ослаблению липид-липидного взаимодействия. Еще одним следствием сорбции является нарушение барьерных и транспортных функций мембраны. Дальнейшее проникновение гидрофобного фрагмента в неполярную часть клеточной мембраны приводит к ее расширению и к нарушению вандерваальсовского взаимодействия между липидными молекулами. В результате меняется сначала проницаемость, а затем и целостность мембраны, которая фрагментируется и разрушается.

Последовательность процессов, приводящих к гибели клетки, включает в себя:

- адсорбция молекулы биоцида на поверхности клетки;
- диффузия сорбированной молекулы через клеточную стенку;
- связывание диффундировавшей молекулы с цитоплазматической мембраной;
- дестабилизация или деструкция цитоплазматической мембраны;
- выделение из клетки компонентов цитоплазмы;
- гибель клетки.

Установлено, что при введении биоцидного пластификатора "Тефлекс" происходит значительное повышение биологической стойкости эпоксидных, гипсовых, гипсоцементно-пуццолановых, стеклощелочных и цементных композитов [24]. Показано проявление фунгицидных и спороцидных свойств у составов на основе стеклощелочного, цементного и эпоксидного связующих при введении 7,5 и 10 масс. ч добавки. Кроме того, для остальных составов при включении в рецептуру этого препарата в концентрациях не менее 3 или 5 масс. ч повышается грибостойкость. Установлено, что введение фунгицидной добавки "Тефлекс" в состав композитов на основе эпоксидных, гипсовых, гипсоцементно-пуццолановых, стеклощелочных и цементных

связующих позитивно сказывается на целом ряде их основных физико-механических свойств [54]. Получается материал более плотной структуры, обладающий повышенными прочностными свойствами и водостойкостью. Изменяются сроки схватывания материала, препарат оказывает пластифицирующее действие и уменьшает соотношение жидкости и сухих компонентов, необходимое для создания равноподвижной смеси. Для большинства составов наиболее эффективно введение модифицирующей добавки в количестве 3 масс. ч. При этом количестве препарата наблюдаются максимальная плотность и минимальная пористость получаемого материала или их оптимальное соотношение.

Процесс направленного изменения эксплуатационных свойств твердеющей системы приносит свои положительные плоды и в строительном материаловедении. Внедрение элементов нанотехнологии, и в целом нанотехнологии, в строительной индустрии, по всей вероятности, будет сопровождаться переходом от парадигмы исследования получаемых материалов путем различной комбинации отдельных компонентов в изучаемой системе к целенаправленной инженерии требуемых молекул, новообразований, наноструктур, наносистем и нанообъектов, то есть переходом от микромира в наномир. На сегодняшний день работа по изучению физико-химической структуры биоцидных бетонов с полимером гунидина "Тефлекс" продолжается. Стоит задача добиться синтетического "конструирования" необходимых продуктов из белков, которые в свою очередь смогут формировать регулярные наноструктуры в виде кристаллических решеток для упрочнения бетона и иных строительных конструкций.

ВЫВОДЫ

1. Предложена стратегия создания нового поколения ингибиторов биокоррозии, проявляющих непревзойденную эффективность на наноуровне.

2. Представлены сведения о биоповреждениях в зданиях и сооружениях, способствующих разрушению материалов и изделий, ведущих к заболеваниям людей.

3. Показана актуальность повышения биостойкости материалов с помощью специальных модификаторов.

4. Исследовано влияние в качестве модификатора и эффективных ингибиторов соединений на основе гуанидина (препараты "Тефлекс").

5. Показано, что модификация препаратом "Тефлекс" способствовала повышению биостойкости композитов на основе органических и неорганических связующих, за счет эффективного взаимодействия с вредоносными биомолекулами на нануровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрышев А.Н., Ерофеев В.Т., Коломазов В.Н. Полимерные композиционные материалы. – Саранск, 2013.

2. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Мороз М.Н., Троянов И.Ю., Володин В.М., Суздальцев О.В. Наногидросиликатные технологии в производстве бетонов // Строительные материалы. – 2014, №5. С.88...91.

3. Гусев Б.В. Проблемы создания наноматериалов и развитие нанотехнологий в строительстве // Научный интернет-журнал "Нанотехнологии в строительстве". – 2009, №2. С 5...9.

4. Чернышов Е.М. Нанотехнологические исследования строительных композитов: общие суждения, основные направления и результаты // Научный интернет-журнал "Нанотехнологии в строительстве". – 2009, №1. С.45...59.

5. Комохов П.Г. Применение нанотехнологий в строительном материаловедении. Нанотехнологии в производстве ячеистых бетонов // Нанотехнологии в строительстве PostedbyEil / Июнь 3, 2013.

6. Каприелов С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов // Бетон и железобетон. – 1995, №4. С.16...20.

7. Нелюбова В.В., Строкова В.В., Павленко Н.В., Жерновский И.В. Строительные композиты с применением наноструктурированного вяжущего на основе сырья различных генетически типов // Строительные материалы. – 2013, №2. С. 11...15.

8. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders. *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 33...39. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.33.

9. Erofeev V.T., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnova O., Tretiakov I.,

Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders. *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 22...27. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22.

10. Erofeev V.T., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions. *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1448...1454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

11. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. *Power Technology and Engineering*. – 2017, 51(4). P. 377...384. doi: 10.1007/s10749-017-0842-8.

12. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev, B.V. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // *Izv. vuzov, Textile Industry Technology*. – 2018, №2. P. 238...246.

13. Yusupova A.A., Akhmetova R.T., Treshchev A.A., Erofeev V.T., Bobrishev A.A., Shafigullin L.N., Lakhno A.A. Production and investigation of properties of sulfide composite materials based on technogenic sulfur waste with titanium chloride as an activator // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2016, 7(6). P. 1614...1619.

14. Erofeev V.T., Rodin A.I., Yakunin V.V., Tuvin M.N. Structure, composition and properties of geopolymers from mineral wool waste // *Magazine of Civil Engineering*. – 2019. 90(6). P. 3...14. doi: 10.18720/MCE.90.1.

15. Shafigullin L.N., Baraeva L.R., Yusupova A.A., Bobryshev A.A., Erofeev V.T. Physicochemical Basis of Sulfide Technology of Iron Polysilicate // *HELIX*. – 2019. 9(5). P. 5420...5426. doi: 10.29042/2019-5420-5426.

16. Shafigullin L.N., Bobrishev A.A., Erofeev V.T., Treshchev A.A., Erofeev V.T., Shafigullina A.N. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. 10(23). P. 43758...43762.

17. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A., Shafigullin L., Khalilov I., Sibgatullin K., Igtisamov R. Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 96...103. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.96.

18. Erofeev V.T., Rodin A.I., Yakunin, V.V., Bogatov A.D., Bochkina V.S., Chegodajkin A.M. Alkali-activated slag binders from rock-wool production wastes // *Magazine of Civil Engineering*. – 2018. 82(6). P. 219...227. doi: 10.18720/MCE.82.20.

19. Калашников В.И., Ерофеев В.Т., Тараканов О.В. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения // *Изв. вузов. Строительство*. – 2016, № 4 (688). С. 30...37.

20. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites

filled with dolomite powders // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P.33...39. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.33.

21. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnova O., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 22...27. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22.

22. 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. С. 268...276.

23. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Изучение грибковой коррозии бетона с помощью модельной среды // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. – 2019, № 3 (59). С. 85...89.

24. Ерофеев В.Т., Комохов П.Г., Смирнов В.Ф., Светлов Д.А., Казначеев С.В., Богатов А.Д., Морозов Е.А., Васильев О.Д., Макаревич Ю.М., Спиринов В.А., Пацюк Н.А. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина. – СПб.: Изд.: Наука, 2010. С.179...183.

25. Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1448...1454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

26. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments // *Power Technology and Engineering*. – 2017. 51(4). P. 377...384. doi: 10.1007/s10749-017-0842-8.

27. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // *Izv. vuzov. Textile Industry Technology*. – 2018, №2. P. 238...246.

28. Erofeev V. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1444...1447. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.877.

29. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф. и др. Биологическое сопротивление материалов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001.

30. Антонов В.Б. Влияние биоповреждений зданий на здоровье человека // *Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве*. – СПб., 2007. С. 137...142.

REFERENCES

1. Bobryshev A.N., Erofeev V.T., Kolomazov V.N. *Polimernye kompozitsionnye materialy*. – Saransk, 2013.

2. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Moroz M.N., Troyanov I.Yu., Volodin V.M., Suzdal'tsev O.V. *Nanogidrosilikatnye tekhnologii v proizvodstve betonov // Stroitel'nye materialy*. – 2014, №5. S.88...91.

3. Gusev B.V. Problemy sozdaniya nanomaterialov i razvitiye nanotekhnologii v stroitel'stve // *Nauchnyy internet-zhurnal "Nanotekhnologii v stroitel'stve"*. – 2009, №2. S 5...9.

4. Chernyshov E.M. Nanotekhnologicheskie issledovaniya stroitel'nykh kompozitov: obshchie suzheniya, osnovnye napravleniya i rezul'taty // *Nauchnyy internet-zhurnal "Nanotekhnologii v stroitel'stve"*. – 2009, №1. S.45...59.

5. Komokhov P.G. Primenenie nanotekhnologii v stroitel'nom materialovedenii. *Nanotekhnologii v proizvodstve yacheistykh betonov // Nanotekhnologii v stroitel'stve PostedbyEll / Iyun' 3, 2013*.

6. Kapriellov S.S. Obshchie zakonomernosti formirovaniya struktury tsementnogo kamnya i betona s dobavkoy ul'tradispersnykh materialov // *Beton i zhelezobeton*. – 1995, №4. S.16...20.

7. Nelyubova V.V., Stokova V.V., Pavlenko N.V., Zhernovskiy I.V. Stroitel'nye kompozity s primeneniem nanostrukturirovannogo vyazhushchego na osnove syr'ya razlichnykh geneticheskikh tipov // *Stroitel'nye materialy*. – 2013, №2. S. 11...15.

8. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders. *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 33...39. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.33.

9. Erofeev V.T., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnova O., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders. *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 22...27. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22.

10. Erofeev V.T., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E. Biocidal Binders for the Concretes of Underground Constructions. *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1448...1454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.

11. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments. *Power Technology and Engineering*. – 2017, 51(4). P. 377...384. doi: 10.1007/s10749-017-0842-8.

12. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // *Izv. vuzov. Textile Industry Technology*. – 2018, №2. P. 238...246.

13. Yusupova A.A., Akhmetova R.T., Treshchev A.A., Erofeev V.T., Bobrishev A.A., Shafigullin L.N., Lakhno A.A. Production and investigation of properties of sulfide composite materials based on technogenic sulfur waste with titanium chloride as an activator // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. – 2016, 7(6). P. 1614...1619.

14. Erofeev V.T., Rodin A.I., Yakunin V.V., Tuvin M.N. Structure, composition and properties of geopolymers from mineral wool waste // *Magazine of Civil Engineering*. – 2019. 90(6). P. 3...14. doi: 10.18720/MCE.90.1.

15. Shafigullin L.N., Baraeva L.R., Yusupova A.A., Bobryshev A.A., Erofeev V.T. Physicochemical Basis of Sulfide Technology of Iron Polysilicate // *HELIX*. – 2019. 9(5). P. 5420...5426. doi: 10.29042/2019-5420-5426.
16. Shafigullin L.N., Bobryshev A.A., Erofeev V.T., Treshchev A.A., Erofeev V.T., Shafigullina A.N. Development of the recommendations on selection of glass-fiber reinforced polyurethanes for vehicle parts // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. 10(23). P. 43758...43762.
17. Erofeev V., Bobryshev A., Lakhno A., Shafigullin L., Khalilov I., Sibgatullin K., Igtisamov R. Theoretical evaluation of rheological state of sand cement composite systems with polyoxyethylene additive using topological dynamics concept // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 96...103. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.96.
18. Erofeev V.T., Rodin A.I., Yakunin, V.V., Bogatov A.D., Bochkin V.S., Chegodajkin A.M. Alkali-activated slag binders from rock-wool production wastes // *Magazine of Civil Engineering*. – 2018. 82(6). P.219...227. doi: 10.18720/MCE.82.20.
19. Kalashnikov V.I., Erofeev V.T., Tarakanov O.V. Suspenszionno-napolnennye betonnye smesi dlya poroshkovo-aktivirovannykh betonov novogo pokoleniya // *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*. – 2016, № 4 (688). S.30...37.
20. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with dolomite powders // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P.33...39. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.33.
21. Erofeev V., Kalashnikov V., Emelyanov D., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnova O., Tretiakov I., Matvievskiy A. Biological resistance of cement composites filled with limestone powders // *Solid State Phenomena*. – 2016. 871. P. 22...27. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.871.22.
22. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Konovalova V.S., Karavaev I.V. Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii konstruksiy iz betona, soderzhashchego gidrofobiziruyushchie dobavki // *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. – 2017, № 6. S. 268...276.
23. Chesnokova T.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. Izuchenie gribkovoy korrozii betona s pomoshch'yu model'noy sredy // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. – 2019, № 3 (59). S. 85...89.
24. Erofeev V.T., Komokhov P.G., Smirnov V.F., Svetlov D.A., Kaznacheev S.V., Bogatov A.D., Morozov E.A., Vasil'ev O.D., Makarevich Yu.M., Spirin V.A., Patsyuk N.A. Zashchita zdaniy i sooruzheniy ot biopovrezhdeniy biotsidnymi preparatami na osnove guanidina. – SPb.: Izd.: Nauka, 2010. S.179...183.
25. Erofeev V., Rodin A., Rodina N., Kalashnikov V., Irina E. Biocidal Binders for the Concretes of Unerground Constructions // *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1448...1454. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.878.
26. Travush V.I., Karpenko N.I., Erofeev V.T., Rodin A.I., Smirnov V.F., Rodina N.G. Development of Biocidal Cements for Buildings and Structures with Biologically Active Environments // *Power Technology and Engineering*. – 2017. 51(4). P. 377...384. doi: 10.1007/s10749-017-0842-8.
27. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A., Gusev B.V. Evaluation of corrosion of alkaliglass composites, predicting their physico-chemical resistance and ways to improve it // *Izv. vuzov. Textile Industry Technology*. – 2018, №2. P. 238...246.
28. Erofeev V. Frame Construction Composites for Buildings and Structures in Aggressive Environments // *Procedia Engineering*. – 2016. 165. P. 1444...1447. doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.877.
29. Solomatov V.I., Erofeev V.T., Smirnov V.F. i dr. Biologicheskoe soprotivlenie materialov.– Saransk :Izd-vo Mordov. un-ta, 2001.
30. Antonov V.B. Vliyanie biopovrezhdeniy zdaniy na zdorov'e cheloveka // *Problemy dolgovechnosti zdaniy i sooruzheniy v sovremennom stroitel'stve*. – SPb., 2007. S. 137...142.

Рекомендована кафедрой строительных материалов и технологий. Поступила 14.10.20.