

ИНГИБИРОВАНИЕ КОРРОЗИИ БЕТОННОГО КОМПОЗИТА КОМБИНИРОВАННОЙ ДОБАВКОЙ НИТРИТА НАТРИЯ И СИЛИКАТА НАТРИЯ

В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.Н. Гоглев, Н.С. Касьяненко

Варвара Евгеньевна Румянцева, Виктория Сергеевна Коновалова *, Илья Николаевич Гоглев, Наталья Сергеевна Касьяненко

Кафедра естественных наук и техносферной безопасности, Ивановский государственный политехнический университет, пр-т Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru *, azidplumbum00@mail.ru, kasiyanenko@gmail.com

Проведены исследования ингибирующих свойств нитрита натрия в комбинированной добавке с силикатом натрия при коррозии железобетона. Установлено, что повышение содержания нитрита натрия в комбинированной добавке с силикатом натрия приводит к уменьшению прочности бетона после отверждения на воздухе в течение 28 сут. Однако, при коррозии бетона, содержащего большее количество нитрита натрия в качестве ингибитора, в смеси 1%-ого раствора плавиковой кислоты (HF) и уголекислоты (H₂CO₃), его прочность на сжатие снижается в меньшей степени. Это подтверждается случаями частых расколов образцов при испытаниях ударно-импульсным методом. Наименьшее количество раскалываний наблюдалось у образцов, содержащих 3,2% нитрита натрия и 0,8% силиката натрия, а наибольшее – у образцов, содержащих 0,8% нитрита натрия и 3,2% силиката натрия. С помощью метода контактной коррозии построены коррозионные диаграммы стальной арматуры из стали марки Ст3 в бетоне без добавок и с комбинированными ингибирующими добавками нитрата и силиката натрия. Коррозионные диаграммы позволили определить показатели скорости коррозии стальной арматуры в бетонах с ингибирующими добавками различных составов. Добавки способствуют быстрому снижению значения плотности тока коррозии. Повышение концентрации нитрита натрия в составе ингибирующей добавки приводит к снижению скорости анодного растворения арматурной стали. Введение в бетон 3,2% нитрита натрия и 0,8% силиката натрия замедляет анодное растворение арматурной стали почти в 2 раза.

Ключевые слова: коррозия бетона, коррозия арматуры, ингибирование, добавки, скорость коррозии

INHIBITION OF CONCRETE COMPOSITE CORROSION BY COMBINED ADDITION OF SODIUM NITRITE AND SODIUM SILICATE

V.E. Rumyantseva, V.S. Konovalova, I.N. Goglev, N.S. Kasiyanenko

Varvara E. Rumyantseva, Viktoriya S. Konovalova *, Iliya N. Goglev, Nataliya S. Kasiyanenko

Department of Natural Sciences and Technosphere Safety, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevskiy ave., 21, Ivanovo, Russia, 153000

E-mail: varrym@gmail.com, kotprotiv@yandex.ru *, azidplumbum00@mail.ru, kasiyanenko@gmail.com

Studies of the inhibitory properties of sodium nitrite in a combined additive with sodium silicate for corrosion of reinforced concrete were carried out. It was found that an increase in the concentration of sodium nitrite in the combined additive with sodium silicate leads to a decrease in the strength of concrete after curing in air for 28 days. However, when concrete containing more sodium nitrite as an inhibitor is corroded in a mixture of 1% hydrofluoric acid (HF) and carbonic acid (H₂CO₃), its compressive strength decreases less. This is confirmed by cases of frequent splits of samples during shock-pulse testing. The lowest number of splits was observed in samples containing 3.2% sodium nitrite and 0.8% sodium silicate, and the highest number was observed in

samples containing 0.8% sodium nitrite and 3.2% sodium silicate. Using the contact corrosion method, corrosion diagrams of reinforcement made of St3 steel in concrete without additives and with combined inhibitory additives of sodium nitrate and silicate are constructed. Corrosion diagrams allowed to determine the rate of corrosion of steel reinforcement in concrete with inhibitory additives of various compositions. Additives contribute to a rapid decrease in the value of the corrosion current density. Increasing the concentration of sodium nitrite in the inhibitory additive leads to a decrease in the rate of anodic dissolution of reinforcing steel. The introduction of 3.2% sodium nitrite and 0.8% sodium silicate into concrete slows down the anodic dissolution of reinforcing steel by almost 2 times.

Key words: concrete corrosion, reinforcement corrosion, inhibition, additives, rate of corrosion

Для цитирования:

Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н., Касьяненко Н.С. Ингибирование коррозии бетонного композита комбинированной добавкой нитрита натрия и силиката натрия. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 8. С. 57–62

For citation:

Rumyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N., Kasiyanenko N.S. Inhibition of concrete composite corrosion by combined addition of sodium nitrite and sodium silicate. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 8. P. 57–62

ВВЕДЕНИЕ

Нитраты и нитриты щелочных и щелочно-земельных металлов находят широкое применение в качестве ингибиторов коррозии как стальной арматуры, так и бетона [1–6]. В щелочной среде бетона эти соединения предотвращают коррозию стали за счет стабилизации пассивной пленки на металле, которая разрушается при поступлении к поверхности агрессивных веществ [5, 7]. Ингибирующие добавки вступают в реакцию с агрессивными частицами коррозионной среды и, тем самым, снижают их концентрацию, необходимую для протекания процесса коррозии [1].

Добавка нитрита натрия в бетон наиболее часто используется в качестве противоморозной присадки [1]. Однако, вопросы ее влияния на антикоррозионные свойства бетона и на его прочностные характеристики, особенно в сочетании с другими щелочными добавками, рассматриваются достаточно редко. Часто изучаются ее свойства по ингибированию коррозии стальной арматуры в составе противоморозных присадок [8–10]. В связи с этим возник вопрос о влиянии сочетаний добавки нитрита натрия и другой щелочной добавки на указанные свойства бетона. В качестве дополнительной добавки выбран раствор жидкого стекла, поскольку эта добавка часто используется для придания бетонам кислотоупорных и жаростойких свойств [11, 12].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве неразрушающего контроля использовался метод ударного импульса. Испытания образцов проведены в соответствии с ГОСТ 22690-2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» на приборе неразрушающего контроля ударно-импульсный марки Интерприбор ОНИКС-2,5 [13–15].

Для неразрушающего контроля изготавливались образцы размером 3×3×3 см из цементного теста нормальной плотности ($B/C = 0,3$), приготовленные при смешении портландцемента М500Д0 с растворами рецептур, представленных в табл. 1. После набора прочности бетона в течение 28 сут у образцов определяли предел прочности при сжатии методом ударного импульса.

Таблица 1

Варианты сочетаний реагентов в смесевых рецептурах
Table 1. Variants of reagent combinations in mixed formulations

Рецепт	Реагент, % на 1 кг добавки	
	NaNO ₂	Na ₂ SiO ₃
P-1	0,8	3,2
P-2	1,6	2,4
P-3	3,2	0,8

Для испытания образцов на коррозионную стойкость (процесс карбонизации) образцы с разным содержанием добавок (табл. 1) помещались в

закрытые емкости с дистиллированной водой и в закрытые емкости с кислотной средой. Это связано с тем, что карбонизация, в первую очередь, влияет на pH бетона. При снижении показателя pH бетона до 9-9,5, бетон начинает терять пассивирующие свойства по отношению к стальной арматуре. В качестве кислотной среды использовалась смесь 1 %-ого раствора плавиковой кислоты (HF) и углекислоты (H₂CO₃) в виде газированной дистиллированной воды. Раствор плавиковой кислоты использовался для поддержания кислого уровня pH среды, поскольку угольная кислота неустойчива и разлагается на углекислый газ и воду при контакте с бетонными образцами, что способствует изменению показателю pH среды ближе к нейтральным значениям. Верхняя часть образцов была открыта для обеспечения одновременного увлажнения и действия углекислого газа. После нахождения в кислотной среде (срок составлял 30 сут), испытываемые образцы перемещались в емкости с дистиллированной водой, на полный срок испытаний 75 сут.

Исследование влияния различных добавок в коррозионную среду на устойчивость арматуры к коррозии проводилось посредством снятия поляризационных кривых для прутков арматуры из стали марки Ст3, находящихся в бетоне различного состава (табл. 1). Поскольку сталь является сплавом железа с углеродом, измерение проводилось относительно графитового электрода.

Исходя из полученных графических зависимостей, для наибольшего значения достигнутого тока рассчитывается отрицательный показатель изменения массы K_m^- :

$$K_m^- = \frac{I \cdot A}{26,8 \cdot S \cdot z} \quad (1)$$

где: I – коррозионный ток, А; A – атомная масса металла, г/моль; 26,8 – количество электричества, необходимое для растворения 1 г-экв металла, А·ч; S – поверхность арматуры, м²; z – валентность растворяющегося металла.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным измерений прочности бетона методами неразрушающего контроля (табл. 2) видно, что прочность образцов бетона без добавок Р-0 после пребывания в кислотной среде уменьшилась на 19,9%. У образцов бетона с добавками ингибиторов потеря прочности составила: Р-1 – 18,4%; Р-2 – 12,7%; Р-3 – 13,2%. После извлечения образцов из смеси кислот и помещения в дистиллированную воду коррозия образцов продолжи-

лась, так как агрессивные ионы проникли в поровую структуру цементного камня, и их действие усугубилось карбонизацией. Окончательные потери прочности образцов составили: Р-0 – 28,3%; Р-1 – 24,5%; Р-2 – 18,7%; Р-3 – 16,1%.

Таблица 2

Результаты неразрушающего контроля прибором ОНИКС-2,5

Table 2. Results of non-destructive testing with the ONYX-2,5 device

Тип бетонного образца	Средняя прочность цементного камня при сжатии, МПа		
	0 сут	30 сут	75 сут
Р-0	40,64	32,54	29,13
Р-1	34,9	28,47	26,36
Р-2	39,65	34,63	32,24
Р-3	38,98	33,84	32,72

Следует отметить, что снижение прочности цементного камня связано именно с повышенным содержанием раствора жидкого стекла, который является гигроскопичным компонентом и способствует повышению трещинообразования. При концентрации добавки Na₂SiO₃, не превышающей 2%, бетон лучше сохраняет прочностные характеристики при карбонизации.

Следует обратить внимание, что добавка нитрита натрия в повышенном количестве по сравнению с раствором жидкого стекла также способствует повышению pH бетона (рецептура Р-3), однако скорее всего наибольшее влияние здесь оказывает все равно добавка натриевого жидкого стекла, поскольку водный раствор силиката натрия обладает сильнощелочной средой [12, 13, 16, 17]. Также можно отметить, что указанные добавки способствуют увеличению показателя pH цементных бетонов [17], что по итогу будет способствовать повышенной защите бетона от карбонизации в условиях атмосферной эксплуатации.

На рисунке представлены коррозионные диаграммы в координатах «электродный потенциал ϕ , В – плотность тока коррозии j , мкА/см²» арматуры из стали марки Ст3, находящейся в бетоне без добавок и с добавками нитрита и силиката натрия. Верхняя кривая на диаграммах коррозии соответствует изменению потенциала анода (электрода из стали), нижняя кривая соответствует изменению потенциала катода (графитового электрода).

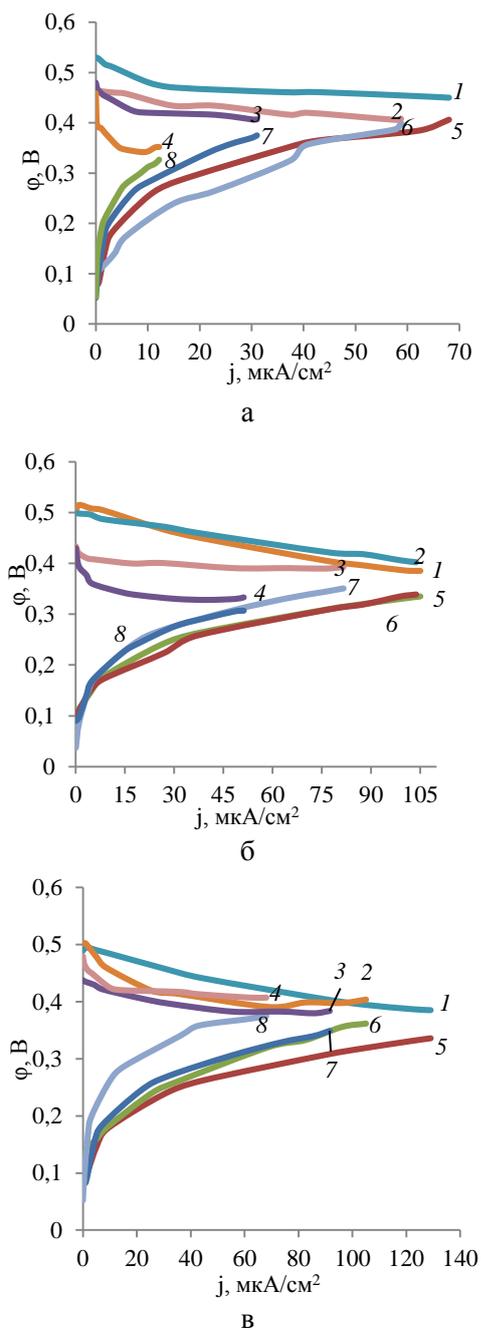


Рис. Коррозионные диаграммы системы «стальная арматура – графитовый электрод» а) перед погружением в коррозионную среду; б) после 30 дней нахождения образцов в смеси 1%-ого раствора плавиковой кислоты (HF) и угольной кислоты (H₂CO₃); в) в конце всего срока испытания после выдержки образцов в дистиллированной воде. Кривые 1 и 5 показывают изменения значений потенциалов электродов в бетоне без добавок P-0; кривые 2 и 6 – в бетоне P-1; кривые 3 и 7 – в бетоне P-2; кривые 4 и 8 – в бетоне P-3

Fig. Corrosion diagrams of the «steel reinforcement – graphite electrode» system а) before immersion in a corrosive environment; б) after 30 days in a mixture of 1% solution of hydrofluoric acid (HF) and carbonic acid (H₂CO₃); в) at the end of the entire test period after holding the samples in distilled water. Curves 1 and 5 show changes in the potential values of electrodes in concrete without additives P-0. Curves 2 and 6 – in concrete P-1; curves 3 and 7 – in concrete P-2; curves 4 and 8 – in concrete P-3

Рассчитанные по уравнению (1) значения скорости коррозии стальной арматуры в бетоне представлены в табл. 3. Очевидно, что, наилучшими ингибирующими свойствами обладает добавка рецепта P-3: NaNO₂ – 3,2%, Na₂SiO₃ – 0,8%. Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение ингибирующих добавок в таком количестве замедляет анодное растворение арматурной стали почти в 2 раза.

Таблица 3

Скорость коррозии $K_m \cdot 10^2$, г/м²ч арматуры из стали марки Ст3 в бетоне

Table 3. Corrosion rate $K_m \cdot 10^2$, g/m²h of reinforcement made of steel grade St3 in concrete

Бетонный образец	Этап испытаний		
	а	б	в
P-0	0,71	1,097	1,348
P-1	0,614	1,084	1,097
P-2	0,324	0,853	0,956
P-3	0,127	0,535	0,71

Добавки способствуют быстрому снижению значения плотности тока коррозии [18]. Увеличение достигаемой плотности тока при больших значениях потенциала арматурной стали свидетельствует о значительной поляризации, обеспечивающей пассивацию поверхности образцов в растворах электролитов [19, 20]. При недостатке ингибитора потенциал стали смещается незначительно, а коррозионный ток сильно возрастает, в результате скорость коррозии увеличивается.

ВЫВОДЫ

Следует отметить, что сочетание добавок в количествах NaNO₂ – 3,2%, Na₂SiO₃ – 0,8% может использоваться для защиты бетона от карбонизации, что подтверждается результатами испытаний. В целом же, установлением новых рациональных пропорций для указанных добавок представляется вполне возможным добиться снижения трещинообразования, что будет положительно влиять на прочностные характеристики бетона при явно выраженном защитном эффекте от процесса карбонизации в условиях атмосферной эксплуатации.

Коррозионная стойкость арматурной стали повышается с увеличением содержания нитрита натрия в комбинированной ингибирующей добавке. При увеличении концентрации NaNO₂ в 2 раза, скорость коррозии стали уменьшается в 2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ramachandran V.S.** Concrete Admixtures Handbook Properties, Science and technology. William Andrew Publishing. 1996. 1184 p.
2. **Kuznetsov Y.I.** Progress in the science of corrosion inhibitors. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 2015. V. 4. N 1. P. 15-34. DOI: 10.17675/2305-6894-2015-4-1-015-034.
3. **Румянцева Н.П., Белова В.С., Балмасов А.В.** Исследование влияния азотсодержащего ингибитора на коррозионную стойкость конструкционных сталей. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2020. Т. 63. Вып. 11. С. 65-70. DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6222.
4. **Dariva C.G., Galio A.F.** Corrosion inhibitors – Principles, mechanisms and applications. *Develop. Corr. Protect.* 2014. P. 365-380. DOI: 10.5772/57255.
5. **Papavinasam S.** Corrosion Inhibitors. Uhlig's Corrosion Handbook. 2011. P. 1089-1105. DOI: 10.1002/9780470872864.ch71.
6. **Ahmad A., Kumar A.** Comparative Behaviour of Nitrite and Nitrate for the Protection of Rebar Corrosion. *J. Inst. Eng. India Ser. D.* 2017. V. 98. P. 177-187. DOI: 10.1007/s40033-016-0125-9.
7. **Cao Z., Hibino M., Goda H.** Effect of nitrite ions on steel corrosion induced by chloride or sulfate Ions. *Internat. J. Corr.* 2013. P. 853730. DOI: 10.1155/2013/853730.
8. **Талипов Л.Н., Величко Е.Г., Семенов В.С.** Исследование синергетического эффекта комплексной антикоррозионной добавки на основе поликарбоксилатов в модели поровой жидкости бетона. *Вестн. МГСУ.* 2020. Т. 15. № 6. С. 824-833. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.824-833.
9. **Талипов Л.Н., Величко Е.Г., Тембулатов С.И.** Влияние полимерных поверхностно-активных веществ на коррозию стальной арматуры в бетоне в составе комплексной антикоррозионной добавки. *Строит. материалы.* 2020. № 3. С. 16-21. DOI: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-16-21.
10. **Gedvillo I., Zhmakina A., Andreev N.** Comparison of protective properties of sodium nitrite, hydrochinon and pyrocatechine in model pore concrete liquid. *Corr.: Mater. Protection.* 2019. N 11. P. 19-25. DOI: 10.31044/1813-7016-2019-0-11-19-25.
11. **Макарова И.А., Либеровская С.В.** Кислотостойкие и теплоизоляционные керамические материалы на основе микрокремнезема. *Изв. вузов. Инвест. Недвиж.* 2019. Т. 9. № 4 (31). С. 742-753. DOI: 10.21285/2227-2917-2019-4-742-753.
12. **Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л.** Наноструктурированные материалы, получение и применение в строительстве. *Нанотехнологии в строительстве: науч. интернет-журн.* 2014. Т. 6. № 6. С. 27-45. DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-27-45.
13. **Meza A., Sánchez C., Ortiz J., Peralta L.** Comparison between destructive and nondestructive tests in the evaluation of abrasion resistance of concrete. *J. Testing Evaluation.* 2017. V. 46. Iss. 3. P. 906-912. DOI: 10.1520/JTE20160159.
14. **Kudyakov A., Prischepa I., Kiselev D., Prischepa B.** Quality control of concrete at the stage of designing its composition and technology. *AIP Conf. Proceed.* 2016. V. 1698. P. 070016. DOI: 10.1063/1.4937886.
15. **Serebryakov A., Chirkin M., Mishin V., Klimakov V., Davydov G., Gorlin O., Ulitenko A.** Electronic system of non-destructive buildings and structures condition control. 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, (MECO) – Proceedings. Budva, Montenegro. 2019. P. 1-4. DOI: 10.1109/MECO.2019.8760113.

REFERENCES

1. **Ramachandran V.S.** Concrete Admixtures Handbook Properties, Science and technology. William Andrew Publishing. 1996. 1184 p.
2. **Kuznetsov Y.I.** Progress in the science of corrosion inhibitors. *Int. J. Corros. Scale Inhib.* 2015. V. 4. N 1. P. 15-34. DOI: 10.17675/2305-6894-2015-4-1-015-034.
3. **Rummyantseva N.P., Belova V.S., Balmasov A.V.** Investigation of inhibitor influence on corrosion behavior of structural steels. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]* 2020. V. 63. N 11. P. 65-70 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206311.6222.
4. **Dariva C.G., Galio A.F.** Corrosion inhibitors – Principles, mechanisms and applications. *Develop. Corr. Protect.* 2014. P. 365-380. DOI: 10.5772/57255.
5. **Papavinasam S.** Corrosion Inhibitors. Uhlig's Corrosion Handbook. 2011. P. 1089-1105. DOI: 10.1002/9780470872864.ch71.
6. **Ahmad A., Kumar A.** Comparative Behaviour of Nitrite and Nitrate for the Protection of Rebar Corrosion. *J. Inst. Eng. India Ser. D.* 2017. V. 98. P. 177-187. DOI: 10.1007/s40033-016-0125-9.
7. **Cao Z., Hibino M., Goda H.** Effect of nitrite ions on steel corrosion induced by chloride or sulfate Ions. *Internat. J. Corr.* 2013. P. 853730. DOI: 10.1155/2013/853730.
8. **Talipov L.N., Velichko E.G., Semenov V.S.** Study of synergetic effect of the complex polycarboxylate anticorrosion additive in the model of pore concrete fluid. *Vestn. MGSU.* 2020. V. 15. N 6. P. 824-833 (in Russian). DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.824-833.
9. **Talipov L.N., Velichko E.G., Tembulatov S.I.** Influence of polymer surfactants on the corrosion of steel reinforcement in concrete as part of a complex anti-corrosion additive. *Stroit. Mater.* 2020. N 3. P. 16-21 (in Russian). DOI: 10.31659/0585-430X-2020-779-3-16-21.
10. **Gedvillo I., Zhmakina A., Andreev N.** Comparison of protective properties of sodium nitrite, hydrochinon and pyrocatechine in model pore concrete liquid. *Corr.: Mater. Protection.* 2019. N 11. P. 19-25. DOI: 10.31044/1813-7016-2019-0-11-19-25.
11. **Makarova I.A., Liberovskaya S.V.** Acid-resistant and heat-insulating ceramic materials based on silica fume. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Invest. Nedvizh.* 2019. V. 9. N 4. P. 742-753 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2917-2019-4-742-753.
12. **Kudryavtsev P.G., Figovsky O.L.** Nanostructured materials, production and application in construction. *Nanotekhnol. Stroi.: Nauch. Internet-Zhurn.* 2014. V. 6. N 6. P. 27-45 (in Russian). DOI: 10.15828/2075-8545-2014-6-6-27-45.
13. **Meza A., Sánchez C., Ortiz J., Peralta L.** Comparison between destructive and nondestructive tests in the evaluation of abrasion resistance of concrete. *J. Testing Evaluation.* 2017. V. 46. Iss. 3. P. 906-912. DOI: 10.1520/JTE20160159.
14. **Kudyakov A., Prischepa I., Kiselev D., Prischepa B.** Quality control of concrete at the stage of designing its composition and technology. *AIP Conf. Proceed.* 2016. V. 1698. P. 070016. DOI: 10.1063/1.4937886.
15. **Serebryakov A., Chirkin M., Mishin V., Klimakov V., Davydov G., Gorlin O., Ulitenko A.** Electronic system of non-destructive buildings and structures condition control. 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, (MECO) – Proceedings. Budva, Montenegro. 2019. P. 1-4. DOI: 10.1109/MECO.2019.8760113.

16. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Гоглев И.Н., Нармания Б.Е. Управление процессами коррозионной деструкции строительных материалов на основе законов массопереноса. *Вестн. граждан. инженеров*. 2019. № 3 (74). С. 106-111. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-3-106-111.
17. Romyantseva V.E., Goglev I.N., Loginova S.A., Truntov P.S., Burkov A.A. Development and research of properties cement concrete hardening accelerator additive based on a mixture of inorganic fluorine-containing salts. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. V. 753. N 4. P. 052026. DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052026.
18. Romyantseva V.E., Konovalova V.S. The Reinforced Concrete Reinforcement Corrosion Degradation Inhibition with Nitrates of Alkali and Alkali-Earth Metals. *Mater. Sci. Forum*. 2020. V. 1011. P. 72-78. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.72.
19. Velichko E., Talipov L. Theoretical and practical aspects of improving the durability of steel reinforcement in transport designs, using passivation and plasticizing chemical additives. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2017. V. 90. P. 012202. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012202.
20. Румянцева В.Е., Коновалова В.С. Влияние ингибиторов, вводимых в бетоны, на коррозию стальной арматуры железобетонных. *Вопр. совр. науки и практики. Унт им. В.И. Вернадского*. 2016. № 1 (59). С. 29-34. DOI: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.029-034.
16. Fedosov S.V., Romyantseva V.E., Konovalova V.S., Goglev I.N., Narmaniya B.E. Control of corrosion destruction processes of building materials on the basis of mass transfer laws. *Vestn. Grazhdan. Inzhenerov*. 2019. N 3 (74). P. 106-111 (in Russian). DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-3-106-111.
17. Romyantseva V.E., Goglev I.N., Loginova S.A., Truntov P.S., Burkov A.A. Development and research of properties cement concrete hardening accelerator additive based on a mixture of inorganic fluorine-containing salts. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2020. V. 753. N 4. P. 052026. DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052026.
18. Romyantseva V.E., Konovalova V.S. The Reinforced Concrete Reinforcement Corrosion Degradation Inhibition with Nitrates of Alkali and Alkali-Earth Metals. *Mater. Sci. Forum*. 2020. V. 1011. P. 72-78. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1011.72.
19. Velichko E., Talipov L. Theoretical and practical aspects of improving the durability of steel reinforcement in transport designs, using passivation and plasticizing chemical additives. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2017. V. 90. P. 012202. DOI: 10.1088/1755-1315/90/1/012202.
20. Romyantseva V.E., Konovalova V.S. The Effect of Inhibitors Introduced into Concrete on Corrosion of Concrete Steel Reinforcement. *Vopr. Sovr. Nauki Praktiki. U-n-t im. V.I. Vernadskiy*. 2016. N 1 (59). P. 29-34 (in Russian). DOI: 10.17277/voprosy.2016.01.pp.029-034.

Поступила в редакцию 02.02.2021
Принята к опубликованию 15.06.2021

Received 02.02.2021
Accepted 15.06.2021