

Т.Ф. ЕЛЬЧИЩЕВА², В.Т. ЕРОФЕЕВ¹, П.В. МОНАСТЫРЕВ², Е.Н. АБРАМОВА¹,
В.В. АФОНИН¹, И.В. ЕРОФЕЕВА³, А.Ф. АТМАНЗИН¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,

²ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия

³ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

БИОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Аннотация. Проведено исследование воздействия модельной биологической среды продуктов метаболизма мицелиальных грибов на биостойкость цементных композитов из сухих строительных смесей промышленного производства для наружных и внутренних работ. Установлена низкая сопротивляемость образцов без дополнительной биозащиты воздействию биологической среды. Актуальна разработка цементных композитов с биоцидными добавками для обеспечения стойкости к биологически и химически агрессивной среде без снижения прочностных свойств. Определена степень обрастаемости образцов из различных видов сухих строительных смесей в модельной среде продуктов метаболизма мицелиальных грибов. Исследовано восемь композитов различного состава при воздействии 13 видов модельной среды. Установлена стойкость образцов при концентрации компонентов среды от 0 до 5% по массе. Плиточный клей «UNIS 2000», плиточный клей «Старатели», шпатлевка «Старатели», штукатурка фасадная «KNAUF» обладают грибостойкими свойствами. Шпатлевка «СТ29 Ceresit», гидроизоляция «ВодоStopGlins», штукатурка «IvsilGross» и наливной пол «Магма» являются негрибостойкими. Выявлены наиболее неблагоприятные для образцов концентрации продуктов метаболизма мицелиальных грибов. Выявлена эффективность применения биоцидных добавок на полимерной основе серии «Текфлекс» (ООО «СофтПРОТЕКТОР», Россия) на сопротивляемость цементных композитов биоразрушению. Наибольшую эффективность показали добавки «АнтиСоль смывка», «Для металла» и «Универсальный», их применение обеспечивает грибостойкость и фунгицидность строительных материалов.

Ключевые слова: сухие строительные смеси, биостойкость, биоцидные добавки, фунгицидность, грибостойкость, прочностные свойства.

T.F. ELCHISHCHEVA², V.T. EROFEEV¹, P.V. MONASTYREV², E.N. ABRAMOVA¹,
V.V. AFONIN¹, I.V. EROFEEVA³, A.F. ATMANZIN¹

¹National Research Mordovia State University, Saransk, Russia

²Tambov State Technical University, Tambov, Russia

³Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

BIOSTABILITY OF CEMENT COMPOSITES FROM DRY BUILDING MIXTURES

Abstract. A study was made of the influence of a model biological environment of the products of the metabolism of filamentous fungi on the biostability of cement composites from industrial dry building mixes for outdoor and indoor work. The low resistance of samples without additional bioprotection to the influence of the biological environment was established. Relevant is the development of cement composites with biocidal additives to ensure resistance to biologically and chemically aggressive environments without reducing the strength properties. The degree of fouling of samples from various types of dry building mixtures in a model environment of metabolic products of filamentous fungi was determined. Eight composites of different composition were studied under the

influence of 13 types of model medium. The stability of the samples was established at a concentration of medium components from 0 to 5% by weight. Tile adhesive "UNIS 2000", tile adhesive "Prospectors", putty "Prospectors", facade plaster "KNAUF" have fungus-resistant properties. Putty "CT29 Ceresit". Waterproofing "VodoStopGlims", plaster "IvsilGross" and self-leveling floor "Magma" are non-mushroom resistant. The most unfavorable concentrations of filamentous fungi metabolism products for the samples were revealed. The effectiveness of the use of polymer-based biocidal additives of the Teflex series (OOO SoftPROTECTOR, Russia) on the resistance of cement composites to biodegradation was revealed. The additives "Anti-Salt Wash", "For Metal" and "Universal" showed the greatest efficiency, their use provides fungi resistance and fungicidal properties of building materials.

Keywords: *dry building mixtures, biostability, biocidal additives, fungicide, fungal resistance, strength properties.*

Введение

В соответствии с утвержденной государственной программой «Обеспечение доступным и комфортным жильем и коммунальными услугами граждан РФ на 2018–2025 гг.», в России запланировано увеличение темпов строительства жилья и объектов инфраструктуры. Для успешной реализации стратегических задач программы необходимо производство эффективных строительных материалов нового поколения, которые изготовлены в соответствии со стандартами Европейского Союза (ЕС). От свойств сухих смесей зависит эффективность современной строительной индустрии, прочность, архитектурная выразительность и эстетика городских зданий и сооружений, возможность обеспечения комфортных условий жизни людей, а также осуществление всех этапов промышленного и гражданского строительства и рациональное использование топливно-энергетических ресурсов.

Сухие строительные смеси на цементном вяжущем показывают высокую индустриальность при строительстве, ремонте, реконструкции и реставрации зданий и сооружений. Их использование, по сравнению с традиционными растворами промышленного производства, обеспечивает техническую и экономическую эффективность и повышение качества и технологичности строительства [1–6] и производительности труда. Доставка смесей на строительные объекты организуется легче, чем строительных растворов. Срок хранения смесей на строительной площадке выше, поэтому обеспечивается непрерывный цикл строительных работ за счет достаточного их запаса в местах потребления. Потребность строительной отрасли в качественных сухих смесях в настоящее время превышает их производство [7–9].

Свойства смесей зависят от состава и качества сырья и количества и вида компонентов [10–12]. В работе рассматриваются свойства сухих смесей на цементном вяжущем.

Модели и методы

Исследуемые материалы. В работе приводятся результаты исследований биостойкости материалов образцов композитов, изготовленных из цементных сухих строительных смесей различного состава и назначения российского и зарубежного производства. Было изучено 8 составов сухих смесей (№1–№8): плиточный клей «UNIS 2000» (состав №1), плиточный клей «Старатели» (состав №2), шпатлевка «CT29 Ceresit» (состав №3), шпатлевка «Старатели» (состав №4), гидроизоляция «ВодоStopGlims» (состав №5), штукатурка фасадная «KNAUF» (состав №6), штукатурка «IvsilGross» (состав №7), наливной пол «Магма» (состав №8).

Для затворения сухих смесей применялась вода, удовлетворяющая нормативным требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» (Россия).

Изготовление образцов. Перед изготовлением образцов сухие строительные смеси высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу, затем взвешивались на электронных весах с точностью до 0,01 г. Количество воды затворения назначалось по

рекомендациям производителей строительных смесей. Образцы в виде призм размером 10×10×30 мм изготавливались в металлических формах, предварительно смазанных изнутри машинным маслом. В течение 1-х суток образцы твердели в нормальных условиях. Следующие 6 часов осуществлялась их термообработка в печи при температуре 80°С. После полного остывания образцы вынимались из форм. Набор прочности происходил при нормальных условиях в течение 28 суток.

Определение биостойкости. Биостойкость цементных композитов из сухих строительных смесей исследовалась в среде, моделирующей воздействие продуктов метаболизма мицелиальных грибов и содержащей лимонную кислоту (C₆H₈O₇), щавелевую кислоту (C₂H₂O₄) и перекись водорода (H₂O₂). Концентрация каждого компонента в дистиллированной воде составляла от 0,0 до 5,0% по массе. Компоненты смешивались в различных сочетаниях, что позволило смоделировать естественный процесс биологической коррозии композиционных материалов. Образцы помещались в модельную среду на 90 суток. Стойкость материалов образцов оценивалась по относительному изменению массы (%) по формуле (1):

$$\Delta m = \frac{m - m_0}{m_0} 100, \quad (1)$$

где m_0 и m – соответственно, масса образца материала (г) до и после экспонирования в модельной среде.

Планирование эксперимента. В методе математического планирования эксперимента [24, 25] в качестве матрицы планирования применялся комплексный симметричный трехуровневый план второго порядка на кубе с количеством опытов $n = 13$ (таблица 1). Варьируемые факторы выбирались с учетом критерия оптимизации: X_1 – концентрация лимонной кислоты; X_2 – концентрация щавелевой кислоты; X_3 – концентрация перекиси водорода. Пределы варьирования устанавливались путем проведения предварительных экспериментов, что позволило провести опыты в максимальной близости к области оптимума, и составили 0,0, 2,5 и 5,0% по массе.

Таблица 1 – Рабочая матрица кодированных факторов модельной среды

Факторы	Кодированные значения факторов												
	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0
X_1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0
X_2	1	0	0	-1	1	1	0	-1	1	1	0	0	-1
X_3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1

Биоцидные добавки. Изучение действия биоцидных добавок проводилось путем исследования эффективности добавок на полимерной основе серии «Гефлекс» (производство компании ООО СофтПРОТЕКТОР, Россия). Исследовались добавки: «АнтиСоль смывка», «Защита для металла» и «Универсальный».

Обработка экспериментальных данных. Достоверность полученных результатов экспериментов обеспечивалась их статистической обработкой. Определялось среднее арифметическое значение отдельных наблюдений, среднее квадратическое отклонение и средняя квадратическая ошибка среднего арифметического значения, а также коэффициент вариации и показатель точности. Значимость статистических характеристик оценивалась по t -критерию Стьюдента. Значения, не входящие в доверительный интервал, не использовались в дальнейших расчетах. После обработки экспериментальных данных были составлены уравнения регрессии.

Изготовление и исследование биологического сопротивления цементных композитов.

Для исключения влияния вида сухой смеси на определение эффективности добавок, вводимых в цементные композиты, использовался портландцемент бездобавочный М500 производства ОАО «Мордовцемент» (г. Саранск, Россия). Биологическое сопротивление модифицированных добавками цементных композитов определялось по ГОСТ 9.049–91 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» (Россия) по методу 1 и методу 3.

Результаты исследования и их анализ

Теоретический анализ.

Изделия и конструкции, изготовленные из строительных смесей, часто подвергаются воздействию агрессивной среды помещений производственных зданий и агрессивных веществ, содержащихся в наружном воздухе [13–16], а также влиянию микроорганизмов – биологической среды [17, 18]. Максимальный рост и развитие колоний микроорганизмов, в частности, мицелиальных грибов, происходит при повышенной влажности и положительных температурах среды. Такая среда способствует снижению долговечности строительных материалов, изделий и конструкций. Поэтому весьма актуально повышение долговечности изделий из сухих строительных смесей при неблагоприятных условиях эксплуатации.

Биозараженные здания и сооружения имеют низкое санитарное качество внутренней среды помещений, что нарушает экологическую составляющую комфортного пребывания в них людей. Поэтому в строительной практике часто стоят задачи ремонта, реконструкции и реставрации зданий вследствие повреждений, вызванных мицелиальными грибами. Для роста и развития мицелиальных грибов на строительных конструкциях необходима повышенная влажность и положительные температуры среды. Жизнедеятельность мицелиальных грибов сопровождается процессом выделения органических кислот, неорганических веществ, воды и ферментов. Указанные продукты метаболизма вступают в химические реакции с составляющими твердого вещества цементного камня, что приводит к разрушению структуры материала. Увеличение размера колоний микроорганизмов вызывает биокоррозию строительных материалов и конструкций [19], вследствие чего разрушение строительных материалов идет более быстрыми темпами, чем заложено в расчетах [20, 21]. В таких зданиях при проведении работ наиболее эффективно использование сухих строительных смесей с биоцидными свойствами [22]. Поэтому получение экологических сухих строительных смесей, конструкции и изделия из которых показывают стойкость и повышенные физико-механические свойства [23] в агрессивных биологических средах различного состава, является главной задачей, решаемой в данной работе.

Экспериментальная часть.

Концентрация компонентов в модельном растворе продуктов жизнедеятельности мицелиальных грибов и изменение массы образцов композитов, изготовленных из сухих строительных смесей после воздействия модельной среды, приведены в таблице 2.

Результаты и их обсуждение.

Математическая модель поверхности отклика изменения массосодержания композитов описывается уравнением регрессии:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3. \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения регрессии (2) для различных смесей модельного раствора представлены в таблице 3.

Полученные результаты в виде уравнения регрессии общего вида (2) и расчетных значений коэффициентов регрессии, приведенных в таблице 3, позволяют провести численный и аналитический анализ поведения изменения массосодержания исследованных смесей с целью определения значений факторов, при которых будет наблюдаться минимальное и максимальное изменение массосодержания заданных композитов.

Таблица 2 – Концентрация компонентов модельного раствора, изменение массы цементных композитов

№ опыта	Концентрация в модельном растворе (%)			Δm (%) композитов, изготовленных из смесей составов №1–№8							
	$C_6H_8O_7$	$C_2H_2O_4$	H_2O_2	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
1	2,5	5	5	19,43	16,50	13,19	22,35	16,74	12,73	17,44	11,08
2	5	2,5	5	20,92	18,04	15,30	24,82	22,19	15,50	19,56	10,34
3	0	2,5	5	20,02	16,64	12,32	22,54	16,09	12,44	17,26	10,40
4	2,5	0	5	19,84	15,52	12,94	22,71	16,20	12,45	17,37	10,97
5	5	5	2,5	22,48	20,10	13,60	23,32	21,41	15,88	20,16	12,21
6	0	5	2,5	20,17	17,24	11,76	22,03	18,30	12,38	16,31	10,44
7	2,5	2,5	2,5	20,26	17,23	13,14	22,02	19,22	13,28	19,15	12,07
8	5	0	2,5	20,64	17,80	14,48	23,03	18,05	14,00	22,32	12,43
9	0	0	2,5	19,15	16,19	11,98	22,36	15,59	12,11	17,84	11,39
10	2,5	5	0	21,62	18,43	15,25	19,83	20,02	14,84	16,85	11,35
11	5	2,5	0	22,91	19,83	15,52	23,65	19,12	17,46	16,71	9,61
12	0	2,5	0	19,08	16,26	8,07	21,17	17,15	11,83	14,33	8,11
13	2,5	0	0	27,26	15,43	12,74	21,45	17,55	11,44	16,46	10,13

Таблица 3 – Коэффициенты уравнения регрессии поверхности отклика

№ смеси	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}
1	20,260	-1,066	0,399	1,332	-0,478	0,828	0,950	0,205	-0,732	1,308
2	17,230	-1,180	-0,916	0,406	0,912	-0,310	-0,450	0,313	-0,542	-0,505
3	13,140	-1,846	-0,207	-0,271	-0,456	0,271	0,119	-0,165	-1,117	-0,565
4	22,020	-0,840	0,252	-0,790	1,062	-0,397	-0,038	0,155	-0,050	0,315
5	19,220	-1,705	-1,135	0,328	0,064	-0,946	-0,646	0,162	1,032	-0,482
6	13,280	-1,760	-0,729	0,306	0,877	-0,565	0,150	0,402	-0,643	-0,780
7	19,150	-1,626	0,404	-0,910	-0,029	0,036	-2,156	-0,157	-0,020	-0,080
8	12,070	-0,531	-0,020	-0,449	-0,860	0,408	-1,595	0,183	-0,390	-0,277

Таблица 4 – Результаты решения задачи глобальной оптимизации

№ смеси	Решение задачи минимизации			Решение задачи максимизации			$\Delta m_{\max} - \Delta m_{\min}$
	$X_{1\min}$	$X_{2\min}$	$X_{3\min}$	$X_{1\max}$	$X_{2\max}$	$X_{3\max}$	
1	1,000000/ 4,999999	-0,252727/ 1,868182	-0,141807/ 2,145484	-0,999999/ 0,000002	1,000000/ 5,000000	1,000000/ 5,000000	7,594864
	$\Delta m_{\min} = 18,597135$ (%)			$\Delta m_{\max} = 26,191999$ (%)			
2	0,772477/ 4,431193	1,000000/ 4,999999	1,000000/ 4,999999	-1,000000/ 0,000000	-1,000000/ 0,000001	0,999999/ 4,999998	6,333209
	$\Delta m_{\min} = 14,910790$ (%)			$\Delta m_{\max} = 21,243999$ (%)			
3	0,772477/ 4,431193	1,000000/ 4,999999	1,000000/ 4,999999	-1,000000/ 0,000000	-1,000000/ 0,000001	0,999999/ 4,999998	6,333209
	$\Delta m_{\min} = 14,910790$ (%)			$\Delta m_{\max} = 21,243999$ (%)			
4	1,000000/ 5,000000	0,999999/ 4,999997	1,000000/ 4,999999	-1,000000/ 0,000000	-1,000000/ 0,000000	1,000000/ 5,000000	7,469999
	$\Delta m_{\min} = 8,903001$ (%)			$\Delta m_{\max} = 16,373000$ (%)			
5	0,491996/ 5,000000	-1,000000/ 0,000001	1,000000/ 4,999999	-1,000000/ 0,000000	-0,274559/ 1,813603	-0,999999/ 0,000000	4,682993
	$\Delta m_{\min} = 19,970933$ (%)			$\Delta m_{\max} = 24,653927$ (%)			
6	1,000000/ 5,000000	1,000000/ 5,000000	-1,000000/ 0,000000	-1,000000/ 0,000000	-0,604119/ 0,989701	-0,319516/ 1,701215	7,35724
	$\Delta m_{\min} = 14,136000$ (%)			$\Delta m_{\max} = 21,493240$ (%)			
7	1,000000/ 4,999999	1,000000/ 5,000000	1,000000/ 5,000000	-1,000000/ 0,000000	-0,999999/ 0,000001	1,000000/ 5,000000	7,823999
	$\Delta m_{\min} = 10,538000$ (%)			$\Delta m_{\max} = 18,361999$ (%)			
8	1,000000/ 5,000000	-0,999999/ 0,000001	1,000000/ 5,000000	-1,000000/ 0,000001	0,999999/ 4,999998	-0,224954/ 1,937616	7,175102
	$\Delta m_{\min} = 14,278000$ (%)			$\Delta m_{\max} = 21,453102$ (%)			
9	1,000000/ 5,000000	0,139706/ 2,849264	1,000000/ 5,000000	-0,414377/ 1,464057	-1,000000/ 0,000000	-0,003258/ 0,000000	4,409175
	$\Delta m_{\min} = 8,237038$ (%)			$\Delta m_{\max} = 12,646213$ (%)			

Таблица 5 – Значение параметра X_3 при минимуме / максимуме целевой функции

№ смеси	Минимум функции	Максимум функции
1	<p>No. 1. $X_{3 \min} = -0.141806$</p>	<p>No. 1. $X_{3 \max} = 1.000000$</p>
2	<p>No. 2. $X_{3 \min} = 1.000000$</p>	<p>No. 2. $X_{3 \max} = 0.999999$</p>
3	<p>No. 3. $X_{3 \min} = 1.000000$</p>	<p>No. 3. $X_{3 \max} = 1.000000$</p>
4	<p>No. 4. $X_{3 \min} = 1.000000$</p>	<p>No. 4. $X_{3 \max} = -0.999999$</p>
5	<p>No. 5. $X_{3 \min} = -1.000000$</p>	<p>No. 5. $X_{3 \max} = -0.319516$</p>

Продолжение таблицы 5

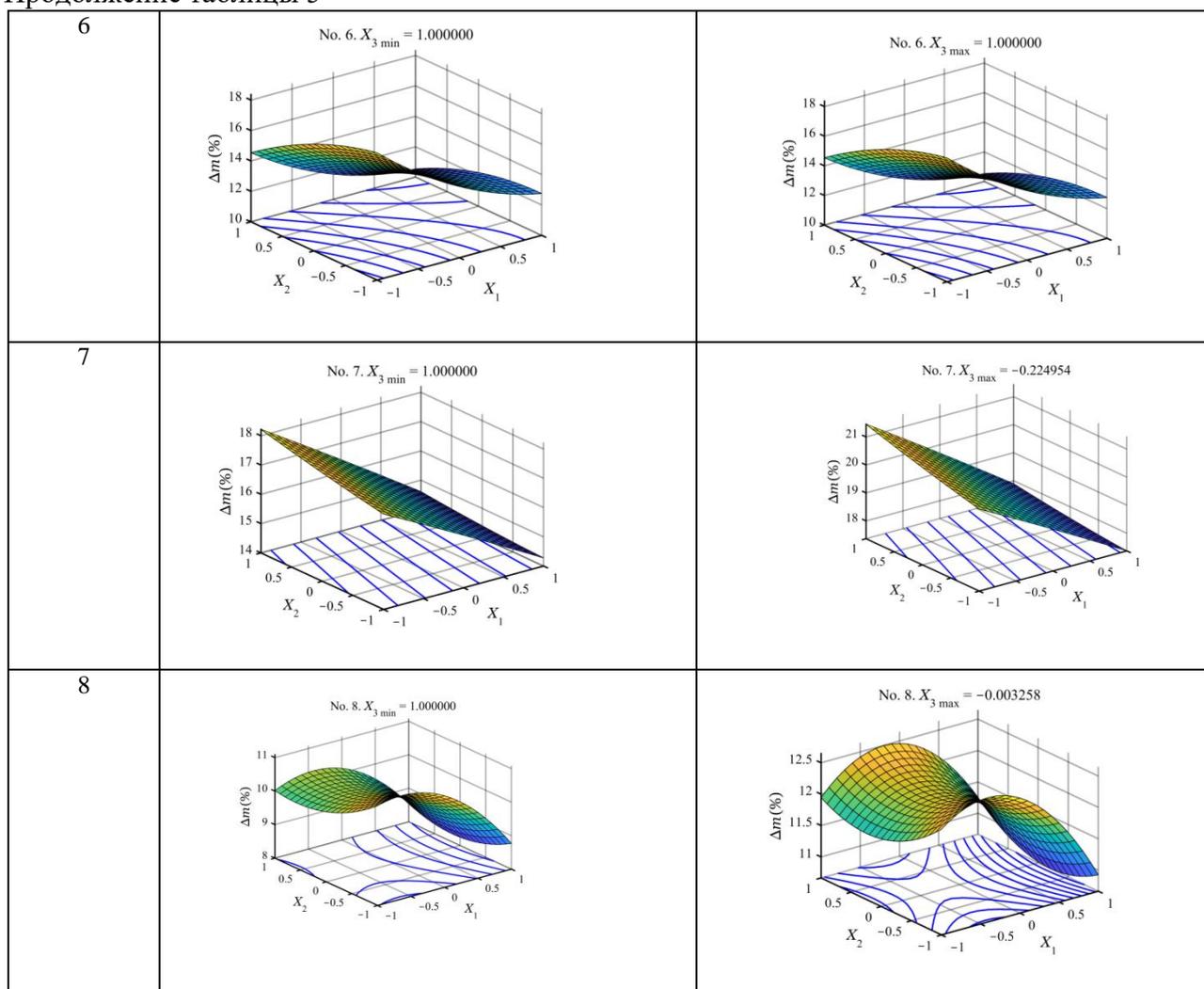


Таблица 6 – Неблагоприятные сочетания компонентов модельного раствора для цементных композитов из сухих строительных смесей

№ смеси	Наименование сухой смеси	Неблагоприятные концентрации компонентов модельного раствора (% по массе)		
		$C_6H_8O_7$	$C_2H_2O_4$	H_2O_2
1	Плиточный клей «UNIS 2000»	0	2,5	5
2	Плиточный клей «Старатели»	0	2,5	0
3	Шпатлевка «СТ29 Ceresit»	5	2,5	0
4	Шпатлевка «Старатели»	0	0	2,5
5	Гидроизоляция «ВодоStopGlims»	0	0	2,5
6	Фасадная штукатурка «KNAUF»	0	2,5	0
7	Штукатурка «IvsilGross»	5	0	2,5
8	Наливной пол «Магма»	5	2,5	0

Таблица 7 – Биостойкость цементных композитов с добавками серии «Тефлекс»

Количество добавки (часть) от массы цемента	Грибостойкость (баллы) по ГОСТ 9.049–91	
	По методу 1	По методу 3
Контрольный состав (без добавок)		
0,0	3, НГ	4, НГ
Добавка Тефлекс «АнтиСоль смывка»		
1,0	1, Г	4, НГ
3,0	1, Г	4, НГ
5,0	0, Ф	4, НГ
7,5	0, Ф	4, НГ
Добавка Тефлекс «Защита для металла»		
1,0	1, Г	4, НГ
3,0	0, Ф	3, НГ
5,0	0, Ф	2, Г
7,5	0, Ф	0, Ф
Добавка Тефлекс «Универсальный»		
1,0	0, Ф	0,Ф (R=4)
3,0	0, Ф	0,Ф(R=10)
5,0	0, Ф	0,Ф(R=13)
7,5	0, Ф	0, Ф (R=15)
Условные обозначения: Ф – фунгицидный; Г – грибостойкий; НГ – негрибостойкий; R– радиус зоны ингибирования роста грибов (мм).		

Поэтому предлагается уравнение (2) рассматривать как целевую функцию трех переменных – факторов X_1, X_2, X_3 при соблюдении ограничений (условий) вида: $-1 \leq X_i \leq +1, i = 1, 2, 3$. Учитывая то, что целевая функция (2) является непрерывно-дифференцируемой, можно выбрать метод оптимизации, который позволит решить данную задачу. В силу того, что целевую функцию трех переменных невозможно визуализировать, необходимо применение какого-либо метода глобальной оптимизации. Анализ существующих методов [26–28] позволил сделать выбор численного метода глобальной оптимизации (минимизации) GlobalSearch, который описан в [27, 28]. В связи с этим была сформирована задача оптимизации в виде:

$$f(X_1, X_2, X_3) \rightarrow \min / \max,$$

$$-1 \leq X_1 \leq +1, -1 \leq X_2 \leq +1, -1 \leq X_3 \leq +1. \quad (3)$$

В (3) целевая функция $f(X_1, X_2, X_3)$ представляет собой уравнение регрессии (2) и является изменением массосодержания Δm композитов (%). В результате решения задачи (3) определяются значения кодированных и действительных факторов, при которых целевая функция достигает минимума или максимума. Формулы для перехода от кодированных

факторов к действительным приведены в [29]. Обозначим массив значений реальных факторов через RealFactors. Тогда:

$$R_{\max} = \max(\text{RealFactors}); \quad R_{\min} = \min(\text{RealFactors});$$

$$dM = (R_{\max} - R_{\min}) / 2;$$

$$dC = (R_{\max} + R_{\min}) / 2;$$

$$Xd_{i\max} = X_{i\max} \times dM + dC;$$

$$Xd_{i\min} = X_{i\min} \times dM + dC,$$

$$i = 1, 2, 3.$$

Максимум массива $R_{\max} = 5,000000$; минимум массива $R_{\min} = 0,000000$; 1-й коэффициент $dM = 2,5$; 2-й коэффициент $dC = 2,5$.

В таблице 4 приводятся результаты решения оптимизационной задачи (3) с представлением (кодированных / действительных) значений факторов с учетом (2) и коэффициентов уравнения регрессии (целевой функции) из таблицы 3.

Анализ результатов, представленных в таблице 4, дает основания сделать вывод, что смесь №8 наименее подвержена изменению массосодержания изготовленных из нее композитов при воздействии агрессивной среды, так как разница между максимумом и минимумом изменения массосодержания составляет 4,409175%, что меньше, чем для других сухих смесей.

Результаты, приведенные в таблице 4, были получены по следующему алгоритму:

1) Загрузка двумерного массива Vtab коэффициентов уравнения регрессии для каждой смеси (данные таблицы 2).

2) Определение символьных переменных X_1, X_2, X_3 и формирование вектора столбца $X = [1, X_1, X_2, X_3, X_1^2, X_2^2, X_3^2, X_1 \times X_2, X_1 \times X_3, X_2 \times X_3]T$.

3) Формирование массива функции отклика (целевой функции) $Y = Vtab \times X$.

4) Создание массива указателей анонимных функций, описывающих целевые функции каждой композитной смеси.

5) Создание объекта GlobalSearch для решения задачи глобальной оптимизации по заданным анонимным функциям и ограничениям из условий (3).

6) Создание структуры createOptimProblem задачи оптимизации.

7) Инициализация поиска оптимального решения минимума или максимума заданных целевых (анонимных) функций с помощью функции `fun`.

8) Вывод результатов оптимизации.

9) Использование оптимальных значений фактора X_3 для последующих графических построений.

Предложенный алгоритм ориентирован на программную реализацию в среде инженерных и научных расчетов MATLAB. Алгоритм может быть адаптирован на другие виды уравнений регрессии и их коэффициенты.

В таблице 5 приведены зависимости изменения массосодержания образцов композитов от двух факторов X_1 и X_2 с фиксированным значением параметра X_3 , который устанавливался в соответствии с данными таблицы 4. На плоскостях x - y показаны изолинии – линии равного уровня, которые отображают характер изменения целевых функций при постоянном значении параметра X_3 .

Проведенные исследования позволили определить неблагоприятные сочетания компонентов агрессивной среды для цементных композитов из сухих строительных смесей. Полученные результаты сведены в таблице 6.

В результате проведенных исследований установлено, что действие продуктов метаболизма мицелиальных грибов на цементные композиты приводит к изменению их свойств. Заселение поверхностей строительных материалов и конструкций

микроорганизмами способствует не только их разрушению, но также ухудшению санитарного состояния зданий и сооружений, вызывает развитие плесени в помещениях, сопровождающееся устойчивым запахом. Продукты метаболизма грибов обладают токсичными свойствами и вызывают аллергические реакции у людей. Для улучшения санитарного состояния строительных конструкций и повышения их устойчивости к воздействию биологически активной среды следует снизить ее агрессивное воздействие. Защита строительных материалов и конструкций от влияния микроорганизмов обеспечивается введением биоцидных добавок, которые могут вводиться в композиты во время изготовления. После изготовления также возможно введение биоцидных компонентов с использованием метода пропитки.

Результаты испытаний биологического сопротивления модифицированных биоцидными добавками цементных композитов в зависимости от вида и количества добавок и свойств питательной среды, приведены в таблице 7. Испытания проводились по методу 1 и методу 3.

В результате проведенных исследований выявлено, что введение в состав цементных композитов добавок серии «Тефлекс» в концентрации 1 часть и более по массе от массы цемента при испытании по методу 1, в зависимости от концентрации добавки, придает им грибостойкость или фунгицидность. У композитов с добавкой «АнтиСоль смывка» свыше 3 частей по массе от массы цемента при выдерживании в среде, зараженной спорами плесневых грибов без дополнительных источников углеродного и минерального питания, осмотр под микроскопом показал отсутствие роста грибов. Материал имеет фунгицидные свойства, которые проявлялись в том, что вокруг зараженных спорами грибов образцов при испытании на питательной среде наблюдалась зона отсутствия роста грибов. При испытании на питательной среде по методу 3 выявлено, что композит не обладает грибостойкими свойствами в изучаемом диапазоне концентрации добавки.

Введение препарата «Защита для металла» при концентрации 1 часть по массе от массы цемента придает композиту грибостойкость без питательной среды при испытании по методу 1. При концентрации свыше 1-й части по массе от массы цемента материал приобретает фунгицидные свойства. Испытание по методу 3 показывает негрибостойкость композита при концентрации добавки от 1-й до 3-х частей по массе от массы цемента. При этом грибостойкость появляется при концентрации добавки 5 частей, а фунгицидность – 7,5 частей по массе от массы цемента.

Использование добавки «Тефлекс Универсальный» придает цементным композитам фунгицидные свойства при введении добавки в концентрации от 1-й части по массе от массы цемента. При этом возникает постоянная зона ингибирования роста грибов радиусом от 4-х до 15-и мм при концентрации добавки от 1-й до 7,5 частей по массе от массы цемента и испытании образцов на питательной среде по методу 3.

Выводы

1. Установлено изменение массы образцов цементных композитов, изготовленных из 8-и сухих строительных смесей без биоцидных добавок при воздействии на материал образцов модельной среды, представляющей собой имитацию продуктов метаболизма бактерий. Концентрация составляющих компонентов модельной среды варьировалась от 0,0 до 5,0% по массе. Сочетания компонентов модельной среды определялись с помощью метода математического планирования эксперимента путем реализации комплексного симметричного трехуровневого плана второго порядка на кубе, состоящего из 13 опытов.

2. Получены уравнения регрессии изменения массы композитов после экспозиции в модельной среде водного раствора лимонной кислоты, щавелевой кислоты и перекиси водорода. По уравнениям регрессии построены графические зависимости. Установлено наиболее неблагоприятное сочетание компонентов модельного раствора для цементных композитов из исследуемых сухих строительных смесей. На основе уравнения регрессии

решена задача глобальной оптимизации поиска сочетаний кодированных и реальных факторов, при которых целевая функция принимает минимальные и максимальные значения.

3. Установлена неодинаковая обрастаемость изготовленных из сухих смесей образцов цементных композитов в модельной среде, имитирующей воздействие продуктов метаболизма грибов. Образцы, изготовленные из плиточного клея «UNIS 2000», плиточного клея «Старатели», шпатлевки «Старатели», штукатурки фасадной «KNAUF» обладают грибостойкими свойствами. Остальные исследуемые смеси, такие, как шпатлевка «СТ29 Ceresit», гидроизоляция «ВодоStopGlims», штукатурка «IvsilGross», наливной пол «Магма» показали негрибостойкие свойства.

4. Выявлено повышение биостойкости композитов путем введения в их состав биоцидных добавок серии «Тефлекс» и установлены оптимальные концентрации добавок для формирования у композитов грибостойких и фунгицидных свойств. Установлено, что в отсутствии дополнительных источников углеродного и минерального питания для достижения эффекта грибостойкости добавкам «АнтиСольсмывка» и «Для металла» необходима концентрация от 1-й части по массе от массы цемента. Фунгицидные свойства материал приобретает при введении добавок «АнтиСольсмывка», «Для металла» и «Универсальный», соответственно, в количестве от 5-и, 3-х и 1-й части по массе от массы цемента.

5. При наличии дополнительных источников углеродного и минерального питания добавка «АнтиСольсмывка» не дает эффекта грибостойкости. Добавка «Для металла» показывает эффект грибостойкости при концентрации от 5-и частей по массе от массы цемента. Фунгицидные свойства материал приобретает при введении добавок «Для металла» в количестве от 7,5 частей и «Универсальный» – в количестве 1-й части по массе от массы цемента. Введение добавки «Универсальный» вызывает эффект образования постоянной зоны ингибирования роста грибов, имеющей радиус от 4-х до 15-и мм. Концентрация добавки при этом составляет, соответственно, от 1-й до 7,5 частей по массе от массы цемента.

Статья публикуется в рамках выполнения темы 3.1.2.5 «Разработка новых композиционных полимерных материалов, отвечающих требованиям строительной индустрии, в том числе используемых в аддитивной технологии», входящей в план фундаментальных научных исследований Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации и Российской академии архитектуры и строительных наук для НИИСФ РААСН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ботка Е.Н. Рынок сухих строительных смесей России // Цемент и его применение. 2021. № 2. С. 32-33.
2. Рынок сухих строительных смесей в России: исследование и прогноз до 2025 г. Вып.: апрель, 2021 г. [Электронный ресурс]. <https://roif-expert.ru/stroitelstvo/stroitel-nye-smesi/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesej/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesej-v-rossii-issledovanie-i-prognoz.html> (дата обращения: 22.12.2022).
3. Perevozchikova S.V., Belov V.V. Dry Mix Mortar for Restoration of Buildings // Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 14-18. doi:10.52957/27821919_2021_1_14
4. Остроух А.В., Вэй П.А., Суркова Н.Е. Анализ современного состояния автоматизации процесса производства сухих строительных смесей // Механизация строительства. 2014. № 7 (841). С. 59-63.
5. Бабешко А.В., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х. Теплоизоляционные сухие строительные смеси на основе композиционного вяжущего // Университетская наука. 2021. № 2 (12). С. 13-15.
6. Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С. и др. Сухие строительные смеси для отделочных изделий и производства внутренних работ // Строительство и реконструкция. 2020. № 5 (91). С. 106-115. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115
7. Еферица Т.В., Хилов К.В. Рынок сухих строительных смесей: специфика продвижения // Строительные материалы – Бизнес. 2005. № 8. С. 10-11.
8. Медведева И.Н., Зозуля П.В., Корнеев В.И. Технология сухих строительных смесей. М.: Лань, 2019. 372 с.

9. Barabanshchikov Yu., Gorodilova A., Popova E. Sulphate resistance of waterproofing compounds based on cement containing dry construction mixtures // *Alfa Build*. 2018. No. 4 (6). Pp. 65-70. doi:10.34910/ALF.6.6
10. Кузьмина В.П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Часть 2 // *Сухие строительные смеси*. 2018. № 6. С. 30-36.
11. Abramov R., Sokolov M., Surilov M. et al. Dry Mixes for Self-Leveling Floors Based on Composite Binder // *Key Engineering Materials*. 2019. No. 802. Pp. 101-112. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.802.101
12. Rudenko I., Runova R., Omelchuk V. et al. Features of macromolecular compounds in dry mixes based on alkaline cement // Conference: 19. Ibausil. Internationale Baustofftagung At: Weimar, Germany. 2015. Vol. 2. Pp. 101-112. doi:10.13140/RG.2.1.4059.2089.
13. Abramova M.G., Panchenko Y.M., Vetrova E.Y. et al. Corrosiveness of the Atmosphere in Various Climatic Regions of the Russian Federation // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2021. Vol. 57. No. 7. Pp. 1272-1282. doi:10.1134/S2070205121070029.
14. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 2 (35). С. 76. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87
15. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н. и др. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор) часть 1. Связующие // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4(65). С. 70-80. doi:10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80
16. Ветрова Е.Ю., Щекин В.К., Курс М.Г. Сравнительная оценка методов определения коррозионной агрессивности атмосферы // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 1 (54). С. 74-81. doi:10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81
17. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. No. 698 (2). Pp. 022082. doi:10.1088/1757-899X/698/2/022082
18. Dergunova A., Piksaykina A., Bogatov A. et al. The economic damage from biodeterioration in building sector// *IOP Conference (Series: Materials Science and Engineering)*. 2019. Vol. 698 (7). Pp. 077020. doi:10.1088/1757-899X/698/7/077020
19. Erofeev V., Smirnov V., Myshkin A. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions // *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2255. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.547
20. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф. Исследование накопления солей в наружных ограждающих конструкциях зданий промышленных предприятий // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 2 (386). С. 193-200.
21. Ерофеев В.Т., Ельчищева Т.Ф. Изменение влажности и теплопроводности строительных материалов при наличии в их составе солей // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 4 (388). С. 18-27.
22. Чикичев А.А., Белых С.А., Кудяков А.И. Гидрофобно-фунгицидная добавка и штукатурная сухая смесь на ее основе // *Вестник МГСУ*. 2017. Т. 12. Вып. 105. С. 661-668. doi:10.22227/1997-0935.2017.6.661-668
23. Urkhanova L., Lkhasaranov S., Badmaeva E. Research of composite binders with nanomodifiers for dry mixes // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. No. 880. Pp. 012028. doi:10.1088/1757-899X/880/1/012028
24. Вентцель В.И. Теория вероятности М.: Наука, 1969. 576 с.
25. Евдокимов Ю.А., Колесников В.И., Тетерин А.И. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. М.: Наука, 1980. 228 с.
26. Афонин В.В., Никулин В.В. Методы моделирования и оптимизации с примерами на языке C/C++ и MATLAB. Ч. 2. Методы безусловной оптимизации. Саранск: Издатель Афанасьев В.С., 2017. 231 с.
27. Гольдштейн А.Л. Оптимизация в среде MATLAB. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. 192 с.
28. Glover F. A template for scatter search and path relinking // *Lecture Notes in Computer Science*. 1997. Pp. 1-51. doi:10.1007/BFb0026589
29. Сидняев Н.И. Теория планирования эксперимента и анализ статистических данных. М.: Юрайт, 2019. 495 с.

REFERENCES

1. Botka E.N. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey Rossii: rost nesmotrya ni na chto [Market of dry construction mixtures in Russia: growth in spite of everything] // *Cement and its application*. 2021. No. 2. Pp. 32-33. (rus)
2. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey v Rossii: issledovaniye i prognoz do 2025 g. [The market of dry building mixes in Russia: research and forecast until 2025]. Issue: April, 2021 [Online] <https://roif-expert.ru/stroitelstvo/stroitel-nye-smesi/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesey/rynok-suhih-stroitel-nyh-smesey-v-rossii-issledovanie-i-prognoz.html>. (date of application: 22.12.2022) (rus)

3. Perevozchikova S.V., Belov V.V. Dry Mix Mortar for Restoration of Buildings // *Smart Composite in Construction*. 2021. Vol. 2. No. 1. Pp. 14-18. doi:10.52957/27821919_2021_1_14.
4. Ostroukh A.V., Wei P.A., Surkova N.E. Analiz sovremennogo sostoyaniya avtomatizatsii protsessa proizvodstva sukhikh stroitel'nykh smesey [Analysis of the current state of automation of the process of production of dry building mixtures]. *Mekhanizatsiya stroitel'stvo*. 2014. No. 7 (841). Pp. 59-63. (rus)
5. Babeshko A.V., Lesovik V.S., and L. Kh. Teploizolyatsionnyye sukhkiye stroitel'nyye smesi na osnove kompozitsionnogo vyazhushchego [Heat-insulating dry building mixtures based on composite binder] // *Universitetskaya nauka*. 2021. No. 2 (12). Pp. 13-15. (rus)
6. Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S. and others. Sukhiye stroitel'nyye smesi dlya otdelochnykh izdeliy i proizvodstva vnutrennikh rabot [Dry construction mixtures for finishing products and interior works] // *Construction and Reconstruction*. 2020. No. 5 (91). Pp.106-115. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-106-115 (rus)
7. Eferina T.V., Khilov K.V. Rynok sukhikh stroitel'nykh smesey: spetsifika prodvizheniya [The market of dry building mixes: the specifics of promotion] // *Building materials – Business*. 2005. No. 8. Pp. 10-11. (rus)
8. Medvedeva I.N., Zozulya P.V., Korneev V.I. [Technology of dry building mixtures]. Moscow: Lan, 2019. 372 p. (rus)
9. Barabanshchikov Yu., Gorodilova A., Popova E. Sulphate resistance of waterproofing compounds based on cement containing dry construction mixtures // *Alfa Build*. 2018. No. 4 (6). Pp. 65-70. doi:10.34910/ALF.6.6
10. Kuzmina V.P. Osobennosti primeneniya sukhikh stroitel'nykh smesey pri provedenii otdelochnykh rabot v razlichnykh klimaticheskikh usloviyakh [Features of the use of dry building mixes during finishing work in various climatic conditions]. Part 2 // *Dry building mixes*. 2018. No. 6. Pp. 30-36. (rus)
11. Abramov R., Sokolov M., Surilov M. et al. Dry Mixes for Self-Leveling Floors Based on Composite Binder // *Key Engineering Materials*. 2019. No. 802. Pp. 101-112. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.802.101
12. Rudenko I., Runova R., Omelchuk V. et al. Features of macromolecular compounds in dry mixes based on alkaline cement // Conference: 19. Ibausil. Internationale Baustofftagung At: Weimar, Germany. 2015. Vol. 2. Pp.101-112. doi:10.13140/RG.2.1.4059.2089.
13. Abramova M.G., Panchenko Y.M., Vetrova E.Y. et al. Corrosiveness of the Atmosphere in Various Climatic Regions of the Russian Federation // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2021. Vol. 57, No. 7. Pp. 1272-1282. doi:10.1134/S2070205121070029.
14. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Obzor zarubezhnogo opyta issledovaniy korrozii i sredstv zashchity ot korrozii [Review of foreign experience in corrosion research and corrosion protection] // *Aviation materials and technologies*. 2015. No. 2 (35). Pp. 76. doi:10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87 (rus)
15. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N. and others. Relaksatsiya polimernykh kompozitsionnykh materialov pod dlitel'nym deystviyem staticheskoy nagruzki i klimata (obzor) chast' 1. Svyazuyushchiye [Relaxation of polymeric composite materials under prolonged action of static load and climate (review), part 1. Binders] // *Aviation materials and technologies*. 2021. No. 4(65). Pp. 70-80. doi:10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80 (rus)
16. Vetrova E.Yu., Shchekin V.K., Kurs M.G. Cravnitel'naya otsenka metodov opredeleniya korroziionnoy agresivnosti atmosfery [Comparative evaluation of methods for determining the corrosive aggressiveness of the atmosphere] // *Aviation materials and technologies*. 2019. No. 1 (54). Pp. 74-81. doi:10.18577/2071-9140-2019-0-1-74-81. (rus)
17. Erofeev V.T., Smirnov V.F., Myshkin A.V. The study of species composition of the mycoflora, selected surface samples poliferation composites in humid maritime climate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. No. 698 (2). Pp. 022082. doi:10.1088/1757-899X/698/2/022082.
18. Dergunova A., Piksaykina A., Bogatov A. et al. The economic damage from biodeterioration in building sector// IOP Conference (Series: Materials Science and Engineering). 2019. Vol. 698 (7). Pp. 077020. doi:10.1088/1757-899X/698/7/077020
19. Erofeev V., Smirnov V., Myshkin A. The study of polyester-acrylate composite's stability in the humid maritime operating conditions // *Materials Today: Proceedings*. 2019. Vol. 19. Pp. 2255. doi:10.1016/j.matpr.2019.07.547.
20. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F. Issledovaniye nakopleniya soley v naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh zdaniy promyshlennykh predpriyatiy [Investigation of salt accumulation in the external enclosing structures of buildings of industrial enterprises] // *Izvestiya of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. 2020. No. 2 (386). Pp. 193-200. (rus)
21. Erofeev V.T., Elchishcheva T.F. Izmeneniye vlazhnosti i teploprovodnosti stroitel'nykh materialov pri nalichii v ikh sostave soley [Change in humidity and thermal conductivity of building materials in the presence of salts in their composition]. *Izvestiya of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. 2020. No. 4 (388). Pp. 18-27. (rus)
22. Chikichev A.A., Belykh S.A., Kudyakov A.I. Gidrofobno-fungitsidnaya dobavka i shtukaturnaya sukhaya smes' na yeye osnove [Hydrophobic-fungicidal additive and plaster dry mix based on it] // *Bulletin of MGSU*. 2017. Vol. 12. Issue. 105. Pp. 661-668. doi:10.22227/1997-0935.2017.6.661-668. (rus)

23. Urkhanova L., Lkhasaranov S., Badmaeva E. Research of composite binders with nanomodifiers for dry mixes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No. 880. Pp. 012028. doi:10.1088/1757-899X/880/1/012028
24. Wentzel V.I. Teoriya veroyatnosti [Probability Theory]. Moscow: Nauka, 1969. 576 p. (rus)
25. Evdokimov Yu.A., Kolesnikov V.I., Teterin A.I. Planirovaniye i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa [Planning and analysis of experiments in solving problems of friction and wear]. Moscow: Nauka, 1980. 228 p. (rus)
26. Afonin V.V., Nikulin V.V. Metody modelirovaniya i optimizatsii s primerami na yazyke S/S++ i MATLAB. CH. 2. Metody bezuslovnoy optimizatsii [Modeling and optimization methods with examples in C/C++ and MATLAB. Part 2. Methods of unconditional optimization]. Saransk: Publisher Afanasiev V.S., 2017. 231 p. (rus)
27. Goldstein A.L. Optimizatsiya v srede MATLAB [Optimization in the MATLAB environment]. Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2015. 192 p. (rus)
28. Glover F. A template for scatter search and path relinking // *Lecture Notes in Computer Science*. 1997. Pp. 1-51. doi:10.1007/BFb0026589.
29. Sidnyaev N.I. Teoriya planirovaniya eksperimenta i analiz statisticheskikh dannykh. [Theory of experiment planning and analysis of statistical data]. Moscow: Yurayt, 2019. 495 p. (rus)

Информация об авторах:

Ельчищева Татьяна Федоровна

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура и градостроительство».
E-mail: elschevat@mail.ru

Ерофеев Владимир Трофимович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
академик Российской академии архитектуры и строительных наук, доктор технических наук, профессор,
директор института архитектуры и строительства, директор НИИ «Материаловедение», заведующий кафедрой
строительных материалов и технологий.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Монастырев Павел Владиславович

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, доцент, директор института архитектуры,
строительства и транспорта.
E-mail: monastyrev68@mail.ru

Абрамова Екатерина Николаевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры зданий, сооружений и автомобильных дорог.
E-mail: surekat86@yandex.ru

Афонин Виктор Васильевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и
управления.
E-mail: vvafonin53@yandex.ru

Ерофеева Ирина Владимировна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия
кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Основы архитектуры и художественных
коммуникаций».
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Атманзин Алексей Федорович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Огарева»,
г. Саранск, Республика Мордовия, Россия,
аспирант кафедры строительных материалов и технологий.
E-mail: Af@atassa.ru

Information about authors:

Elchishcheva Tatyana F.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of Architecture and Urban Planning.
E-mail: elschevat@mail.ru

Erofeev Vladimir T.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, doctor of technical sciences,
professor, director of the Institute of Architecture and Construction, director of the Materials Science Research Institute,
Head of the Department of Building Materials and Technologies.
E-mail: yerofeevvt@mail.ru

Monastyrev Pavel V.

Tambov State Technical University, Tambov, Russia,
corresponding member of RAASN, doctor of technical sciences, associate professor, director of the Institute of
Architecture, Construction and Transport.
E-mail: monastyrev68@mail.ru

Abramova Ekaterina N.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of technical science, Senior Lecturer of the Department of Buildings, Structures and Highways.
E-mail: surekat86@yandex.ru

Afonin Viktor V.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of Automated Information
Processing and Control Systems.
E-mail: vvafonin53@yandex.ru

Erofeeva Irina V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Fundamentals of Architecture and Artistic
Communications».
E-mail: ira.erofeeva.90@mail.ru

Atmanzin Alexey F.

National Research Mordovia State University, Saransk, Russia,
postgraduate student of the department of building materials and technologies.
E-mail: Af@atassa.ru