

УДК: 691.175.743
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2
EDN: BZCPBD



Гипсоцементно-пуццолановый бетон с гидрофобизирующими добавками

Х.А. Кайс¹, Н.Н. Морозова², Р.К. Низамов^{2,3}

¹Университет Саны, г. Сана, Республика Йемен

²Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г. Казань, Российская Федерация

³Академия наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* В настоящее время отмечается рост применения строительных материалов на основе гипсовых вяжущих при реконструкции, ремонте и новом строительстве зданий. К сожалению, высокое водопоглощение и низкая водостойкость этого материала ограничивает его применение для наружных работ. Одним из путей решения этой проблемы является использование поверхностной или объемной гидрофобизации. Цель работы заключается в оценке эффективности гидрофобизаторов для гипсоцементно-пуццолановых бетонов. Для этого решались следующие задачи: изучение влияния различных гидрофобизирующих жидкостей на технологические, механические и гидрофизические свойства мелкозернистого гипсоцементно-пуццоланового бетона при поверхностной и объемной модификации; установление эффективного вида гидрофобизатора и оптимального количества.

Результаты. В работе представлены результаты исследований влияния различных по составу гидрофобизаторов на свойства гипсоцементно-пуццоланового бетона. Основные результаты исследования показали что поверхностная гидрофобизация незначительно увеличивает среднюю плотность бетона (на 1-3 %). При этом рост прочности при сжатии составил 6 %, а при изгибе - 28% относительно контрольных образцов. Одновременно, отмечалось увеличение коэффициента размягчения на 7 % и снижение водопоглощения на 53 %. Объемная гидрофобизация гипсоцементно-пуццоланового бетона позволила повысить коэффициент размягчения изделий на основе исследуемого типа смесей до единицы, снизить водопоглощение до 79 %, увеличить прочность на сжатие на 15 % а при изгибе на 41 %.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что обоснована возможность применять гидрофобизирующие добавки для улучшения водостойкости и прочности гипсоцементно-пуццоланового бетона.

Ключевые слова: гипсоцементно-пуццолановое вяжущее, гидрофобизация, плотность, водопоглощение, прочность при сжатии, прочность при изгибе, коэффициент размягчения

Для цитирования: Кайс Х.А., Морозова Н.Н., Низамов Р.К. Гипсоцементно-пуццолановый бетон с гидрофобизирующими добавками // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 19-32, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2, EDN: BZCPBD

Gypsum-cement-pozzolan concrete with hydrophobic additives

H.A. Qais¹, N.N. Morozova², R.K. Nizamov^{2,3}

¹Sana'a University, Sana'a, Republic of Yemen

²Kazan State University of Architecture and Engineering,
Kazan, Russian Federation

³Academy of Science of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Currently, there is an increase in the use of building materials based on gypsum binders in the reconstruction, repair and new construction of buildings. Unfortunately, high water absorption and low water resistance of this material limit its use for outdoor work. One of the ways to solve this problem is to use surface or volumetric hydrophobization. The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of hydrophobing agents for gypsum cement-pozzolan concrete. For this purpose, the following tasks were solved: studying the effect of various hydrophobic liquids on the technological, mechanical and hydrophysical properties of fine-grained gypsum cement-pozzolan concrete with surface and volumetric modification; establishing an effective type of hydrophobing agent and the optimal amount.

Results. The paper presents the results of studies of the effect of hydrophobing agents of various compositions on the properties of gypsum cement-pozzolan concrete. The main results of the study showed that surface hydrophobization slightly increases the average density of concrete (by 1-3%). At the same time, the increase in compressive strength was 6%, and in bending - 28% relative to the control samples. At the same time, an increase in the softening coefficient by 7% and a decrease in water absorption by 53% were noted. Volumetric hydrophobization of gypsum cement-pozzolan concrete made it possible to increase the softening coefficient of products based on the studied type of mixtures to one, reduce water absorption to 79%, increase compressive strength by 15% and bending strength by 41%.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry is that the possibility of using hydrophobic additives to improve the water resistance and strength of gypsum cement-pozzolan concrete has been substantiated.

Keywords: gypsum cement-pozzolan binder, hydrophobization, density, water absorption, compressive strength, bending strength, coefficient of softening

For citation: Qais H.A., Morozova N.N., Nizamov R.K. Gypsum-cement-pozzolan concrete with hydrophobic additives // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 19-32, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.2, EDN: BZCPBD

1. Введение

Одним из основных показателей строительных материалов является долговечность [1-3], выражаемая в сохранении физико-механических свойств и эстетичного внешнего вида с течением времени, что для конечного потребителя зачастую становится решающим фактором при их выборе.

Бетон на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ), как и цементный, по своей природе является микротрещиноватым, пористым и гидрофильным материалом. Это делает его склонным к проникновению воды внутрь матрицы и является одной из причин снижения долговечности [4]. Вода действует как транспорт ионов, вызывающих коррозионные процессы, которые помимо ослабления матрицы из-за ее реакции с продуктами цементного камня, а также способствуют коррозии стальной арматуры, карбонизации и образованию высолов [5-7]. Кроме этого, в регионах с холодным климатом, капиллярная вода бетона подвергается периодическому замораживанию при колебаниях температуры, вызывая трещинообразование и раскалывание [8]. Некоторая неопределенность в количественной оценке эксплуатационных характеристик бетона создает серьезные проблемы с долговечностью изделий и конструкций, вызывая большие экономические потери из-за необходимости частого их ремонта и обслуживания, приводя

к сокращению срока службы [9, 10]. Для смягчения разрушающих эффектов, связанных с капиллярным подъемом воды в цементном бетоне, предлагается поверхностное или объемное гидрофобизирование [11-13].

Известно, что повышенная водостойкость камня из ГЦПВ, основанная на уменьшении растворимости сульфата кальция, достигается уплотнением гипсоцементной смеси, пропиткой составами, препятствующими проникновению влаги [14], а также введением в состав гидрофобизирующих веществ [15-17]. Так, в работе [15] при объемной гидрофобизации ГЦПВ наиболее эффективными оказались кремнийорганические жидкости марок «Типром®М» (на органическом растворителе) и «ФЭС-50» (полифенилэтоксисилоксан $[C_6H_5Si(OC_2H_5)_n]$), причем «Типром®М» производитель рекомендует только для поверхностной обработки изделий, неподверженных длительному воздействию воды [16]. При этом авторы отмечают не только повышение коэффициента размягчения, но и рост прочности при изгибе и сжатии ГЦПВ-камня. В последующей [17] ими показано, что как и объемная, так и поверхностная модификация ГЦПВ-камня кремнийорганическими жидкостями марок «Типром С», «Типром М», «Типром У» и «ФЭС-50»; позволила достичь только средней и повышенной водостойкости, но есть рост плотности и прочности относительно контрольного состава. Наибольшая плотность модифицированного ГЦПВ-камня достигнута 1610 кг/м^3 против контрольного (немодифицированного) - 1420 кг/м^3 , за счет поверхностной обработки жидкостью «ФЭС-50», при этом предел прочности при сжатии возрос на 34 % и составил 29,1 МПа. Следует отметить, что результаты модификации материалов на основе ГЦПВ рассмотрены без использования заполнителя и оптимизации его фракционного состава.

Повышение водостойкости ГЦПВ, как отмечается в работе [18], возможно за счет введения в его состав ПАВ пластифицирующего действия или кремнийорганических соединений. Так, объемная гидрофобизация полигидросилоксановой жидкостью (ГКЖ-94), водноспиртовыми растворами этилсиликоната натрия (ГКЖ-10) и метилсиликоната натрия (ГКЖ-11) снижают на 25-35% водопоглощение ГЦПВ, с содержанием в вяжущем 30% цемента, а поверхностная гидрофобизация снижает его водопоглощение на 50-70 % и капиллярный подсос - в 1,5-2 раза. Аналогичного эффекта снижения водопоглощения и при этом повышения плотности достигают авторы [19] введением в смесь добавок ПАВ водоредуцирующего действия.

Таким образом, значительные отличия физико-механических показателей разработанных ГЦПВ-бетона [20] и химическим составом гидрофобизирующих материалов [21-23] требует изучения их влияния на свойства поликомпонентной ГЦПВ на основе низкомарочного гипса, бинарной активной минеральной добавки в сочетании с пластифицирующими- водоредуцирующими добавками и высокоплотных бетонов на его основе с целью установления влияния на показатели водостойкости и прочности.

Цель работы заключается в оценке эффективности гидрофобизаторов для ГЦПВ-бетонов. Для этого решались следующие задачи: изучение влияния различных гидрофобизирующих жидкостей на технологические, механические и гидрофизические свойства мелкозернистого ГЦПВ бетона при поверхностной и объемной модификации; установление эффективного вида гидрофобизатора и оптимального количества.

2. Материалы и методы

В экспериментах использовали промышленно выпускаемые строительные материалы и стандартные методы оценки подвижности ГЦПВ смеси и плотности, прочности, водопоглощения ГЦПВ-бетона, а также нестандартные методы исследования водостойкости по коэффициенту размягчения, а также количество ГФ при поверхностной обработке ГЦПВ-бетонных образцов - по коэффициенту насыщения. Коэффициент размягчения (K_p) рассчитывали по формуле (1), а коэффициент насыщения ГФ (K_n) рассчитывали по формуле (2).

$$K_p = \frac{R_{нас}}{R_{сух}}, \quad (1)$$

где $R_{нас}$ - прочность ГЦПВ-бетонных образцов в насыщенном водой состоянии, МПа,

$R_{сух}$ – прочность ГЦПВ-бетонных образцов в высушенном состоянии, МПа.

$$K_n = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где m_1 – масса образцов до обработки, г,

m_2 – масса образцов после ГФ обработки, г.

Объектом исследования являются гидрофобизирующие жидкости (ГФ) различной природы и состава:

- «ГКЖ 136-157М» от ГК «ВитаХим» (г. Казань), представляющий собой метилгидросилоксановый полимер светло-желтого цвета без механических примесей, с содержанием активного водорода - 1,63%, pH - 6,5;

- кремнийорганическое соединение «ФЭС-50» (полифенилэтоксисилоксан) $[C_6H_5Si(OC_2H_5)]_n$, производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2257-441-05763441-2005, жидкость коричневого цвета;

- кремнийорганическая жидкость «ГКЖ-11К» $HO[CH_3SiOKO]_n$ производства ОАО «Химпром» г. Новочебоксарск по ТУ 2229-512-05763441-2007, представляющая собой водный раствор метилсиликоната калия;

- кремнийорганический суперконцентрат «Типром Д» производства ЗАО «САИ» (Россия) по ТУ 2229-070-32478306-2003. Метилсиликонат калия – жидкость от светло-желтого до коричневого цвета; плотность при температуре 25°C – 1,18-1,4 г/см³; реакция среды (pH) – 8-14;

- Sikagard-703 W производства «Sika Russia» по ТУ 2229-070-32478306-2003 - водная эмульсия на основе комбинации силана и силоксана, жидкость белого цвета, плотность ~1,0 кг/л при температуре 20°C – 1,18-1,4 г/см³; реакция среды (pH) – 7-10;

- кремнийорганическое соединение «Dow Corning® MH 1107» – (полиметилгидридсилоксан) - бесцветная жидкость; плотностью при температуре 25°C - 1,002 г/см³; вязкостью при 25°C - 20 мм /с; кислотное число - 0,01;

- гидрофобизатор SHP 50 производства компании «Dow Corning» – порошок белого цвета, легко диспергирующийся в воде, насыпная плотность 650 г/л, средний размер частиц 200-300 μm, (pH) – 7-10;

- ProtectGuard французской фирмы «GUARD INDUSTRIE» - бесцветная жидкость; плотностью при 20°C: 1,0 г/см², с pH – 6.5 ± 0.5. представляющая собой водный раствор фторсодержащего акрилового сополимера (механизм действия заключается в капиллярном подсосе в поры материала с последующей химической реакцией внутри поровой структуры материала с образованием труднорастворимых кристаллических веществ, уплотняющие структуру вблизи поверхности);

- «METACRETE Hydrofob O» – кремнийорганический материал на органическом растворителе, производитель компания ООО «Метакрит» (Россия), плотность при 20°C 0,7–0,9 г/см³, pH – 8 ± 0.5.

Выбор представленных выше ГФ, обоснован литературным анализом и их свойствами, так, кремнийорганическая жидкость «ГКЖ 136-157М» характеризуется наличием активного водорода, имеет молекулы, в которых гидроксильная группа направлена к поверхности твердого вещества и тем самым снижает поверхностное натяжение на границе раздела Т – Ж [24], кремнийорганическое соединение марки «ФЭС-50» выбрано как эффективный ГФ для поверхностной обработки, но использован и для объемной гидрофобизации; кремнийорганические жидкости «ГКЖ 136-157М», «ГКЖ-11К» и «Типром Д» в ряде работ [17, 23] показали свою низкую эффективность в малоплотных и низкопрочных материалах, а от производителя рекомендуется для поверхностной обработки изделий, имеющих щелочную среду pH 12,5 и более, тогда как ГЦПВ с большим количеством цемента характеризуется pH до 11,5. Зарубежные ГФ выбраны для сравнения.

Предметом исследования являются влияние ГФ на технологические свойства ГЦПВ-раствора и физико-механические показатели (прочность, водопоглощение и водостойкость) ГЦПВ-бетона.

ГЦПВ состоит из 60% гипсового вяжущего марки Г-5 производства «Abdullingips»; 25% портландцемента ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Мордовцемент» и 15% составной

активной минеральной добавки (АМД) из цеолитсодержащего мергеля (ЦСП) Татарско - Шатрашанского месторождения РТ и микрокремнезема (МиК) Липецкого металлургического комбината. Оптимальное соотношение компонентов ГЦПВ подобрано в работе [25] из условия получения класса бетона по прочности не менее В30. В качестве водоредуцирующей добавки применялся поликарбоксилатный суперпластификатор марки «ДК-100» (Китай) в количестве 1,5% от массы вяжущего, который представлял собой водный раствор плотностью 1070 кг/м³, оптимальное количество которого определено нами ранее в работе [26]. Смесь ГЦПВ готовили путем смешения измельченных компонентов в лабораторном смесителе Testig.

ГЦПВ-бетон готовился с применением мелкого заполнителя- фракционированного песка оптимального состава, определенного ранее [20]. Соотношение ГЦПВ к песку (П) принималось 1:1. Характеристика песка приведена в табл. 1. Приготовление смесей с гидрофобизаторами выполняли в смесителе Testig последовательно загружая в его емкость необходимого количества воды, пластификатора и песка, перемешивали в течение полминуты, далее загружали ГЦПВ и перемешивали одну минуту и затем дозировали гидрофобизатор и перемешивали одну минуту. После определяли технологические свойства смеси и изготавливали контрольные образцы бетона в металлических формах. Формы помещали в камеру нормального твердения и через одни сутки выполняли распалубку форм. Хранение образцов до испытаний производили в камере нормального твердения.

Таблица 1

Показатели фракционированного песка

Содержание фракций, %					Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %	Модуль крупности
2,5-1,25 мм	1,25-0,63 мм	0,63-0,315 мм	0,315-0,16 мм	< 0,16 мм			
70	15	5	5	5	1665	36,4	3,4

В результате исследования оценивались следующие свойства:

- нормальная густота ГЦПВ-теста: определяли по методике ГОСТ 23789-2018 по диаметру расплыва равному 180 ± 5 мм с использованием цилиндра Суттарда;

- прочность при изгибе и сжатии ГЦПВ-бетона оценивали в возрасте 28 суток твердения в соответствии с ГОСТ 23789-2018 на образцах-балочках с размерами 4x4x16 см;

- водопоглощение ГЦПВ - бетона определяли по методике ГОСТ 23789-2018 на образцах кубиках с размерами 7x7x7 см.

Известным способом определяли водостойкость ГЦПВ - бетона через коэффициент размягчения, который рассчитывали по отношению предела прочности на сжатие образцов в водонасыщенном состоянии (водонасыщение производили в течение 24 часов) к пределу прочности образцов в сухом состоянии.

При поверхностной гидрофобизации ГЦПВ-бетонных образцов фиксировали массу наносимого ГФ и рассчитывали его коэффициентом насыщения ГФ.

Поверхностную гидрофобизацию образцов проводили нанесением ГФ малярной кистью в два слоя на поверхность после достижения бетоном марочной прочности и высушенных в течение суток при температуре 70 °С. Погружение гидрофобизированных образцов в воду выполняли по истечению двух суток хранения на воздухе и предварительно взвешенных.

Механизм объемной гидрофобизации можно представить следующей схемой (рис. 1). Молекулам добавок гидрофобизирующего действия характерно сложное химическое строение с определенным соотношением гидрофильных и гидрофобных групп (цепочек). С одной стороны расположены хорошо растворимые в воде гидрофильные (полярные) группы вида -ОН, -СНО, -СООН, -NH₂ и др., которые являются источником сильного межмолекулярного взаимодействия. С другой - нерастворимые в воде и неспособные к гидратации гидрофобные группы, образованные одной или несколькими длинными цепями, насыщенными углеводородными радикалами (C_nH_{2n+2}). Локализация этих групп среди молекул воды термодинамически невыгодна, поэтому они вытесняют значительную

часть молекул воды, преодолевая притяжение между ними. Сами молекулы добавки могут хемосорбционно связываться на внутренних стенках пор ГЦПВ-камня и блокировать кристаллогидраты, обеспечивая объемную гидрофобизацию. В этом случае добавка адсорбируется на частицах минеральной фазы ГЦПВ в виде «частокола» ориентированных молекул, отталкивая молекулы воды.

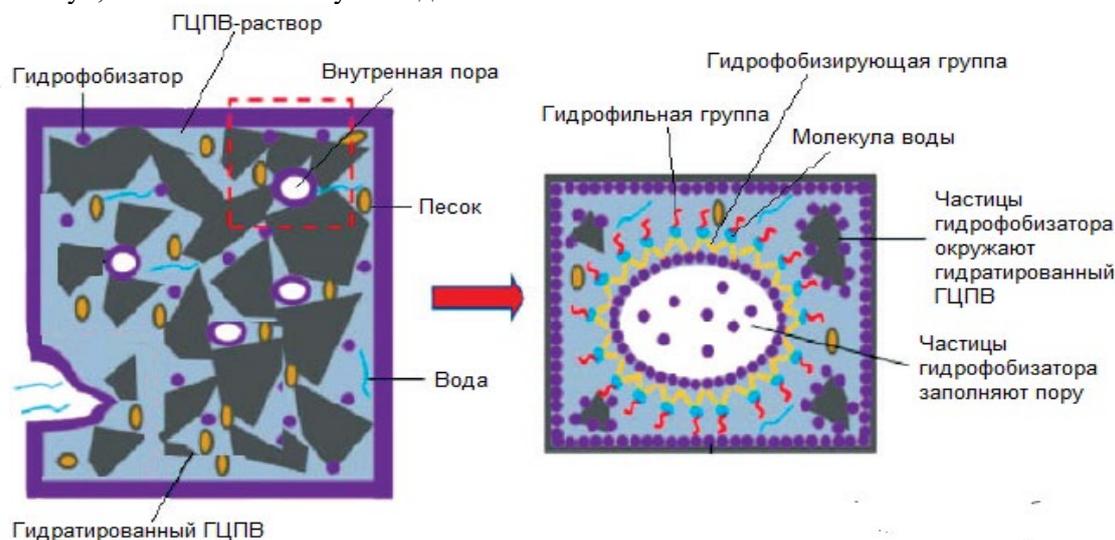


Рис.1. Схема объемной гидрофобизации [27, 28]
Fig. 1. Scheme of volumetric hydrophobization [27, 28]

3. Результаты и обсуждение

Влияние поверхностной обработки ГФ на физико-механические свойства мелкозернистого ГЦПВ-бетона показано в табл. 2.

Таблица 2

Влияние гидрофобизирующих добавок на физико-механические свойства мелкозернистого ГЦПВ-бетона при поверхностной обработке

Наименование ГФ	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Коэффициент насыщения ГФ	Предел прочности бетона в возрасте 28 сут., МПа, при		Водопоглощение, % по массе	Коэффициент размягчения
			изгибе	сжатие		
Без ГФ	2100	-	7,46	48,40	7,18	0,89
ФЭС-50	2152	0,36	9,54	51,47	4,7	0,97
Типром Д	2125	0,18	8,38	50,33	5,3	0,96
ГКЖ-11К	2160	0,27	6,00	49,93	5,7	0,94
Sikagard-703 W	2145	0,09	6,68	50,71	6,4	0,94
ГКЖ 136-157М	2125	0,28	6,42	49,87	6,7	0,95
Hydrofob O	2153	0,09	6,85	49,45	7,3	0,95
ProtectGuard	2120	0,09	7,40	48,85	8,1	0,93

Как видно из табл. 2, поверхностная гидрофобизация ГЦПВ-бетона, в зависимости от вида гидрофобизирующей добавки, приводит к незначительному росту средней плотности бетона, к снижению водопоглощения и повышению коэффициента размягчения. Наилучшие показатели ГЦПВ-бетона получены при поверхностной гидрофобизации кремнийорганической жидкости «ФЭС-50»: водопоглощение снижается почти в 2 раза, есть рост пределов прочности при сжатии (на 6,3%) и изгибе (на 27,9 %). Увеличение коэффициента размягчения на 9 %, вероятно обусловлено образованием кальциевых солей кремнийорганических соединений, кольтирующих поры в бетоне. Эффективность этого гидрофобизатора подтверждается в [15], где поверхностная им обработка повышает предел прочности при сжатии и коэффициент размягчения.

При объемной гидрофобизации, в ранее оптимизированный состав мелкозернистого ГЦПВ-бетона, вводили ГФ в количестве 0,1-0,25% от массы вяжущего. Водотвердое

отношение смеси для всех составов принято 0,3. Результаты по влиянию объемной гидрофобизации на свойства ГЦПВ- смеси и бетона показаны в табл. 3.

Таблица 3

Влияние ГФ на физико-механические свойства мелкозернистого ГЦПВ-бетона при объемном способе гидрофобизации

Наименование ГФ	Кол-во добавки, % от массы вяжущего	Диаметр распыла смеси, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность бетона, МПа, через 28 на		Водопогло щение бетона, % по массе	Коэффициент размягчения
				сжатие	изгиб		
Без ГФ	-	240	2096	48,40	7,46	7,18	0,890
Типром Д	0,1	235	2136	51,80	8,98	6,42	0,956
	0,15	230	2113	53,63	10,50	5,52	0,960
	0,2	225	2095	53,90	10,16	5,02	0,949
	0,25	220	2075	52,77	9,45	5,72	0,940
ФЭС-50	0,1	240	2157	54,00	10,30	5,22	0,995
	0,15	235	2159	55,10	12,12	4,72	0,999
	0,2	235	2166	55,60	11,05	4,32	0,998
	0,25	230	2155	54,00	10,70	4,02	0,986
ГКЖ 136- 157М	0,1	230	2174	49,90	8,10	6,12	0,968
	0,15	220	2188	50,50	8,25	5,22	0,974
	0,2	215	2112	52,50	8,33	4,42	0,958
	0,25	210	2087	50,30	7,70	4,32	0,936
METACRETE HydrofobO	0,1	215	2115	48,60	7,90	7,22	0,904
	0,15	210	2104	49,45	8,70	6,52	0,896
	0,2	195	2097	50,40	9,17	5,62	0,900
	0,25	185	2055	48,84	8,90	5,22	0,918
ProtectGuard	0,1	200	2080	45,00	6,50	8,32	0,880
	0,15	185	2095	43,34	7,15	7,72	0,885
	0,2	170	2076	41,84	6,67	6,82	0,883
	0,25	165	2010	40,52	6,45	6,44	0,880
Sikagard- 703W	0,1	205	2190	47,00	7,80	8,92	0,954
	0,15	195	2235	48,41	8,41	6,92	0,960
	0,2	190	2192	48,24	7,52	5,52	0,950
	0,25	185	2104	47,56	7,64	5,12	0,947
ГКЖ-11К	0,1	195	2015	48,15	7,67	6,32	0,943
	0,15	185	2070	48,46	7,89	5,82	0,950
	0,2	170	2025	49,36	7,47	4,82	0,948
	0,25	160	2001	47,20	7,37	4,92	0,926
Dow Corning® MH 1107	0,1	180	2030	44,82	7,68	8,32	0,883
	0,15	170	2005	42,16	7,51	7,52	0,838
	0,20	165	1991	39,23	7,41	6,72	0,820
	0,25	145	1987	37,22	6,92	6,02	0,794
SHP 50	0,1	175	1998	39,00	6,61	8,62	0,813
	0,15	165	1967	37,70	6,52	7,82	0,794
	0,2	150	1932	36,10	6,22	7,22	0,784
	0,25	135	1915	33,50	6,10	6,82	0,770

Из результатов табл. 3 видно, что большинство гидрофобизаторов уменьшают подвижность ГЦПВ-смеси и тем значительнее, чем больше количество добавки. Более наглядная картина видна на рис. 2. Наряду с уменьшением диаметра распыла смеси у некоторых образцов бетона снижается средняя плотность. Исключение составили образцы с ГФ «ФЭС-50», «ГКЖ 136-157М» и «Sikagard-703 W», показавшие рост средней плотности образцов до 4%.

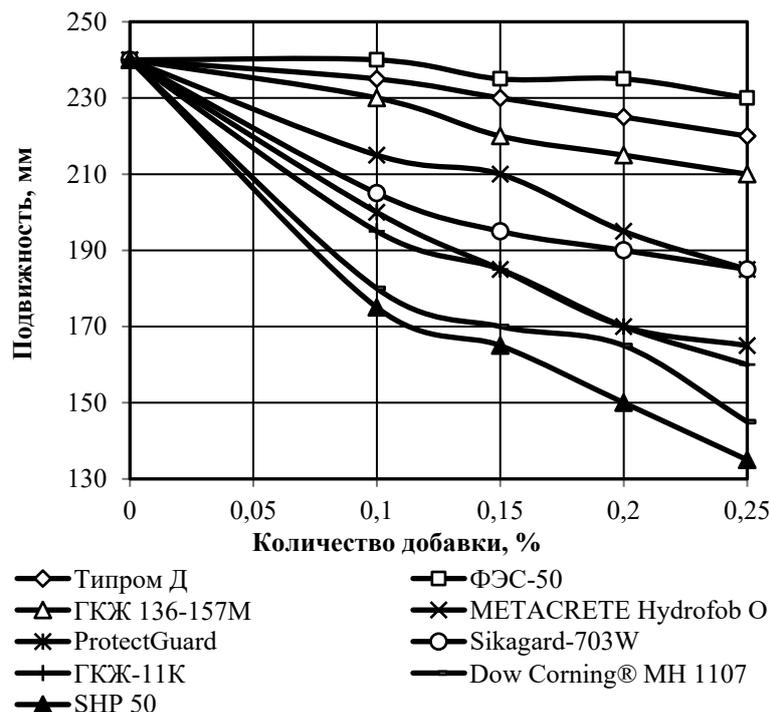


Рис. 2. Влияние вида и количества ГФ на подвижности мелкозернистого ГЦПВ-бетона (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Effect of the amount of hydrophobic agent additive on the mobility of fine-grained GCPB concrete (illustration by the authors)

Эксперименты показали, что добавки марок «ProtectGuard», «Dow Corning® МН 1107» и «SHP 50» снижают коэффициент размягчения с 0,91 (контрольный состав) – до 0,88, 0,8 и 0,77 соответственно. При этом оказалось, что добавка под маркой «МЕТАСРЕТЕ Hydrofob O» в составе ГЦПВ-бетона оказывает малое влияния на водостойкость.

Добавки марок «Типром Д», «ГКЖ 136-157М», «Sikagard-703 W», и «ГКЖ-11К» повышают коэффициент водостойкости ГЦПВ-бетона в среднем на 7-9,4 %, а применение 0,15% «ФЭС-50» увеличивает его на 12,2 %.

Можно так же отметить, что гидрофобизаторы марок «ProtectGuard», «Dow Corning® МН 1107» и «SHP 50» слабо влияют на снижение водопоглощения ГЦПВ-бетона (табл. 3). При дозировке 0,25 % оно уменьшилось с 7,18 % до 6,44, 6,02 и 6,82 %, соответственно. Более эффективными оказались гидрофобизаторы «Типром Д», «МЕТАСРЕТЕ Hydrofob O» и «Sikagard-703 W» позволяющие снизить водопоглощение бетона до 5,72, 5,22 % и 5,12 % соответственно. Наилучший результат показали ГФ марок «ГКЖ-11К» и «ФЭС-50» (рис. 3), которые по сравнению с контрольным составом снизили водопоглощение ГЦПВ-бетона до 5,82, 4,32 и 4,02 %, что обусловлено уплотнением его микроструктуры.

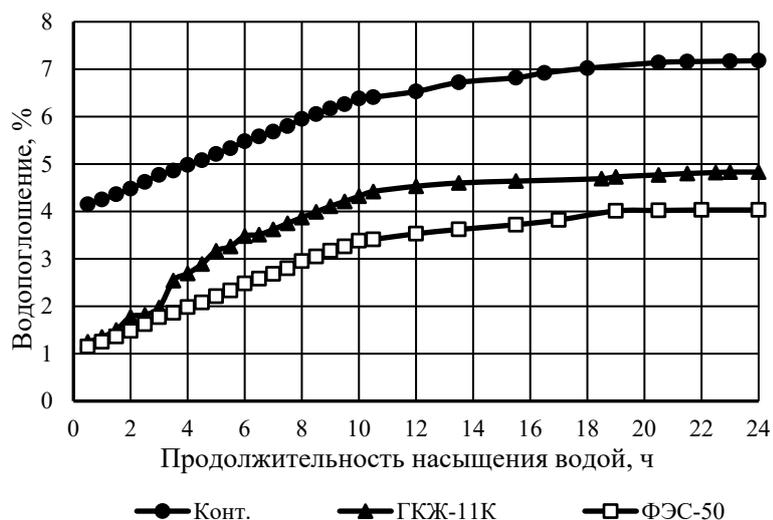


Рис. 3. Кинетика водопоглощения мелкозернистого ГЦПВ-бетона при объемной гидрофобизации (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Kinetics of water absorption of fine-grained GCPB concrete during volumetric hydrophobization (illustration by the authors)

Снижение прочности относительно контрольного состава наблюдается в бетоне с добавлением ГФ «ProtectGuard» и «SHP 50» на 22 % и 16 % при изгибе, а при сжатии – на 19% и 44% соответственно. Гидрофобизаторы марок «Sikagard-703 W», «ГКЖ-11К» и «Dow Corning® МН 1107» не оказали положительного влияния на рост прочностных характеристик бетона. В меньшей степени прирост прочности при изгибе отмечался с «ГКЖ 136-157М»- 11 %, тогда как (рис. 4 и табл. 3), с добавками «Типром Д» и «ФЭС-50» прочность при изгибе увеличилась на 40 и 62 %, соответственно.

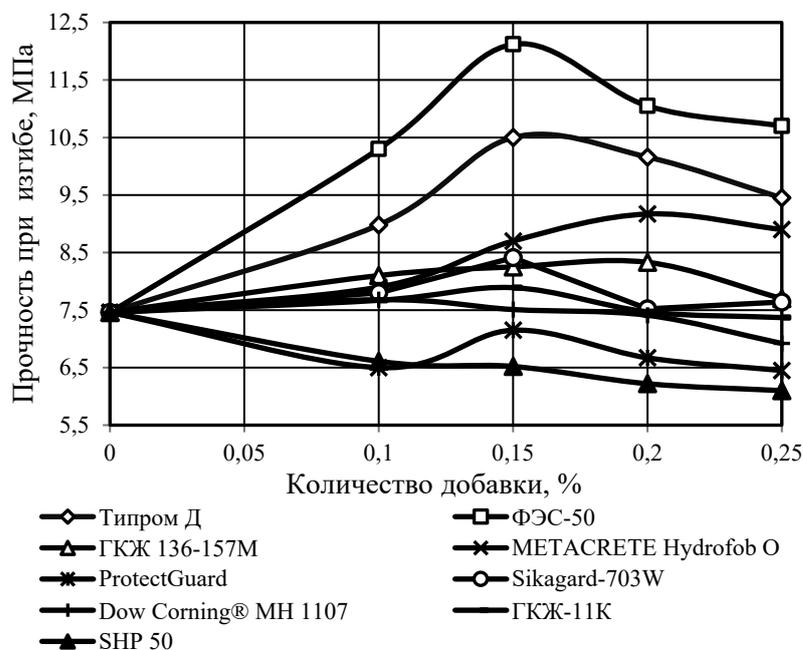


Рис. 4. Влияние вида и количества ГФ на предел прочности при изгибе мелкозернистого ГЦПВ-бетона (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Effect of the amount of hydrophobic agent on the flexural strength of fine-grained GCPB concrete (illustration by the authors)

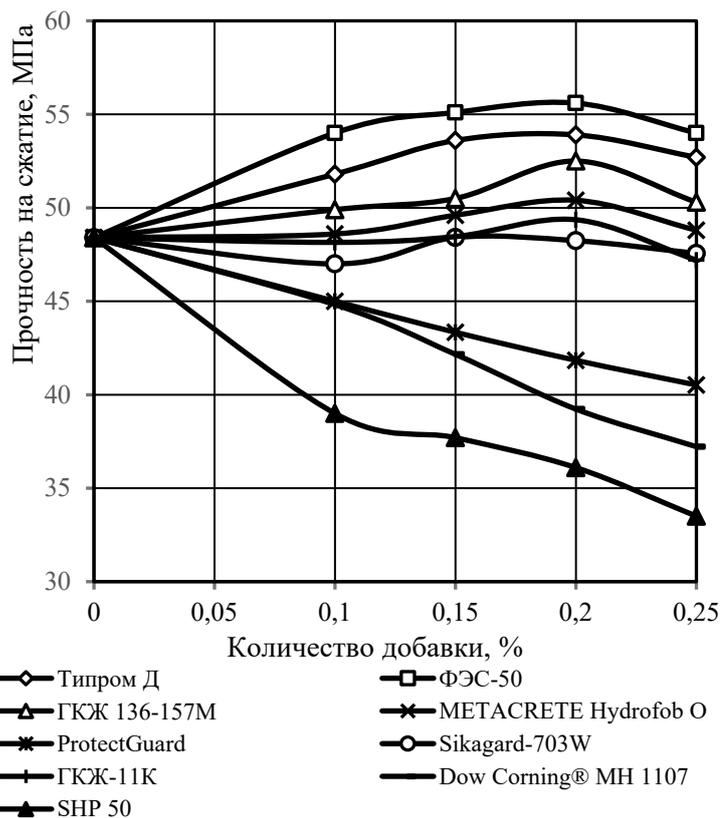


Рис. 5. Влияние вида и количества ГФ на предел прочности при сжатии мелкозернистого ГЦПВ-бетона (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Effect of the type and amount of hydrophobic agent on the compressive strength of fine-grained GCPB concrete (illustration by the authors)

Как видно из рис. 5, введение ГФ «ProtectGuard» и «SHP 50» привели к падению прочности на сжатие на 19% и 44% соответственно в сравнении с контрольным составом. ГФ «Sikagard-703 W» и «ГКЖ-11К» не оказали положительного влияния на рост прочности при сжатии, как и составы с «METACRETE Hydrofob O» и «ГКЖ 136-157М». Наибольшие абсолютные значения прочности при сжатии получены для ГЦПВ-бетона с «Типром Д» и «ФЭС-50», и составили 53,6 и 55,1 МПа, что на 11 и 14 % выше показателей контрольного состава, соответственно (рис. 5). Данные результаты коррелируют с результатами [15, 22], полученные на ГЦПВ камне низкой плотности.

Таким образом, наилучший и максимальный гидрофобизирующий эффект при введении в составе мелкозернистого бетона наблюдается при применении гидрофобизатора «ФЭС-50». В ходе экспериментов отмечено, что повышение его дозировки до 0,25% приводит к проявлению внешних дефектов в виде вспучивания смеси в форме и ее растрескиванию на открытой поверхности (рис. 6). В изломе бетон градиентно-пористый по высоте заливки образцов.



Рис. 6. Вид образцов бетона, содержащих ГФ «ФЭС-50» более 0,25%
 а) увеличение в объеме; б) разрушение с поверхности (иллюстрация авторов)
 Fig. 6. View of concrete samples containing hydrophobic agent “FES-50” more than 0.25%
 а) increase in volume; б) destruction from the surface (illustration by the authors)

Установлено, что на начальном этапе твердения происходит интенсивное газообразование и увеличение объема образца (рис. 6, а), а далее верхний слой бетона растрескивался (рис. 6, б). Поэтому дозировка добавки «ФЭС-50» для гидрофобизации ГЦПВ-бетона должна быть ограничена 0,2 %, причем это граничное значение показано в [15].

4. Заключение

По результатам проведенных исследований были сделаны выводы:

1. Применение поверхностной гидрофобизации приводит к незначительному росту средней плотности бетона (на 1-3 %). Одновременно пределы прочности при сжатии возрастают на 13%, при изгибе - на 28% относительно контрольных образцов. Дополнительно отмечается рост коэффициента размягчения на 9 % и снижение водопоглощения на 53 %. Объемная гидрофобизация ГЦПВ-бетона позволяет увеличить прочность на сжатие на 5-70% и на 0,35-20% - при изгибе, что вероятно обусловлено образованием кальциевых солей кремнийорганических соединений, которые коагулируют поры;

2. Установлена возможность повышения водостойкости ГЦПВ-бетона за счет введения в его состав ПАВ пластифицирующего действия или кремнийорганических соединений. Введение в ГЦПВ-бетон ГФ «ProtectGuard» и «SHR 50» снижают прочность при сжатии на 19% и 44% соответственно в сравнении с контрольным составом. Наибольшие абсолютные значения прочности при сжатии получены для ГЦПВ-бетона модифицированного ГФ «Типром Д» и «ФЭС-50», составившие 53,6 и 55,1 МПа (на 11 и 14 % выше значений контрольного состава);

3. Для объемной гидрофобизации мелкозернистого ГЦПВ-бетона не рекомендуется введение ГФ «ФЭС-50» более 0,25% от массы вяжущего во избежание интенсивного газообразования.

Таким образом, применение в составе мелкозернистого ГЦПВ-бетона комплексной добавки, состоящей из ПД «ДК-100» в количестве 1,5% от массы ГЦПВ-вяжущего и ГФ «ФЭС-50» в количестве 0,15% от массы ГЦПВ-вяжущего позволит получить литой мелкозернистый ГЦПВ-бетон, причем по водостойкости как цементные.

Список литературы / References

1. Курбатов Ю.Е., Кашеварова Г.Г. Определение упругих характеристик цементного камня для прогнозирования усталостной долговечности бетона // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 4. С. 476–486. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.476-486
 Kurbatov Yu.E., Kashevarova G.G. Determination of elastic characteristics of cement stone to predict the fatigue life of concrete // MGSU Bulletin. 2022. Vol. 17. No 4. P. 476-486. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.476-486

2. Батяновский Э.И., Гуриченко Н.С., Корсун А.М. Структура, непроницаемость и долговечность цементного бетона // Наука и техника. 2022. Т. 21, № 1. С. 19–27. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-1-19-27>.
Batyantovskiy E.I., Gurinchenko N. S., Korsun A. M. Structure, Impermeability and Durability of Cement Concrete. Science and Technology. 2022. Vol. 21. No. 1. P. 19–27. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-1-19-27>.
3. Frigione M. et al. Assessment of the Ageing and Durability of Polymers // Polymers. 2022. Issue 14. P. 1934. DOI: 10.3390/polym14101934.
4. Liu Q.F. Progress and research challenges in concrete durability: ionic transport, electrochemical rehabilitation and service life prediction // RILEM Technical Letters. 2022. Vol. 7. P. 98-111. <https://doi.org/10.21809/rilemtechlett.2022.158>.
5. Ganesh R.; Ravikumar P. Polymer modified mortar and concrete present status a review. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. 2016. Vol. 13 (3 Ver VII.). P. 89-100.
6. Бабков В.В., Гафурова Э.А., Реззов О.П., Мохов А.В. Проблемы высолообразования наружных стен зданий на основе вибропрессованных бетонных блоков и способы защиты стен от высолов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 7. С. 14–22.
Babkov V.V., Gafurova E.A., Rezvov O.P., Mokhov A.V. Problems of efflorescence of external walls of buildings based on vibration-pressed concrete blocks and methods of protecting walls from efflorescence // Engineering and Construction Journal. 2012. No. 7. P. 14–22.
7. Морозова Н.Н., Майсурадзе Н.В., Клоков В.В. Исследование гидрофобизации гипсовых и композиционно-гипсовых материалов // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. №16. С. 34-37.
Morozova N.N., Maisuradze N.V., Klokov V.V. Study of hydrophobization of gypsum and composite-gypsum materials // Bulletin of Technological University. 2017. Vol. 20. No. 16. P. 34-37.
8. Şahin Y.; Akkaya Y.; Taşdemir M. Effects of freezing conditions on the frost resistance and microstructure of concrete // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 270. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121458/>
9. Di Mundo R, Petrella A, Notarnicola M. Surface and bulk hydrophobic cement composites by tyre rubber addition // Construction and Building Materials. 2018 Vol. 172. P. 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.233>
10. Al-Tabbaa A. et al. Biomimetic cementitious construction materials for next-generation infrastructure // Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Smart Infrastructure and Construction. 2018. Vol. 171. No. 2. P. 67-76. <https://doi.org/10.1680/jsmic.18.00005>
11. Sidhu J., Kumar P. Hydrophobic Concrete: A Review // Recent Advances in Materials, Mechanics and Structures. 2022. P. 291–302. DOI:10.1007/978-981-19-3371-4_26
12. Shahbazi R., Korayem A., Razmjou A., Duan W., Wang C., Justnes H. Integrally hydrophobic cementitious composites made with waste amorphous carbon powder // Construction and Building Materials. 2020. Vol. 233. 117238. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117238>
13. Богданов Р.Р., Мустафин А.А., Шебанова С.Н. Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства цементных композиций // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. №21. С. 64-66.
Bogdanov R.R., Mustafin A.A., Shebanova S.N. Influence of hydrophobic additives on the properties of cement compositions // Bulletin of Technological University. 2015. Vol. 18. No. 21. P. 64-66.
14. Волженский А.В., Коган Г.С., Арбузов Н.Т. Гипсобетонные панели для перегородок и внутренней облицовки наружных стен. – М.: 1955. – 185 с.
Volzhensky A.V., Kogan G.S., Arbuzov N.T. Gypsum concrete panels for partitions and interior cladding of external walls. – М.: 1955. – 185 p.
15. Galautdinov A.R., Mukhametrahimov R.Kh. The influence of water-repellent admixtures on the water resistance of hardened gypsum-cement-pozzolan paste based on low-grade gypsum // BAUVERLAG BV GMBH, GERMANY. 2019. No. 5. P. 19-25. [Electronic

- resource]. URL: https://www.zkg.de/en/artikel/zkg_The_influence_of_waterrepellent_admixtures_on_the_water_resistance_of-3355268.html
16. Модификатор цвета Типром М (пропитка с гидрофобизирующим свойством) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.sazi-group.ru/modifikator-cveta/tiprom-m/> (дата обращения: 13.11.2024).
Color modifier Tiprom M (impregnation with hydrophobic properties) [Electronic resource]. URL: <https://www.sazi-group.ru/modifikator-cveta/tiprom-m/> (reference date: 13.11.2024).
17. Мухаметрахимов Р.Х., Галаутдинов А.Р. Исследование влияния поверхностной гидрофобизации на водостойкость гипсоцементно-пуццолановых композитов // Вестник технологического университета. 2018. Т. 21. № 4. С. 103-106.
Mukhametrakhimov R.Kh., Galautdinov A.R. Study of the influence of surface hydrophobization on the water resistance of gypsum-cement-pozzolan composites // Bulletin of Technological University. 2018. Vol. 21, No. 4. P. 103-106.
18. Ферронская А.В. Долговечность гипсовых материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
Ferronskaya A.V. Durability of gypsum materials, products and structures. – M.: Stroyizdat, 1984. 256 p.
19. Кудёлко О.А. Использование химических добавок в монолитных бетонных и железобетонных конструкциях. Вестник полоцкого государственного университета. 2010. Серия F. С. 28-37.
Kudelko O.A. Use of chemical additives in monolithic concrete and reinforced concrete structures. Bulletin of Polotsk State University. 2010. Series F. P. 28-37.
20. Morozova N., Kais K., Gilfanov R. Influence of the fractional composition of the aggregate on the technological and strength properties of HCPV concrete // AIP Conference Proceedings. 2022. Vol. 2434. 020009. <https://doi.org/10.1063/5.0091723>.
21. Вдовин Е.А., Строганов В.Ф., Мавлиев Л.Ф. Исследование влияния гидрофобизирующих кремнийорганических соединений на физико-механические свойства грунтов, укрепленных цементом // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Материалы международной научно-практической конференции. Йошкар-Ола: ПГТУ. 2013. С. 363-366.
Vdovin E.A., Stroganov V.F., Mavliev L.F. Study of the influence of hydrophobic organosilicon compounds on the physical and mechanical properties of soils reinforced with cement // Current problems of construction and road complexes: Proceedings of the international scientific and practical conference. Yoshkar-Ola: PSTU. 2013. P. 363-366.
22. Ибрагимов Р.А., Богданов Р.Р., Мустафин А.А. Влияние кремнийорганических соединений на физико-механические свойства мелкозернистого бетона // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 22. С. 97-99.
Ibragimov R.A., Bogdanov R.R., Mustafin A.A. Influence of organosilicon compounds on the physical and mechanical properties of fine-grained concrete // Bulletin of Technological University. 2015. Vol. 18. No. 22. P. 97-99.
23. Войтович В.А., Хряпченкова И.Н., Яворский А.А., Мордвина Е.Н. Гидрофобизация, как способ увеличения объемов потребления гипса в строительстве // Сухие строительные смеси. 2014. № 1. С. 9-11.
Voitovich V.A., Khryapchenkova I.N., Yavorsky A.A., Mordvina E.N. Hydrophobization as a way to increase the volume of gypsum consumption in construction // Dry building mixtures. 2014. No. 1. P. 9-11.
24. Николаева Л.А. и др. Влияние природы гидрофобизатора на сорбционную емкость шлама осветлителей ТЭС // Вода: химия и экология. 2011. № 10. С. 54-57.
Nikolaeva L.A. et al. Influence of the nature of the hydrophobing agent on the sorption capacity of the sludge from thermal power plant clarifiers // Water: Chemistry and Ecology. 2011. No. 10. P. 54-57.
25. Кайс Х.А., Морозова Н.Н. Влияние пластифицирующих добавок на свойства комплексного гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (опыт Республики Йемен)

- // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 8 (788). С. 57–70. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-788-8-57-70.
- Qais H.A., Morozova N.N. Influence of plastifying additives on the properties of complex gypsum-cement-pozzolan binder (experience of the Republic of Yemen) // News of Higher Education Institution. Construction. 2024. No. 8(788). P. 57–70. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-788-8-57-70.
26. Кайс Х.А., Богданов Р.Р., Морозова Н.Н., Мавлюбердинов А.Р., Сулейманова Л.А. Влияние суперпластифицирующих добавок на основе эфира поликарбоксилата на технологические и физико-механические свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. №8. С. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28.
- Qais H.A., Bogdanov R.R., Morozova N.N., Mavlyuberdinov A.R., Suleymanova L.A. The influence of superplasticizing additives based on polycarboxylate ether on the technological and physical-mechanical properties of gypsum-cement-pozzolan binder // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2024. No. 8. P. 20–28. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-8-20-28.
27. Пуценко К.Н., Балабанов В.Б. Перспективы развития и применения сухих строительных смесей на основе гипса // Вестник иркутского государственного технического университета. 2015. № 7 (102). С. 148–154.
- Putsenko K.N., Balabanov V.B. Prospects for the development and application of dry building mixtures based on gypsum // Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2015. No. 7 (102). P. 148–154.
28. Huo J., Wang Z., Guo H., & Wei Y. Hydrophobicity Improvement of Cement-Based Materials Incorporated with Ionic Paraffin Emulsions (IPEs) // Journal Materials. 2020. No 13. Art. 3230 (17 p). DOI:10.3390/ma13143230.

Информация об авторах

Кайс Хамза Абдулмалек, Исследователь, Университет Саны, г. Сана, Республика Йемен
Email: hamza.qais@mail.ru, ORCID: 0009-0000-2805-7760

Морозова Нина Николаевна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

Email: ninamor@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7867-4203

Низамов Рашит Курбангалиевич, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Академик Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Российская Федерация
E-mail: Nizamov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-3448-7369

Information about the authors

Hamza A. Qais, Post-graduate researcher, Sana'a University, Sana'a, Republic of Yemen
Email: hamza.qais@mail.ru, ORCID: 0009-0000-2805-7760

Nina N. Morozova, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Email: ninamor@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7867-4203

Rashit K. Nizamov, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Academic of Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

E-mail: Nizamov@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-3448-7369