



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 66.018.8:620.193.46

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17

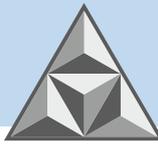
Коррозия стальной арматуры в цементном камне с гидрофобизирующей добавкой под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды

В.С. Коновалова

Виктория Сергеевна Коновалова

Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Российская Федерация

kotprotiv@yandex.ru



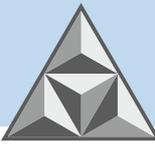
Для повышения долговечности железобетонных изделий важно определять сроки прекращения защиты стальной арматуры бетонным покрытием и разработать способы увеличения коррозионной стойкости бетона в средах высокой степени агрессивности. В цементную смесь вводили 0,3-1,3 мас. % стеарата кальция с целью обеспечения объемной гидрофобизации цементного камня бетона. Система «цементный камень – стальная арматура» подвергалась воздействию 2%-го раствора $MgCl_2$. Через 6 мес. коррозии в агрессивной хлоридсодержащей среде в цементном камне, не содержащем стеарата кальция, происходит нарушение пассивности арматуры, тогда как в цементном камне с добавкой стеарата кальция в течение двух лет потенциал поверхности стали остается неизменным. Малые значения показателей скорости коррозии свидетельствуют об отсутствии повреждений стальной арматуры в цементном камне. Однако агрессивные частицы, накапливающиеся у поверхности арматуры, интенсифицируют коррозию стали. В цементном бетоне марок W4-W16 по водонепроницаемости коррозия стальной арматуры протекает в 2-5 раз медленнее по сравнению с арматурой в бетоне без добавки гидрофобизатора. Коррозия стали в гидрофобизированном бетоне начинается позднее, так как для достижения предельного содержания хлорид-ионов у поверхности арматуры требуется значительно больше времени.

Ключевые слова: гидрофобизирующая добавка, гидрофобизированный бетон, хлоридная коррозия, коррозия арматуры, скорость коррозии

Для цитирования:

Коновалова В.С. Коррозия стальной арматуры в цементном камне с гидрофобизирующей добавкой под воздействием агрессивной хлоридсодержащей среды // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4, № 1. С. 17-33. URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023.

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17



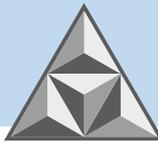
SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17

Corrosion of steel reinforcement in cement brick with a water- repellent agent in a corrosive chloride-containing medium

V.S. Konovalova

Victoriya S. Konovalova
Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russia
kotprotiv@yandex.ru



To increase the durability of reinforced concrete products it is important to determine the period of termination of the steel reinforcement protection with concrete coating, and develop ways to increase the corrosion resistance of concrete in environments with a high degree of corrosion. We enter 0.3-1.3 wt. % of calcium stearate into the cement mixture at the stage of sample preparation to ensure volumetric hydrophobization of cement brick. Also we treated the «cement brick – steel reinforcement» system with 2% $MgCl_2$ solution. The sample of cement brick do not containing calcium stearate has a reinforcement passivity violation after 6 months in a highly corrosive chloride-containing medium. The sample of cement brick containing calcium stearate have not changed during 2 years of testing. Small values of the corrosion rate indicators show the absence of corrosion damage of steel reinforcement in cement brick. However, corrosive particles accumulating at the surface of the reinforcement over time intensify the corrosion of steel. In cement concrete of waterproof grades W4-W16 corrosion of steel reinforcement proceeds 2-5 times slower compared to reinforcement in concrete without the addition of a hydrophobizer. Indeed, corrosion of steel in hydrophobized concrete starts later, as it takes considerably longer to reach the chloride ion limit at the surface of the reinforcement.

Key words: hydrophobizing additive, hydrophobized concrete, chloride induced corrosion, reinforcement corrosion, corrosion rate

For citation:

Konovalova, V.S. (2023) Corrosion of steel reinforcement in cement brick with a water-repellent agent in a corrosive chloride-containing medium, *Smart Composite in Construction*, 4(1), pp.17-33 [online]. Available at: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V4N1_2023 (in Russian).

DOI: 10.52957/27821919_2023_1_17



ВВЕДЕНИЕ

При эксплуатации в различных средах на бетон воздействуют агрессивные вещества широкого спектра. Оценка долговечности связана с ожидаемыми эксплуатационными характеристиками изделия и заключается в установлении факторов, имеющих решающее значение для деструкции материала в зависимости от его состава, свойств и изменений, вызванных взаимодействием материала с внешними агрессивными средами.

Физико-химические процессы деструкции в железобетонных изделиях происходят по причине проникновения воды в структуру бетона [1-5]. Попадание воды в поры происходит по различным механизмам, в зависимости от степени насыщения бетона. При этом большое влияние оказывает микроструктура бетонной массы. Если ненасыщенный бетон находится в водной среде, вода впитывается в поровую структуру благодаря капиллярному всасыванию в отсутствие давления [6, 7].

С целью снижения степени проникновения воды в поровую структуру бетона проводят процесс гидрофобизации. Цель объемной гидрофобизации – уплотнение бетона, преобразование смачиваемых капилляров в несмачиваемые, снижение вредного воздействия растворенных в воде агрессивных веществ.

Гидрофобизирующие добавки, представляющие собой жидкие или порошкообразные вещества, используют для создания водонепроницаемого бетона. Они снижают вероятность попадания воды, уменьшая проницаемость и усадку бетона при высыхании [8]. Их вводят в смесь воды, цемента и заполнителя в небольших количествах, чтобы повысить долговечность бетона, улучшить его свойства и контролировать схватывание или твердение [9-11]. Гидрофобизирующие добавки, в зависимости от вида бетона, раствора или штукатурки, могут различаться по химической природе [8, 12].

Вводимые в состав бетона, они действуют на основе одного или комбинации трех механизмов – снижения капиллярности за счет уменьшения водоцементного соотношения, гидрофобизации капилляров, физической или химической блокировки пор. Для регулирования капиллярности используют реакционноспособные силикаты [13, 14], кальцинированные глины [15, 16], коллоидный диоксид кремния [17, 18], лигносульфонаты [8, 19], нафталинсульфонат формальдегид [8, 20-22], сульфированный меламин-формальдегид [22, 23], эфир поликарбоксилата [24-26]. Гидрофобизация капилляров достигается при введении мыла [27], битума [27, 28], минеральных масел [29, 30], жирных кислот с длинной цепью [8, 31], стеаратов кальция и цинка [32-35], бутилстеарата [36, 37], акриловых смол [38, 39], эмульсий тонких восков [40, 41], силиконов [42, 43], силанов-силоксанов [44, 45]. Так, например, стеараты вступают в химическую реакцию с гидроксидом кальция в составе бетона, в результате чего на стенках пор цементного камня образуется гидрофобный слой из нерастворимого стеарата кальция [46]. Физическая блокировка пор может быть достигнута путем введения инертных порошковых наполнителей – талька [47], бентонита [48], мелкодисперсных восков [49], битумов [50] или акриловых эмульсий [39, 51], эмульсионных бутадиен-стирольных каучуков [52, 53]. Химическая блокировка пор осуществляется с помощью усовершенствованных микротонких скрытых реакционноспособных силикатов [54] или пуццолановых наночастиц [55, 56], обеспечивающих вторичную гидратацию для достижения максимально плотной упаковки геля C-S-H в цементной матрице в наномасштабе. В вышеуказанных материалах для перекристаллизации и образования новых стабильных фаз C-S-H и C-A-S-H в присутствии воды применяется свободная известь Ca(OH)₂ [57].



Положительное действие от гидрофобизации бетона обычно заключается в том, что этот вид обработки продлевает период до начала коррозии. Когда начинается коррозия, гидрофобность пор цементного камня эффективно препятствует проникновению жидкой среды и снижает скорость коррозии [58]. Отсутствие проникновения хлоридов в гидрофобизированный бетон было обнаружено на пирсе автомагистрали после семи лет эксплуатации [59]. Гидрофобизирующие добавки не оказывают негативного влияния на прочность бетона, вместо этого некоторые бетоны обладают повышенной прочностью [11, 60]. Поскольку водоотталкивающие средства равномерно распределены по объему бетона, они не приводят к изменению внешнего вида изделия. Кроме того, гидрофобные добавки эффективны для уменьшения высолов, поскольку в их присутствии снижается миграция воды по объему бетона [61, 62].

Цель работы – исследование коррозионной стойкости железобетона с гидрофобизирующими добавками в агрессивной хлоридсодержащей среде. Чтобы оценить вклад гидрофобизации в долговечность конструкции, необходимо знать, насколько эффективно этот способ обработки препятствует проникновению агрессивных веществ и как долго сохраняется эффект от введения добавок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования проводили на прутках стальной арматуры класса проката А500С, которые в цилиндрической форме заливали цементным раствором, изготовленным из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н с В/Ц = 0.3.

Во время замешивания цементного раствора в качестве гидрофобизирующей добавки вводили стеарат кальция. Для определения марки бетона по водонепроницаемости применяли методики, описанные в патенте РФ № 2187804 «Способ определения водонепроницаемости цементных материалов» и МИ 2625-2000 «Рекомендация ГСИ. Материалы цементные. Методика выполнения измерений водонепроницаемости ускоренным методом». Количество вводимой добавки и марки бетона по водонепроницаемости указаны в табл. 1.

Таблица 1. Содержание гидрофобизирующей добавки в цементном камне

Table 1. The content of a water-repellent agent in cement brick

№ образца	Количество стеарата кальция, мас. %.	Марка бетона по водонепроницаемости
1	–	–
2	0.3	W4
3	0.5	W6
4	0,7	W8
5	0.8	W10
6	1.1	W14
7	1.3	W16

Коррозионные испытания проводили после отверждения образцов цементного камня на воздухе в течение 28 сут. Цементный камень помещали в емкости, заполненные агрессивной средой 2%-м раствором $MgCl_2$. Концентрация раствора $MgCl_2$ $20 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ принята как агрессивная по отношению к бетону в соответствии с СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии».

В течение 24 мес. измеряли потенциал арматуры в цементном камне. Электродный потенциал поверхности стальной арматуры в бетоне определяли неразрушающим методом (см. рис. 1).

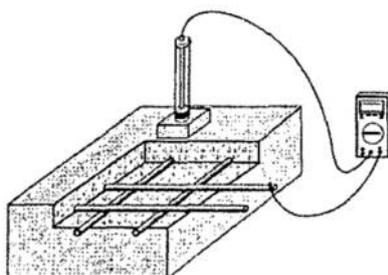


Рис. 1. Измерение потенциала поверхности арматуры в бетоне методом потенциалов полуэлемента с одним электродом сравнения

Fig. 1. Measurement of the reinforcement surface potential in concrete by the method of half-element potentials with one reference electrode

Измерение осуществляли путем установки на бетонную поверхность через увлажненную губку электрода сравнения, подключенного к отрицательному полюсу вольтметра. Положительный полюс вольтметра подключали к стальной арматуре, проводили фиксацию данных после стабилизации показаний прибора. Показания считали стабильными, если они оставались неизменными в течение как минимум 15 с в режиме работы прибора с дискретностью 1 мВ.

Для пересчета потенциала стальной арматуры E_{Me} достаточно к измеренному по данной методике потенциалу $E_{изм}$, взятому со своим знаком, прибавить потенциал электрода сравнения $E_{э.с.}$:

$$E_{Me} = E_{изм} + E_{э.с.} \quad (1)$$

Измерение поляризационного сопротивления проводили при переменном токе в двухэлектродной ячейке, представляющей собой стакан с крышкой, где были закреплены электроды (рис. 2). Рабочим электродом являлись образцы арматуры в цементном камне. Расстояние между рабочими частями электрода составляло 20 мм. Ячейку заполняли исследуемым раствором, затем ее подключали к измерительному прибору. Показания снимали относительно хлорсеребряного электрода сравнения. Сопротивление исследуемой системы регистрировали в течение 30 мин при комнатной температуре – первые 5 мин каждые 20 с, затем до конца опыта – каждые 60 с.

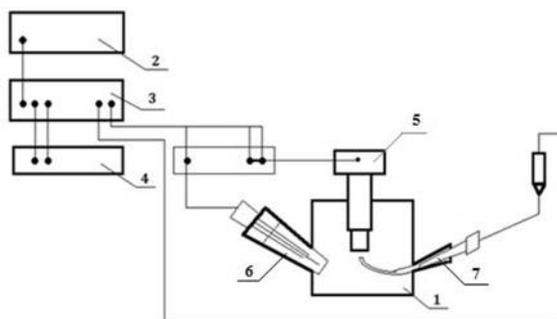


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для проведения поляризационных измерений:
1 – электрохимическая ячейка; 2 – программатор ПР-8; 3 – потенциостат ПИ-50-1;
4 – двухкоординатный регистрирующий прибор ПДА-1; 5 – рабочий электрод (р.э.);
6 – вспомогательный электрод (в.э.); 7 – электрод сравнения (э.с.)

Fig. 2. Scheme of the experimental setup for conducting polarization measurements: 1 – electrochemical cell;
2 – programmer PR-8; 3 – potentiostat PI-50-1; 4 – two-coordinate recording device PDA-1;
5 – working electrode (w.e.); 6 – auxiliary electrode (a.e.); 7 – reference electrode (r.e.)



Поляризационные измерения, кроме информации об электрохимическом поведении стальной арматуры в цементном камне, позволили рассчитать показатели скорости коррозии:

$$K_m^- = \frac{j \cdot A}{z \cdot 26.8} \quad (2)$$

$$K_h = K_m^- \cdot \frac{8.76}{\rho_{me}}, \quad (3)$$

где K_m^- – отрицательный показатель изменения массы, $г \cdot ч^{-1} \cdot м^2$; j – плотность тока коррозии, $А \cdot м^{-2}$; A – атомная масса металла, $г \cdot моль^{-1}$; z – валентность иона металла, переходящего в раствор; 26.8 – постоянная Фарадея, $А \cdot ч^{-1} \cdot моль^{-1}$; K_h – глубинный показатель коррозии, $мм \cdot год^{-1}$; ρ_{me} – плотность металла, $г \cdot см^{-3}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Находящаяся в цементном камне стальная арматура на начальном этапе не меняет потенциал вследствие наличия пассивной пленки на ее поверхности (рис. 3). Пассивность стальной арматуры в цементном камне сохраняется в течение 6 мес. воздействия на систему агрессивной хлоридсодержащей среды, затем потенциал поверхности начинает медленно сдвигаться в отрицательную сторону.

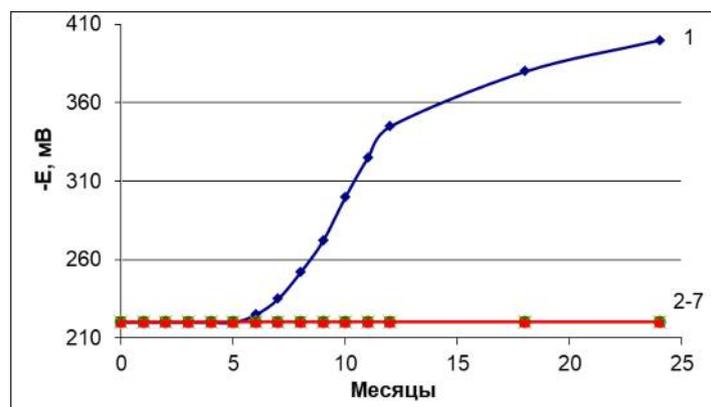


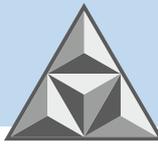
Рис. 3. Изменение потенциала арматуры из стали класса проката А500С в цементном камне в условиях жидкостной коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$: линия 1 – без добавки; линии 2-7 – гидрофобизированный бетон различных марок по водонепроницаемости (см. табл. 1)

Fig. 3. Change in the potential of reinforcement made of rolled steel A500C in cement brick in liquid corrosion medium of 2% $MgCl_2$ solution: line 1 – without additives; lines 2-7 – hydrophobized concrete of various grades for water resistance (see Table 1)

При достижении потенциала ниже -350 мВ поверхность стали переходит в активное состояние, в котором с низкой скоростью происходит развитие коррозионных процессов [63]. Дальнейшее снижение потенциала свидетельствует о том, что коррозионный процесс интенсифицируется и становится катодно контролируемым. Через 18 мес. изменение потенциала замедляется, что объясняется перепассивацией поверхности вследствие образования продуктов коррозии.

В течение 24 мес. испытаний в гидрофобизированных бетонах потенциал поверхности стальной арматуры не изменялся, следовательно, коррозионные процессы в данном случае не инициировались.

Поляризационные кривые (рис. 4) показывают, что для стальной арматуры в цементном



камне без добавки характерны более высокие значения плотности коррозионного тока; значит, коррозионное разрушение будет сильнее.

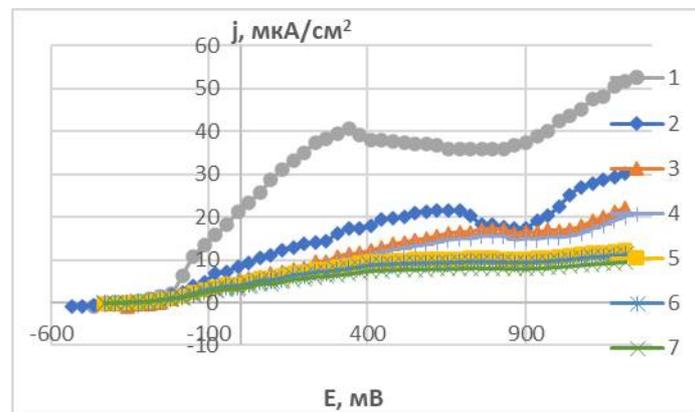


Рис. 4. Поляризационные кривые арматуры из стали класса проката А500С в цементном камне, находящемся в условиях жидкостной коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$: линия 1 – без добавки; линии 2-7 – гидрофобизированный бетон различных марок по водонепроницаемости (см. табл. 1)

Fig. 4. Polarization curves of fittings made of rolled steel A500C in cement brick in liquid corrosion medium of 2% $MgCl_2$ solution: line 1 - without additives; lines 2-7 – hydrophobized concrete of various grades for water resistance (see Table 1)

При достижении значения -290 мВ начинается анодное разрушение поверхности арматуры. Этот процесс находится в активной стадии до повышения потенциала к уровню $+760$ мВ. После непродолжительной пассивации поверхности стали начинается питтингообразование.

Анодное растворение стальной арматуры, находящейся в гидрофобизированном цементном камне, осуществляется при потенциале -255 мВ. При достижении потенциала $+340$ мВ поверхность стали переходит в активно-пассивное состояние. С увеличением содержания стеарата кальция в составе цементного камня происходит сглаживание поляризационных кривых (рис. 4, линии 5-7). Это свидетельствует о длительном сохранении пассивного состояния арматуры. Пассивность стали не нарушается в связи с замедлением поступления хлорид-ионов к поверхности металла; цементный камень вследствие осаждения в поровой структуре гидрофобизатора обладает повышенной плотностью.

Ниже (табл. 2) представлена скорость коррозии стальной арматуры в цементном камне в условиях воздействия агрессивной хлоридсодержащей среды, определяемая выражениями (2) и (3) по результатам поляризационных измерений.

Таблица 2. Показатели скорости коррозии стальной арматуры А500С в цементном камне после коррозии в 2%-м растворе $MgCl_2$ в течение 24 мес.

Table 2. Corrosion rates of A500C steel reinforcement in cement brick after corrosion in 2% $MgCl_2$ solution for 24 months

K_m Номер образца	Показатель изменения массы, $г \cdot ч^{-1} \cdot м^2$	Глубинный показатель коррозии K_b , $мм \cdot год^{-1}$
1	$4.26 \cdot 10^{-3}$	$4.77 \cdot 10^{-3}$
2	$2.24 \cdot 10^{-3}$	$2.51 \cdot 10^{-3}$
3	$1.79 \cdot 10^{-3}$	$2.01 \cdot 10^{-3}$
4	$1.63 \cdot 10^{-3}$	$1,83 \cdot 10^{-3}$
5	$0.98 \cdot 10^{-3}$	$1.10 \cdot 10^{-3}$
6	$0.82 \cdot 10^{-3}$	$0.92 \cdot 10^{-3}$
7	$0.81 \cdot 10^{-3}$	$0.91 \cdot 10^{-3}$

Когда у поверхности стальной арматуры накапливаются хлорид-ионы, количество которых достаточно для нарушения пассивности и начала коррозионного разрушения,



коррозия арматуры в негидрофобизированном цементном камне протекает в 1.9 раз быстрее, чем в образце марки W4 по водонепроницаемости. С увеличением содержания стеарата кальция скорость коррозии арматуры в бетоне уменьшается в 2.5-5.0 раз.

Однако для достижения предельной концентрации агрессивных веществ у поверхности стальной арматуры в гидрофобизированном бетоне требуется значительно больше времени. Установлено [58], что пороговое значение концентрации хлорид-ионов достигается через три года в бетонах марок W6 и W8 по водонепроницаемости. Для накопления такого количества хлорид-ионов у поверхности арматуры в бетоне без гидрофобизирующих добавок в условиях действия 2%-го раствора $MgCl_2$ понадобится 6 мес.

Расчетные сроки начала развития коррозионных процессов на поверхности стальной арматуры в бетоне подтверждают результаты замеров потенциала арматуры в цементном камне, находящемся в 2%-м растворе $MgCl_2$ (см. рис. 3).

ВЫВОДЫ

Объемная гидрофобизация за счет осаждения в порах нерастворимого стеарата кальция приводит к повышению плотности цементного камня, уменьшению объема поступающей внутрь бетона агрессивной среды, замедлению коррозии стальной арматуры.

Установлено, что изменение электродного потенциала поверхности стальной арматуры в бетоне начинается через 6 мес. нахождения образцов в 2%-м растворе $MgCl_2$, тогда как для гидрофобизированных бетонов потенциал арматуры в течение двух лет остается неизменным.

С учетом скорости коррозии стальной арматуры в бетоне, растворение металла на начальном этапе эксплуатации в жидкой хлоридсодержащей среде происходит медленно. За счет введения стеарата кальция в цементную смесь на стадии изготовления бетона можно значительно увеличить период сохранения пассивного состояния поверхности арматурной стали в бетоне, снизить скорость коррозии после накопления критической концентрации хлорид-ионов у поверхности арматуры. Это обеспечивает продление срока безремонтной службы железобетонного изделия в жидких хлоридсодержащих средах, отличающихся высокой степенью агрессивности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Степанова В.Ф.** Долговечность бетона. М.: Издательство АСВ, 2014. 126 с.
2. **Алексеев С.Н.** Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: Стройиздат, 1968. 232 с.
3. **Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузев Е.А.** Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
4. **Bertolini L., Elsener B., Pedeferri P., Redaelli E., Polder R.B.** Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 2013. 434 p.
5. **Asamoto S., Sato J., Okazaki S., Chun P.-j., Sahamitmongkol R., Nguyen G.H.** The Cover Depth Effect on Corrosion-Induced Deterioration of Reinforced Concrete Focusing on Water Penetration: Field Survey and Laboratory Study // *Materials*. 2021. Vol. 14, iss. 13. P. 3478. DOI: 10.3390/ma14133478
6. **Баженов Ю.М.** Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. 524 с.
7. **Claisse P.A.** *Transport Properties of Concrete: Modelling the Durability of Structures*. Second Edition. Woodhead Publishing, 2020. 328 p.
8. Добавки в бетон / под ред. В.С. Рамачандран и др. М.: Стройиздат, 1988. 575 с.
9. **Богданов Р.Р., Ибрагимов Р.А., Изотов В.С.** Исследование влияния отечественных



гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 4 (26). С. 207-210.

10. **Суздальцев О.В., Калашников В.И., Мороз М.Н., Ерофеева И.В.** Влияние порошкового гидрофобизатора на прочность и водопоглощение архитектурно-декоративных бетонов нового поколения // *Молодой ученый*. 2015. № 5 (85). С. 186-189.
11. **Tuskaeva Z., Karyayev S.** Influence of various additives on properties of concrete // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 164. P. 14007. DOI: 10.1051/e3sconf/202016414007.
12. **Юхневский П.И.** Влияние химической природы добавок на свойства бетонов. Минск: БНТУ, 2013. 310 с.
13. **Сафаров К.Б.** Применение реакционноспособных заполнителей для получения бетонов, стойких в агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2015. № 7. С. 17-20.
14. **Cappellesso V.G., dos Santos Petry N., Dal Molin D.C.C., Masuero A.B.** Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete // *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*. 2016. Vol. 1. Article no. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
15. **Гросс Ш., Майер Х.В., Хеерше П.Х.** Кальцинированная глина как компонент цемента и бетона // *Цемент и его применение*. 2019. № 4. С. 102-107.
16. **Jaskulski R., Józwiak-Niedźwiedzka D., Yakymchko Y.** Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material. *Materials*. 2020. Vol. 13, iss. 21. P. 4734. DOI: 10.3390/ma13214734.
17. **Флорес-Вивриан И., Прадото Р., Моини М., Кожухова М.И., Потапов В.В., Соболев К.Г.** Влияние SiO₂-наночастиц на свойства цементных материалов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2018. № 11. С. 6-16. DOI: 10.12737/artide_5bf7e352d68e96.02791207.
18. **Geng Y., Li S., Hou D., Chen X., Jin Z.** Effect of SiO₂ Sol/Silane Emulsion in Reducing Water and Chloride Ion Penetration in Concrete // *Coatings*. 2020. Vol. 10, iss. 7. P. 682. DOI: 10.3390/coatings10070682
19. **Breilly D., Fadlallah S., Froidevaux V., Colas A., Allais F.** Origin and industrial applications of lignosulfonates with a focus on their use as superplasticizers in concrete // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 301. P. 124065. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124065.
20. **Dvorkin L.I.** The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2020. Vol. 93, no. 1. P. 121-133. DOI: 10.18720/MCE.93.10.
21. **Qin Y.L., Bai M.X., Zhang Z.M., Yang D.J.** Adsorption Behavior of Naphthalene Sulfonate Formaldehyde Condensate with Different Molecular Weights on the Cement Particle Surface // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 557-559. P. 870-876. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.870
22. **Khudhair M.H.R., Elyoubi M.S., Elharfi A.** Study of the influence of water reducing and setting retarder admixtures of polycarboxylate «superplasticizers» on physical and mechanical properties of mortar and concrete // *Journal of Materials and Environmental Sciences*. 2018. Vol. 9, iss. 1. P. 56-65. DOI: 10.26872/jmes.2018.9.1.7.
23. **Ramachandran V.S., Lowery M.S., Malhotra V.M.** Behaviour of ASTM Type V cement hydrated in the presence of sulfonated melamine formaldehyde // *Materials and Structures*. 1995. Vol. 28. P. 133-138. DOI: 10.1007/BF02473220.
24. **Богданов Р.Р., Пашаев А.В., Журавлев М.В., Калимуллин А.А.** Гиперпластификаторы на основе эфира поликарбоксилата и полиарила и их влияние на физико-технические свойства цементных композиций // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2018. № 4 (46). С. 265-273.
25. **Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В.** Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 6 (21). С. 58-69.
26. **Paktiawal A., Alam M.** Effect of polycarboxylate ether-based superplasticizer dosage on fresh



- and hardened properties of cement concrete // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1166. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1166/1/012013.
27. **Хигерович М.И., Байер В.Е.** Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 126 с.
28. **Misnikov O.S., Chertkova E.Yu.** Hydrophobic modification of mineral binders by additives produced from peat // *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. P. 63-68.
29. **Гречухин В.А.** Ремонтные бетоны с добавкой из вторичных продуктов производства минеральных масел // *Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F. Строительство. Прикладные науки*. 2015. № 8. С. 120-126.
30. **Badikova A.D., Sakhigareev S.R., Fedina R.A., Rakhimov M.N., Tsadkin M.A.** Effective mineral additive on the basis of wastes of petrochemical plants for a concrete structural mix. *Nanotechnologies in Construction*. 2020. Vol. 12, no. 1. P. 34-40. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-34-40. URL: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-1-2020/34-40.pdf
31. **Albayrak A.T., Yasar M., Gurkaynak M.A., Gurgey I.** Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement // *Cement and Concrete Research*. 2005. Vol. 35, iss. 2. P. 400-404. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.07.031.
32. **Мороз М.Н., Калашников В.И., Худяков В.А., Василик П.Г.** Водостойкий мелкозернистый бетон, гидрофобизированный наночастицами стеарата кальция // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 55-59.
33. **Nemati Chari M., Naseroleslami R., Shekarchi M.** The impact of calcium stearate on characteristics of concrete // *Asian Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 20. P. 1007-1020. DOI: 10.1007/s42107-019-00161-x.
34. **Калашников В.И., Мороз М.Н., Нестеров В.Ю., Хвастунов В.Л., Макридин Н.И., Василик П.Г.** Металлоорганические гидрофобизаторы для минерально-шлаковых вяжущих // *Строительные материалы*. 2016. № 10. С. 38-39.
35. **Lanzón M., Martínez E., Mastre M., Madrid J.A.** Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 139. P. 114-122. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.055.
36. **Cellat K., Tezcan F., Kardaş G., Paksoy H.** Comprehensive investigation of butyl stearate as a multifunctional smart concrete additive for energy-efficient buildings // *International Journal of Energy Research*. 2019. Vol. 43, iss. 13. P. 7146-7158. DOI: 10.1002/er.4740.
37. **Kurdi A., Almoatham N., Mirza M., Ballweg T., Alkahlan B.** Potential Phase Change Materials in Building Wall Construction – A Review // *Materials*. 2021. Vol. 14, iss. 18. P. 5328. DOI: 10.3390/ma14185328.
38. **Liu X., Song X., Wang Z., Xia C., Li T., Li X., Xu Q., Cui S., Qian S.** Polymer for Internal Hydrophobization of Cement-Based Materials: Design, Synthesis, and Properties // *Polymers*. 2021. Vol. 13, iss. 18. P. 3069. DOI: 10.3390/polym13183069.
39. **Крисман А.Е.** Модифицирование бетонной смеси дисперсией акриловой, ее влияние на эксплуатационные характеристики бетона // *NovaInfo.ru* 2017. № 66. С. 22-32.
40. **Sharma N., Sharma P.** Effect of hydrophobic agent in cement and concrete: A Review // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1116. P. 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/1116/1/012175.
41. **Соловьев В.Г., Еремин А.В., Елисеев Д.М., Бурьянов А.Ф.** Повышение водостойкости гипсового вяжущего парафиновой эмульсией // *Строительные материалы*. 2017. № 1-2. С. 45-49.
42. **Бутакова М.Д., Михайлов А.В., Сарибекян С.С.** Влияние кремний содержащих добавок на свойство водонепроницаемости бетонных образцов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2017. Т. 17, № 2. С. 34-41. DOI: 10.14529/build170205.



43. **Zhang P., Shang H., Hou D., Guo S., Zhao T.** The Effect of Water Repellent Surface Impregnation on Durability of Cement-Based Materials // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 2017. Article ID 8260103. DOI: 10.1155/2017/8260103.
44. **Христофоров А.И., Христофорова И.А., Еропов О.Л.** Бетонная смесь, модифицированная аэросилом и тетраэтоксисилоаном // *Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии*. 2011. Т. 4, № 6. С. 704-710.
45. **Grabowska K., Koniorczyk M.** Internal hydrophobization of cement mortar by addition of siloxanes // *MATEC Web of Conferences*. 2019. Vol. 282. P. 02030. DOI: 10.1051/mateconf/201928202030. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2019/31/mateconf_cesbp2019_02030.pdf
46. **Maryoto A., Setijadi R., Widyaningrum A., Waluyo S.** Drying Shrinkage of Concrete Containing Calcium Stearate, $(Ca(C_{18}H_{35}O_2)_2)$, with Ordinary Portland Cement (OPC) as a Binder: Experimental and Modelling Studies // *Molecules*. 2020. Vol. 25, iss. 21. P. 4880. DOI: 10.3390/molecules25214880.
47. **Azad A., Mousavi S.F., Karami H., Farzin S.** Application of Talc as an Eco-Friendly Additive to Improve the Structural Behavior of Porous Concrete // *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. 2019. Vol. 43. (Suppl. 1). P. 443-453. DOI: 10.1007/s40996-018-0177-1.
48. **Lima-Guerra D.J., Mello I., Resende R., Silva R.** Use of Bentonite and Organobentonite as Alternatives of Partial Substitution of Cement in Concrete Manufacturing // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2014. V.8. P. 15-26. DOI: 10.1007/s40069-013-0066-8.
49. **Raheem S.A., Saheb M.A., Moula H.H., Maula B.H., Alshreefi R.A., Bahnam Q.M.** Improve Light Weight Concrete Characteristics by Adding Paraffin Wax as Moisture Proof // *Materials Science Forum*. 2019. Vol. 972. P. 16-25. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.972.16
50. **Пыжов А.С.** Технология получения и применения укатываемого дорожного цементного бетона с дисперсным битумом // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2010. № 3 (28). С. 239-251.
51. **Anikina N.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N., Zaharova E.A.** Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 81, no. 5. P. 116-124. DOI: 10.18720/MCE.81.12.
52. **Yao S.Y., Ge Y.** Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties. *Advanced Engineering Forum*. 2012. Vol. 5. P. 283-288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/aef.5.283.
53. **Abdo Sh., Galishnikova V.V., Fawzy A.M.** Properties of recycled aggregate pervious concrete modified with Styrene Butadiene Rubber Latex // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. Vol. 108, no. 8. Article No. 10805. DOI: 10.34910/MCE.108.5.
54. **Kim M.J., Park E.S., Hwang W.I., Cho W.J.** Effect of FNS Incorporation on the Properties of Ternary Blended Cement Containing Blast Furnace Slag and Fly Ash // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022. Vol. 2022. Article ID 1047648. DOI: 10.1155/2022/1047648
55. **Sychova A.M., Svatovskaya L.B., Starchukov D.S., Soloviova V.Y., Gravit M.V.** The improving of the concrete quality in a monolithic clip // *Magazine of Civil Engineering*. 2018. Vol. 80, no. 4. P. 3-14. DOI: 10.18720/MCE.80.1.
56. **Cardenas H., Kupwade-Patil K., Eklund S.** Corrosion Mitigation in Mature Reinforced Concrete Using Nanoscale Pozzolan Deposition // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2011. Vol. 23, iss. 6. P. 752-760. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000194.
57. **De Souza Oliveira A., Gomes O.F.M., Ferrara L., Fairbairn E.M.R., Filho R.D.T.** An overview of a twofold effect of crystalline admixtures in cement-based materials: from permeability-reducers to self-healing stimulators // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 41. P. 102400. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102400.
58. **Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваев И.В.** Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2018. № 4 (56). С. 93-99.



59. **Basheer P.A.M., Basheer L., Cleland D.J., Long, A.E.** Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance // *Construction and Building Materials*. 1997. Vol. 11, iss. 7-8. P. 413-429. DOI: 10.1016/S0950-0618(97)00019-6.
60. **Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Караваяев И.В.** Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 4 (63). С. 113-118. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-113-118.
61. **Бабков В.В., Гафурова Э.А., Резвов О.А., 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. DOI: 10.5862/МСЕ.33.2.
62. **Zhu H., Wang P., Zhang G.** Effect of hydrophobic agent on efflorescence of portland cement-based decorative mortar // *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*. 2014. Vol. 17, no. 5. P. 882-886, 900. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9629.2014.05.021.
63. **Tuutti K.** Corrosion of Steel in Concrete. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. 1982. 468 p. DOI: 10.4324/9780203475287.ch2.

Поступила в редакцию 21.02.2023

Одобрена после рецензирования 17.03.2023

Принята к опубликованию 20.03.2023

REFERENCES

1. **Stepanova, V.F.** (2014) *Durability of concrete*. M.: ASV Publishing House (in Russian).
2. **Alekseev, S.N.** (1968) *Corrosion and protection of reinforcement in concrete*. M.: Stroyizdat (in Russian).
3. **Moskvin, V.M., Ivanov, F.M., Alekseev, S.N. & Guzeev, E.A.** (1980) *Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection*. M.: Stroyizdat (in Russian).
4. **Bertolini, L., Elsener, B., Pedferri, P., Redaelli, E. & Polder, R.B.** (2013) *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
5. **Asamoto, S., Sato, J., Okazaki, S., Chun, P.-j., Sahamitmongkol, R. & Nguyen G.H.** (2021) The Cover Depth Effect on Corrosion-Induced Deterioration of Reinforced Concrete Focusing on Water Penetration: Field Survey and Laboratory Study, *Materials*, 14(13), pp. 3478. DOI: 10.3390/ma14133478.
6. **Bazhenov, Yu.M.** (2011) *Technology of concrete*. M.: Izd-vo ASV (in Russian).
7. **Claisse, P.A.** (2020) *Transport Properties of Concrete: Modelling the Durability of Structures*. Second Edition. Woodhead Publishing.
8. **Ramachandran, V.S.** (1988) *Concrete admixtures*. M.: Stroyizdat (in Russian).
9. **Bogdanov, R.R., Ibragimov, R.A., Izotov, V.S.** (2013) Studies of the influence of domestic water-repelling additions on the basic properties of cement paste and mortar, *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arxitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (4), pp. 207-210 (in Russian).
10. **Suzdaltsev, O.V., Kalashnikov, V.I., Moroz, M.N. & Erofeeva, I.V.** (2015) Influence of powder hydrophobizer on strength and water absorption of architectural and decorative concretes of new generation, *Molodoj uchenyj*, (5), pp. 186-189 (in Russian).
11. **Tuskaeva, Z. & Karyayev, S.** (2020) Influence of various additives on properties of concrete, *E3S Web of Conferences*, 164, pp. 14007. DOI: 10.1051/e3sconf/202016414007.
12. **Yukhnevsky P.I.** (2013) *The influence of the chemical nature of additives on the properties of concrete*. Minsk: BNTU (in Russian).
13. **Safarov K.B.** (2015) The Use of Reactive Aggregates for Producing Concretes Resistant to Aggressive Media, *Stroitel'nye materialy*, (7), pp. 17-20 (in Russian).
14. **Cappellesso, V.G., dos Santos Petry, N., Dal Molin, D.C.C. & Masuero, A.B.** (2016) Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete, *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*,



- 1, article no. 9. DOI: 10.1007/s41024-016-0012-7.
15. **Gross, S., Meyer, H.W. & Heersche, P.H.** (2019) Calcined Clay as a Component of Cement and Concrete, *Cement i ego primenenie*, (4), pp. 102-107 (in Russian).
 16. **Jaskulski, R., Jóźwiak-Niedźwiedzka, D. & Yakymchko, Y.** (2020) Calcined Clay as Supplementary Cementitious Material, *Materials*, 13(21), pp. 4734. DOI: 10.3390/ma13214734.
 17. **Flores-Vivian, I., Pradoto, R., Moini, M., Kozhukhova, M.I., Potapov, V.V. & Sobolev, K.G.** (2018) The effect of SiO₂ nanoparticles on performance of cement-based materials, *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*, (11), pp. 6-16. DOI: 10.12737/artide_5bf7e352d68e96.02791207 (in Russian).
 18. **Geng, Y., Li, S., Hou, D., Chen, X. & Jin, Z.** (2020) Effect of SiO₂ Sol/Silane Emulsion in Reducing Water and Chloride Ion Penetration in Concrete, *Coatings*, 10(7), pp. 682. DOI: 10.3390/coatings10070682.
 19. **Breilly, D., Fadlallah, S., Froidevaux, V., Colas, A. & Allais, F.** (2021) Origin and industrial applications of lignosulfonates with a focus on their use as superplasticizers in concrete, *Construction and Building Materials*, 301, p. 124065. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124065
 20. **Dvorkin, L.I.** (2020) The influence of polyfunctional modifier additives on properties of cement-ash fine-grained concrete, *Magazine of Civil Engineering*, 93(1), pp. 121-133. DOI:10.18720/MCE.93.10
 21. **Qin, Y.L., Bai, M.X., Zhang, Z.M. & Yang, D.J.** (2012) Adsorption Behavior of Naphthalene Sulfonate Formaldehyde Condensate with Different Molecular Weights on the Cement Particle Surface, *Advanced Materials Research*, 557-559, pp. 870-876. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.557-559.870.
 22. **Khudhair, M.H.R., Elyoubi, M.S. & Elharfi, A.** (2018) Study of the influence of water reducing and setting retarder admixtures of polycarboxylate «superplasticizers» on physical and mechanical properties of mortar and concrete, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9(1), pp. 56-65. DOI: 10.26872/jmes.2018.9.1.7.
 23. **Ramachandran, V.S., Lowery, M.S. & Malhotra, V.M.** (1995) Behaviour of ASTM Type V cement hydrated in the presence of sulfonated melamine formaldehyde, *Materials and Structures*, 28, pp. 133-138. DOI: 10.1007/BF02473220.
 24. **Bogdanov, R.R., Pashaev, A.V., Zhuravlev, M.V. & Kalimullin, A.A.** (2018) Superplasticizer based on polycarboxylate ether and polyaryl and their influence on the physico-technical properties of cement compositions, *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (4), pp. 265-273 (in Russian).
 25. **Barabanshchikov, Yu.G. & Komarinski, M.V.** (2014) Superplasticized technological properties of concrete mixtures, *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzhenij*, (6), pp. 58-69 (in Russian).
 26. **Paktiawal, A. & Alam, M.** (2021) Effect of polycarboxylate ether-based superplasticizer dosage on fresh and hardened properties of cement concrete, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1166, p. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/1166/1/012013.
 27. **Higerovich, M.I. & Bayer, V.E.** (1979) *Hydrophobic plasticizing additives for cements, mortars and concretes*. Moscow: Strojizdat (in Russian).
 28. **Misnikov, O.S. & Chertkova, E.Yu.** (2014) Hydrophobic modification of mineral binders by additives produced from peat, *Eurasian Mining.*, (1), pp. 63-68.
 29. **Grechuhin, V.A.** (2015) Concrete repair mortars with the additive from the secondary products of mineral oils, *Vestnik Polotskogo gosuniversiteta. Ser. F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, (8), pp. 120-126 (in Russian).
 30. **Badikova, A.D., Sakhigareev, S.R., Fedina, R.A., Rakhimov, M.N. & Tsadkin, M.A.** (2020) Effective mineral additive on the basis of wastes of petrochemical plants for a concrete structural mix, *Nanotechnologies in Construction*, 12(1), pp. 34-40. DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-34-40 [online]. Available at: http://www.nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-1-2020/34-40.pdf
 31. **Albayrak, A.T., Yasar, M., Gurkaynak, M.A. & Gurgey, I.** (2005) Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement, *Cement and Concrete Research*, 35(2), pp. 400-404. DOI: 10.1016/j.cemconres.2004.07.031.



32. **Moroz, M.N., Kalashnikov, V.I., Khudyakov, V.A. & Vasilik, P.G.** (2009) Water-resistant fine-grained concrete hydrophobized with calcium stearate nanoparticles, *Stroitel'nye materialy*, (8), pp. 55-59 (in Russian).
33. **Nemati Chari, M., Naseroleslami, R. & Shekarchi, M.** (2019) The impact of calcium stearate on characteristics of concrete, *Asian Journal of Civil Engineering*, 20, pp. 1007-1020. DOI: 10.1007/s42107-019-00161-x.
34. **Kalashnikov, V.I., Moroz, M.N., Nesterov, V.Yu., Hvastunov, V.L., Makridin, N.I. & Vasilik, P.G.** (2016) Organometallic hydrophobizers for mineral-slag binders, *Stroitel'nye materialy*, (10), pp. 38-39 (in Russian).
35. **Lanzón, M., Martínez, E., Mestre, M. & Madrid, J.A.** (2017) Use of zinc stearate to produce highly-hydrophobic adobe materials with extended durability to water and acid-rain, *Construction and Building Materials*, 139, pp. 114-122. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.02.055.
36. **Cellat, K., Tezcan, F., Kardaş, G. & Paksoy, H.** (2019) Comprehensive investigation of butyl stearate as a multifunctional smart concrete additive for energy-efficient buildings, *International Journal of Energy Research*, 43(13), pp. 7146-7158. DOI: 10.1002/er.4740.
37. **Kurdi, A., Almoatham, N., Mirza, M., Ballweg, T. & Alkahlan, B.** (2021) Potential Phase Change Materials in Building Wall Construction – A Review, *Materials*, 14(18), p. 5328. DOI: 10.3390/ma14185328
38. **Liu, X., Song, X., Wang, Z., Xia, C., Li, T., Li, X., Xu, Q., Cui, S. & Qian, S.** (2021) Polymer for Internal Hydrophobization of Cement-Based Materials: Design, Synthesis, and Properties, *Polymers*, 13(18), p. 3069. DOI: 10.3390/polym13183069.
39. **Krisman, A.E.** (2017) Modification of the concrete mixture with acrylic dispersion, its effect on the performance characteristics of concrete, *NovaInfo.ru*, (66), pp. 22-32 (in Russian).
40. **Sharma, N. & Sharma, P.** (2021) Effect of hydrophobic agent in cement and concrete: A Review, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1116, p. 012175. DOI: 10.1088/1757-899X/1116/1/012175.
41. **Solovyev, V.G., Eremin, A.V., Eliseev, D.M. & Buryanov, A.F.** (2017) Improvement of water resistance of gypsum binder by paraffin emulsion, *Stroitel'nye materialy*, (1-2), pp. 45-49 (in Russian).
42. **Butakova, M.D., Mikhailov, A.V. & Saribekyan, S.S.** (2017) Influence of Silicon-Containing Additives on the Property of the Watertightness of Concrete Samples. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 17(2), pp. 34-41 (in Russian). DOI: 10.14529/build170205.
43. **Zhang, P., Shang, H., Hou, D., Guo, S. & Zhao, T.** (2017) The Effect of Water Repellent Surface Impregnation on Durability of Cement-Based Materials, *Advances in Materials Science and Engineering*, V. 2017, article ID 8260103. DOI: 10.1155/2017/8260103.
44. **Khristoforov, A.I., Khristoforova, I.A. & Eropov, O.L.** (2011) Modification of Concrete and Organic Nanoparticles Substances, *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Texnika i texnologii*, 4(6), pp. 704-710 (in Russian).
45. **Grabowska, K. & Koniarczyk, M.** (2019) Internal hydrophobization of cement mortar by addition of siloxanes, *MATEC Web of Conferences*, 282, p. 02030. DOI: 10.1051/mateconf/201928202030 [online]. Available at: https://www.mateconferences.org/articles-/mateconf/pdf/2019/31/mateconf_cesbp2019_02030.pdf
46. **Maryoto, A., Setijadi, R., Widyaningrum, A. & Waluyo, S.** (2020) Drying Shrinkage of Concrete Containing Calcium Stearate, (Ca(C₁₈H₃₅O₂)₂), with Ordinary Portland Cement (OPC) as a Binder: Experimental and Modelling Studies, *Molecules*, 25(21), p. 4880. DOI: 10.3390/molecules25214880.
47. **Azad, A., Mousavi, S.F., Karami, H. & Farzin, S.** (2019) Application of Talc as an Eco-Friendly Additive to Improve the Structural Behavior of Porous Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 43, (Suppl. 1), pp. 443-453. DOI: 10.1007/s40996-018-0177-1.
48. **Lima-Guerra, D.J., Mello, I., Resende, R. & Silva, R.** (2014) Use of Bentonite and Organobentonite as Alternatives of Partial Substitution of Cement in Concrete Manufacturing, *International Journal*



- of *Concrete Structures and Materials*, 8, pp. 15-26. DOI: 10.1007/s40069-013-0066-8.
49. **Raheem, S.A., Saheb, M.A., Moula, H.H., Maula, B.H., Alshreefi, R.A. & Bahnam, Q.M.** (2019) Improve Light Weight Concrete Characteristics by Adding Paraffin Wax as Moisture Proof, *Materials Science Forum*, 972, pp. 16-25. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.972.16.
 50. **Pyzhov, A.S.** (2010) Technology of production and use of road rolled concrete with disperse bitumen, *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, (3), pp. 239-251 (in Russian).
 51. **Anikina, N.A., Smirnov, V.F., Smirnova, O.N. & Zaharova, E.A.** (2018) Protection of construction materials based on acrylates from biodeterioration, *Magazine of Civil Engineering*, 81(5), pp. 116-124. DOI: 10.18720/MCE.81.12.
 52. **Yao, S.Y. & Ge, Y.** (2012) Effect of Styrene Butadiene Rubber Latex on Mortar and Concrete Properties, *Advanced Engineering Forum*, 5, pp. 283-288. DOI: 10.4028/www.scientific.net/aef.5.283.
 53. **Abdo, Sh., Galishnikova, V.V. & Fawzy, A.M.** (2021) Properties of recycled aggregate pervious concrete modified with Styrene Butadiene Rubber Latex, *Magazine of Civil Engineering*, 108(8), article no. 10805. DOI: 10.34910/MCE.108.5.
 54. **Kim, M.J., Park, E.S., Hwang, W.I. & Cho, W.J.** (2022) Effect of FNS Incorporation on the Properties of Ternary Blended Cement Containing Blast Furnace Slag and Fly Ash, *Advances in Materials Science and Engineering*, V. 2022, article ID 1047648. DOI: 10.1155/2022/1047648.
 55. **Sychova, A.M., Svatovskaya, L.B., Starchukov, D.S., Soloviova, V.Y. & Gravit, M.V.** (2018) The improving of the concrete quality in a monolithic clip, *Magazine of Civil Engineering*, 80(4), pp. 3-14. DOI: 10.18720/MCE.80.1.
 56. **Cardenas, H., Kupwade-Patil, K., Eklund, S.** (2011) Corrosion Mitigation in Mature Reinforced Concrete Using Nanoscale Pozzolan Deposition, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(6), pp. 752-760. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000194/
 57. **de Souza Oliveira, A., Gomes, O.F.M., Ferrara, L., Fairbairn, E.M.R. & Filho, R.D.T.** (2021) An overview of a twofold effect of crystalline admixtures in cement-based materials: from permeability-reducers to self-healing stimulators, *Journal of Building Engineering*, 41, pp. 102400. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102400.
 58. **Fedosov, S.V., Rummyantseva, V.E., Konovalova, V.S. & Karavaev, I.V.** (2018) Rate of penetration of chloride ions to the surface of steel reinforcement in hydrophobized concretes, *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, (4), pp. 93-99 (in Russian).
 59. **Basheer, P.A.M., Basheer, L., Cleland, D.J. & Long, A.E.** (1997) Surface Treatments for Concrete: Assessment Methods and Reported Performance. *Construction and Building Materials*, 11(7-8), pp. 413-429. DOI: 10.1016/S0950-0618(97)00019-6.
 60. **Fedosov, S.V., Rummyantseva, V.E., Konovalova, V.S. & Karavaev, I.V.** (2017) Liquid corrosion of concrete in the environment with various degree of aggressiveness, *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, (4), pp. 113-118. DOI: 10.23968/1999-5571-2017-14-4-113-118 (in Russian).
 61. **Babkov, V.V., Gafurova, E.A., Rezvov, O.A. & Mokhov, A.V.** (2012) The problems of the occurrence of efflorescence on the surface of buildings' exterior walls made of vibropressed concrete blocks and the methods of blocking these processes, *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, (7), pp. 14-22. DOI: 10.5862/MCE.33.2 (in Russian).
 62. **Zhu, H., Wang, P. & Zhang, G.** (2014) Effect of hydrophobic agent on efflorescence of portland cement-based decorative mortar, *Jianzhu Cailiao Xuebao/Journal of Building Materials*, 17(5), pp. 882-886, 900. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9629.2014.05.021.
 63. **Tuutti, K.** (1982) *Corrosion of Steel in Concrete*. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute. DOI: 10.4324/9780203475287.ch2.

Received 21.02.2023

Approved after reviewing 17.03.2023

Accepted 20.03.2023