
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ (ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS (TECHNICAL)

УДК 691.316

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ ДЕСТРУКЦИИ КИРПИЧНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ И ПОПЕРЕМЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ

В. Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Ю. Ф. ПАНЧЕНКО³, Д. А. ПАНЧЕНКО³, Б. Е. НАРМАНИЯ⁴, Т. В. ФРОЛОВА¹

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

² ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,
Российская Федерация, г. Иваново

³ ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет,
Российская Федерация, г. Тюмень

⁴ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет»
Российская Федерация, г. Москва

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkoj@tyuiu.ru, panchenkoda@tyuiu.ru,
borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru

Статья посвящена изучению стойкости силикатного кирпича при комплексном воздействии на него попеременного замораживания-оттаивания и растворов хлоридов натрия и кальция, что имитирует процессы обработки пешеходных зон вблизи лицевой кладки антиобледенителями в зимнее время. Исследования проводились на образцах цилиндрах, изготовленных в лабораторных условиях из заводского состава сырьевой смеси. В качестве агрессивных сред применялись растворы хлоридов натрия и кальция с концентрацией 5 % и 20 %. Замораживание проводилось при температуре -20 °С, оттаивание – в растворах солей. Результаты исследования показали, что динамика разрушения образцов сильно зависит от концентрации растворов. Также раствор хлорида кальция является более агрессивным по отношению к силикатному бетону. Исследования требуют дальнейшего развития на основе более широкого подхода к моделированию условий комплексного воздействия агрессивных сред и масштабированию бетонных образцов.

Ключевые слова: силикатный кирпич, растворы хлоридов натрия и кальция, замораживание-оттаивание, деструкция.

**RESEARCH OF CORROSION DESTRUCTION OF BUILDING BRICKS
UNDER THE COMBINED ACTION OF SALT SOLUTIONS
AND ALTERNATING FREEZING AND THAWING**

**V. E. RUMYANTSEVA^{1,2}, Yu. F. PANCHENKO³, D. A. PANCHENKO³,
B. E. NARMANIA⁴, T. V. FROLOVA¹**

¹ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

² Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo State Polytechnic University»,
Russian Federation, Ivanovo

³ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Industrial University of Tyumen»,
Russian Federation, Tyumen

⁴ Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Moscow State University of Civil Engineering (National Research University)»,

Russian Federation, Moscow

E-mail: varrym@gmail.com, panchenkojf@tyuiu.ru, panchenkoda@tyuiu.ru,
borisfablee@gmail.com, frolovatanja@mail.ru,

The article is devoted to the study of the resistance of lime-sand bricks under the combined effects of alternating freezing and thawing and solutions of sodium and calcium chlorides, simulating the processes of treating pedestrian areas near masonry with anti-icing reagents in winter. The research was carried out on cylinder samples made in the laboratory from the factory composition of the raw material mixture. Solutions of sodium and calcium chlorides with concentrations of 5% and 20% were used as aggressive media. Freezing was carried out at -20 °C, thawing was carried out in salt solutions. The results of the study showed that the dynamics of sample destruction strongly depends on the concentration of solutions. Also, the calcium chloride solution is more aggressive towards lime-sand concrete. The research requires further development based on a broader approach to modeling the conditions of complex exposure to aggressive environments and scaling material samples.

Keywords: lime sand brick, solutions of sodium and calcium chlorides, freezing-thawing, destruction.

Введение

Развитие каркасного домостроения наложило свой отпечаток на силикатную промышленность в виде снижения объемов производства силикатного кирпича. Однако, силикатная промышленность адаптировалась к новым условиям и сделала упор на развитие производства лицевого кирпича, силикатных блоков и перегородочных плит. Начиная с 2017 г. объемы производства силикатных изделий находятся на достаточно стабильном уровне, некоторое снижение наблюдалось в период с 2020 по 2021 год, но оно не превышало 6 % и восстановилось до прежнего уровня к 2022 году [1]. Технология объемного окрашивания силикатного кирпича позволяет получать достаточно широкую цветовую гамму, а стойкость цвета и высокая долговечность современных силикатных изделий в сочетании с неэнергоемкой технологией делает этот материал интересным и перспективным и по сей день.

Долговечность силикатного кирпича при различных видах агрессивного воздействия изучалась нами ранее [2–5], однако в реальных условиях эксплуатации на материал воздействует комплекс факторов, которые могут усиливать или, наоборот, уменьшать интенсивность протекания деструктивных процессов. Одним из самых агрессивных видов воздействий для любого строительного материала, эксплуатируемого в наружных условиях, является попеременное замораживание-оттаивание. В зимнее время лицевая кладка из силикатного кирпича одновременно с замораживанием-оттаиванием может подвергаться воздействию солевых растворов от применения антиобледенителей. Антиобледенители представляют собой хлориды натрия и кальция или их смеси. С одной стороны соли, проникая в структуру силикатного кирпича вследствие капиллярного подсоса, кристаллизуются в порах,

оказывают давление на материал изнутри, что приводит к возникновению дефектности структуры [6], с другой стороны, они снижают температуру замерзания воды [7, 8], что может привести к уменьшению кристаллизационного давления льда при замораживании. Преобладание того или иного эффекта будет зависеть от концентрации солевого раствора. Поэтому целью данного исследования являлась оценка комплексного влияния растворов хлоридов натрия и кальция и попеременного замораживания-оттаивания на силикатный кирпич при различной концентрации растворов.

Материалы и методы исследований

Замораживанию-оттаиванию подвергались образцы силикатного бетона в виде цилиндров диаметром 3 см, высотой $3 \pm 0,1$ см, изготовленные из известково-песчаной смеси одного из предприятий по производству силикатного кирпича г Тюмени. Активность смеси по CaO составляла 9,5 %, давление прессования 100 кН, автоклавная обработка проводилась по режиму: 1,5 часа подъем давления до 0,9 МПа, 8 часов выдержка при максимальном давлении, 1,2 часа спуск давления. Серии образцов предварительно насыщались в течение 2 суток в воде и растворах солей 5 % и 20 % концентрации, после чего подвергались попеременному замораживанию при температуре -20 °C и последующему оттаиванию в тех же средах. Контроль динамики развития деструктивных процессов осуществлялся по трем показателям: внешний вид, потеря массы, потеря прочности при сжатии.

Результаты исследований

В качестве критериев морозостойкости силикатного кирпича согласно ГОСТ 379-2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные

силикатные» выступают: потеря прочности 20 %, потеря массы 10 % и отсутствие признаков видимых повреждений (шелушение, расслоение, выкрашивание и др.). Проведенные ранее исследования [5] показывают, что критерий потери прочности не является определяющим фактором, так как морозная деструкция идет при одновременном протекании процесса карбонизации, который сопровождается уплотнением структуры силикатного бетона и увеличением прочности. Кроме того, кристаллизация солей в порах бетона при воздействии на него солевых растворов, также приводит к некоторому уплотнению и упрочнению структуры на первоначальном этапе [9, 10]. Это подтверждается результатами нашего эксперимента: после первых четырех циклов замораживания-оттаивания прочность при сжатии силикатного бетона в 5 % растворах солей увеличилась на 14 %, а в 20 % растворах – на 29 %, и снизилась до первоначального уровня после 8 циклов замораживания-оттаивания в растворах 5 % концентрации и 12 циклов – в растворах 20 % концентрации, при том что к этому моменту значительная часть образцов уже имела серьезные повреждения внешнего вида. Тоже самое можно сказать о потере массы, процесс карбонизации сопровождается увеличением объема твердой фазы, а, следовательно, и увеличением массы бетона. Еще быстрее чем процесс карбонизации, происходит диффузия хлорид-ионов в структуру бетона [11], что также сопровождается увеличением массы. Потеря массы образцов возможна только после того, как начнут появляться значительные дефекты структуры. Этот критерий и выбран в качестве определяющего при оценке морозостойкости силикатного бетона в присутствии солевых растворов.

В результате исследований установлено, что на характер развития деструктивных процессов значительное влияние оказывает исходная концентрация солевого раствора. При концентрации растворов солей 5 % отмечено некоторое ускорение процесса разрушения, тогда как при концентрации солевых растворов 20 % этот процесс, наоборот, значительно замедляется. Визуально появление первых дефектов на образцах, насыщенных в воде отмечено после 8 циклов замораживания-оттаивания, в растворах солей – после 6 циклов. Однако, количество образцов с дефектами (таблица) и степень их разрушения (рисунок) сильно варьировалось в зависимости от среды насыщения, что отражено в таблице.

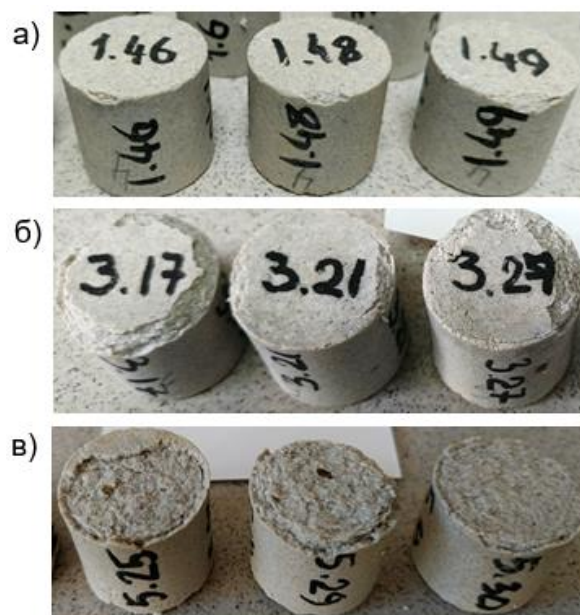


Рисунок. Степень разрушения образцов
а) незначительное; б) значительное;
в) критическое

Таблица. Динамика разрушения образцов силикатного бетона

Среда насыщения	Степень разрушения	Количество образцов с дефектами в зависимости от циклов замораживания-оттаивания, %				
		6	8	10	12	14
вода	незначительное	0	13	6	17	27
	значительное	0	27	33	50	47
	критическое	0	0	7	10	13
	всего	0	40	60	77	87
5 % NaCl	незначительное	13	52	32	19	11
	значительное	2	10	46	70	67
	критическое	0	0	0	0	14
	всего	15	62	78	89	92

Среда насыщения	Степень разрушения	Количество образцов с дефектами в зависимости от циклов замораживания-оттаивания, %				
		6	8	10	12	14
5 % CaCl ₂	незначительное	11	27	7	5	5
	значительное	49	69	80	73	59
	критическое	0	0	13	22	36
	всего	60	96	100	100	100
20 % NaCl	незначительное	2	2	2	2	2
	значительное	2	2	2	2	2
	критическое	0	0	0	0	0
	всего	4	4	4	4	4
20 % CaCl ₂	незначительное	2	2	2	2	2
	значительное	0	0	0	0	0
	критическое	0	0	0	0	0
	всего	2	2	2	2	2

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод о том, что раствор кальция хлористого является более агрессивным по отношению к силикатному бетону по сравнению с раствором хлорида натрия. Уже после 10 циклов попеременного замораживания-оттаивания в растворе CaCl₂ 100 % образцов имели дефекты внешнего вида, при том, что доля образцов, имевших значительные или критические повреждения, была значительно больше, чем после воздействия раствора NaCl или воды. Высокая стойкость образцов против морозной деструкции при насыщении в растворах 20 % концентрации объясняется тем, что жидкая фаза просто не замерзает при -20 °C [12], которая определена нормативным документом на метод определения морозостойкости. Однако, в реальных условиях эксплуатации температура наружного воздуха в зимний период времени может быть значительно ниже, да и при наступлении летнего периода процессы увлажнения-высушивания насыщенного солями бетона будут провоцировать его дальнейшее разрушение. Также следует учитывать не только усиление морозной деструкции в присутствии солей хлора, но и тот факт, что регулярное воздействие антиобледенителей на силикатный бетон в течение зимнего периода увеличивает количество циклов замораживания-оттаивания за сезон. В связи с этим можно сказать, что результаты, полученные в данном эксперименте, не так однозначны и требуют дополнительных исследований с постановкой комбинированного воздействия, основанного на чередовании периодов замораживания-оттаивания с периодами увлажнения-высушивания образцов бетона.

Также следует отметить, что силикатный бетон, полученный в лабораторных условиях не идентичен силикатному бетону, полученному в результате формования кирпича в заводских условиях, а условия насыщения и замораживания образцов небольшого формата не идентичны условиям замораживания кирпича в конструкции [13]. В реальных условиях кирпич не погружается полностью в агрессивный раствор, глубина насыщения ограничивается капиллярной проводимостью, замораживание и оттаивание также происходит более плавно, а главное в большом объеме по-другому распределяются возникающие внутренние растягивающие напряжения. Таким образом условия испытания в данном эксперименте можно считать наиболее жесткими, и они не могут быть без некоторой корректировки перенесены на реальный силикатный кирпич. Однако, они могут быть основой для сравнительного анализа влияния условий агрессивного воздействия на силикатный бетон.

Заключение

1. При попеременном замораживании-оттаивании силикатного бетона, дополнительное воздействие растворов хлоридов натрия и кальция 5 % концентрации ускоряет процесс развития деструктивных процессов, а 20 % концентрации, наоборот, значительно замедляет, вследствие снижения температуры замерзания жидкой фазы.

2. Раствор хлорида кальция является более агрессивным по отношению к силикатному бетону, по сравнению с раствором хлорида натрия.

3. Роль солевых растворов в морозной деструкции должна быть рассмотрена в

контексте чередования периодов замораживания-оттаивания и увлажнения-высушивания для оценки роли кристаллизации солей в поровом пространстве бетона на процесс его

разрушения при замораживании и размораживании, что более соответствует реальным условиям эксплуатации кладки из силикатного кирпича.

Список литературы

1. Российский рынок силикатных стеновых материалов: 2017 – 6 месяцев 2022 г. и прогноз на 2022–2023 гг. М.: ООО «ГС-ЭКСПЕРТ». 2022. 61 с.
2. Черепанов В. И. Водостойкость силикатного кирпича // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 10–11.
3. Панченко Ю. Ф. Влияние длительного хранения силикатного кирпича в воде на его прочность // Строительные материалы. 2020. № 11. С. 24–29.
4. Панченко Ю. Ф. Поведение силикатного кирпича при длительном контакте с грунтом // Строительные материалы. 2024. № 7. С. 60–64.
5. Морозостойкость силикатного кирпича / Ю. Ф. Панченко, Д. А. Панченко, В. С. Орлов [и др.] // Строительные материалы. 2024. № 5. С. 36–41.
6. Федосов С. В., Базанов С. М. Сульфатная коррозия бетона. М.: АСВ, 2003. 191 с.
7. Добшиц Л. М., Николаева А. А. Противоморозные добавки для бетонов транспортных искусственных сооружений // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. 2019. № 3 (56). С. 34–40.
8. Повышение эффективности действия противоморозных добавок в технологии бетона / О. В. Тараканов, Т. К. Акчурин, И. В. Ерофеева [и др.] // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 4 (89). С. 114–129.
9. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев [и др.]. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
10. Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетонов / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова [и др.] // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 10–17.
11. Совместное действие карбонизации и хлоридной агрессии на конструкционный бетон: вероятностная модель / Е. Е. Шалый, С. Н. Леонович, Л. В. Ким [и др.] // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 123–131.
12. Пучков Ю. М. Деструкция кирпичных кладок и их защита от солевой коррозии // Региональная архитектура и строительство. 2020. № 2 (43). С. 56–62.

13. Чернышов Е. М. Морозная деструкция бетонов часть 1. Механизм, критериальные условия управления // Строительные материалы. 2017. № 9. С. 40–46.

References

1. Rossijskij rynek silikatnyh stenovykh materialov: 2017 – 6 mesjacev 2022 g. i prognoz na 2022-2023 gg. [Russian silicate wall materials market: 2017 – 6 months 2022 and forecast for 2022-2023] Moscow: ООО "GS-EKSPERT". 2022. 61 p.
2. Cherepanov V. I. Vodostojkost' silikatnogo kirpicha [Water resistance of lime-sand brick]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, issue 9, pp. 10–11.
3. Panchenko Ju. F. Vlijanie dlitel'nogo hranenija silikatnogo kirpicha v vode na ego prochnost' [Effect of Long-Term Storage of Silicate Brick in Water on Its Strength]. *Stroitel'nye materialy*, 2020, issue 11, pp. 24–29.
4. Panchenko Ju. F. Povedenie silikatnogo kirpicha pri dlitel'nom kontakte s gruntom [Behavior of Silicate Bricks During Prolonged Contact with the Ground]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 7, pp. 60–64.
5. Morozostojkost' silikatnogo kirpicha [Frost Resistance of Silicate Bricks] / Ju. F. Panchenko, D. A. Panchenko, V. S. Orlov [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2024, issue 5, pp. 36–41.
6. Fedosov S. V., Bazanov S. M. *Sul'fatnaja korrozija betona* [Sulfate corrosion of concrete]. Moscow: ASV, 2003. 191 p.
7. Dobshic L. M., Nikolaeva A. A. *Protiomoroznye dobavki dlja betonov transportnyh iskusstvennyh sooruzhenij* [Anti-Freeze Additives for Concrete Transport Structures]. *ALITinform: Cement. Beton. Suhie smesi*, 2019, issue 3 (56), pp. 34–40.
8. Povyshenie jeffektivnosti dejstvija protiomoroznyh dobavok v tehnologii betona [Improving the Effectiveness of Antifreeze Additives in Concrete Technology] / O. V. Tarakanov, T. K. Akchurin, I. V. Erofeeva [et al.]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturo-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2022, vol. 4 (89), pp. 114–129.
9. *Korrozija betona i zhelezobetona, metody ih zashhity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection] / V. M. Moskvina, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev [et al.]. Moscow: Strojizdat, 1980. 536 p.
10. Kol'matacija: javlenie, teoriija, perspektivy primenenija dlja upravlenija processami

korrozii betonov [Colmatation: Phenomenon, Theory, Prospects of Using for Control over Concrete Corrosion Processes] / S. V. Fedosov, V. E. Rumjanceva, V. S. Konovalova [et al.]. *Stroitel'nye materialy*, 2017, issue 10, pp. 10–17.

11. Sovmestnoe dejstvie karbonizacii i hloridnoj agressii na konstrukcionnyj beton: verojatnostnaja model' [Probabilistic Model of the Combined Effect of Carbonization and Chloride Aggression on Structural Concrete] / E. E. Shalyj, S. N. Leonovich, L. V. Kim [et al.]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov*, 2018, vol. 3 (68), pp. 123–131.

12. Puchkov Ju. M. Destrukcija kirpichnyh kladok i ih zashhita ot solevoj korrozii [Destruction of Brick-Walls and Their Protection Against Salt Corrosion]. *Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo*, 2020, vol. 2 (43), pp. 56–62.

13. Chernyshov E. M. Moroznaja destrukcija betonov chast' 1. Mehanizm, kriterial'nye uslovija upravlenija [Frost Destruction of Concretes. Part 1. Mechanism, Criterial Conditions of Control]. *Stroitel'nye materialy*. 2017, issue 9, pp. 40–46.

Румянцева Варвара Евгеньевна

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

профессор кафедры естественнонаучных дисциплин

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет,

Российская Федерация, г. Иваново

директор Института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук,

зав. кафедрой естественных наук и техносферной безопасности

E-mail: varrym@gmail.com

Rumyantseva Varvara Evgenievna

doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the RAACS

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

professor of the department of natural sciences

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo State Polytechnic

University»,

Russian Federation, Ivanovo

director of the Institute of information technology, natural sciences and humanities,

head of the department of natural sciences and technosphere safety

E-mail: varrym@gmail.com

Панченко Юлия Федоровна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Panchenko Iuliia Fyodorovna

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkojf@tyuiu.ru

Панченко Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»

Российская Федерация, г. Тюмень

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных материалов

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru

Panchenko Dmitrii Alekseevich

Tyumen Industrial University

Russian Federation, Tyumen

candidate of technical sciences, docent of the Construction Materials Department

E-mail: panchenkoda@tyuiu.ru

Нармания Борис Евгеньевич

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Московский государственный

строительный университет,

Российская Федерация, г. Москва

аспирант

E-mail: borisfablee@gmail.com

Narmania Boris Evgenievich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Moscow State University

of Civil Engineering (National Research University)»

Russian Federation, Moscow

postgraduate student

E-mail: borisfablee@gmail.com

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana Vladislavovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical science

E-mail: frolovatanja@mail.ru