

УДК 691.316
DOI 10.47367/0021-3497_2024_5_220

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА
В НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ
ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**THE USING SILICATE BRICKS
IN EXTERNAL ENCLOSURE STRUCTURES
OF TEXTILE INDUSTRY ENTERPRISES**

В.Е. РУМЯНЦЕВА^{1,2}, Ю.Ф. ПАНЧЕНКО³, Д.А. ПАНЧЕНКО³, Б.Е. НАРМАНИЯ⁴
V.E. RUMYANTSEVA^{1,2}, YU.F. PANCHENKO³, D.A. PANCHENKO³, B.E. NARMANIA⁴

¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²Ивановский государственный политехнический университет,
³Тюменский индустриальный университет,
⁴Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(¹Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,
²Ivanovo State Polytechnic University,
³Industrial University of Tyumen,
⁴Moscow State University of Civil Engineering)

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

Конструкции стен зданий текстильной промышленности находятся в жестких условиях эксплуатации, так как температурно-влажностный режим в помещениях цехов способствует выпадению конденсата на поверхности стен, миграции влаги, содержащей в своем составе растворенные агрессивные вещества, вглубь материала. Вследствие этого необходимо особо тщательно подходить к выбору строительных материалов для возведения наружных стен предприятий текстильной промышленности, оценивая

перспективы их жизненного цикла. Силикатный кирпич в последние годы вновь становится популярным в России, появляются новые предприятия по его производству, проводится реконструкция существующих. В связи с этим целесообразно рассмотреть возможность применения силикатного кирпича в наружных стенах предприятий текстильной промышленности с позиции их долговечности. В статье приведены результаты оценки состояния силикатного кирпича, отобранного из кладки, датированной 1931 г. На основании проведенного анализа физико-механических характеристик и фазового состава силикатного кирпича в возрасте 92 лет по сравнению с кирпичом современного производства установлена высокая степень карбонизации гидросиликатов кальция, что, однако, не оказало критического влияния на его прочность при сжатии. Силикатный кирпич после более 90-летней эксплуатации в конструкции наружных стен находится в весьма удовлетворительном состоянии, что позволяет его рекомендовать для строительства зданий текстильной промышленности.

The walls structures of buildings of the textile industry are in hard exploitation conditions, which is associated with the temperature and humidity conditions in the facilities of the workshops. This contributes to condensation on the surface of the walls, transferring of moisture containing dissolved aggressive substances deep into the material. As a result, it is necessary to take especially careful approach to the choosing of building materials for the construction of exterior walls of textile industry enterprises, assessing the prospects of their life cycle. In recent years, silicate bricks have become popular in Russia again, new enterprises for its production are emerging, and existing ones are being reconstructed. Therefore, it is advisable to consider the possibility of using silicate bricks in the exterior walls of textile industry enterprises from the point of view of their durability. The article is devoted to assessing the condition of silicate bricks selected from masonry dated 1931. Based on the analysis of the physical and mechanical characteristics and phase composition of silicate bricks at the age of 93 years, compared with bricks of modern production, a high degree of carbonization of calcium hydrosilicates was established, which, however, did not have a critical effect on its compressive strength. Silicate brick, after more than 90 years of exploitation in the construction of exterior walls, is in a very satisfactory condition, which allows it to be recommended for the construction of buildings in the textile industry.

Ключевые слова: предприятия текстильной промышленности, наружные стены, силикатный кирпич, долговечность, прочность, карбонизация, гидроксид кальция, гидросиликаты кальция.

Keywords: textile industry enterprises, exterior walls, silicate bricks, durability strength, carbonation, calcium hydroxide, calcium hydrosilicates.

Введение

Начало строительства предприятий текстильной промышленности из кирпича приходится еще на первую половину XIX века [1]. Конечно, тогда это был керамический кирпич, но вначале XX века активно стало развиваться производство силикатного кирпича. И с тех пор эти два таких, с

одной стороны, похожих по свойствам и области применения, но, с другой стороны, абсолютно разных по составу и технологии производства кладочных материала конкурируют между собой.

Силикатный кирпич по сравнению с керамическим относительно молодой строительный материал. На момент развития его

массового промышленного производства было накоплено мало информации о его реальной долговечности в кладке и не было примеров по его длительному применению в конструкциях. Поэтому в нормативных документах, регламентирующих правила применения силикатного кирпича, было введено много ограничений, связанных с влажностным режимом его использования. Эти ограничения были вызваны представлениями о низкой водостойкости силикатного кирпича. Пятиэтажные жилые дома в России [2] и малоэтажные здания в Европе [3], построенные в 60-80-х годах прошлого столетия, по сей день находятся в хорошем состоянии. Это заставило задуматься о правомерности таких ограничений, и с течением времени некоторые ограничения были либо отменены, либо значительно ослаблены. Так, например, в СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81» допускается применение силикатного кирпича для наружных стен помещений с влажным режимом при условии нанесения на их внутреннюю поверхность пароизоляционного покрытия. Но вопрос долговечности силикатного кирпича необходимо рассматривать не только с позиции его водостойкости, которая характеризуется коэффициентом размягчения более 0,8, но и с позиции коррозионной стойкости, особенно к процессам карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и гидросиликатов кальция. Более всего это актуально для стен зданий, в том числе текстильной промышленности, подвергающихся воздействию газовых сред с высокой влажностью, обуславливающему выпадение конденсата, что способствует растворению углекислоты и диффузии ее вглубь конструкции [4...7].

В цементных бетонах процесс карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ является весьма негативным процессом, так как не только уменьшает толщину защитного слоя бетона до рабочей арматуры, но и сопровождается разрушением минералов цементного камня [8, 9, 10]. В результате гидролиза гидросиликатов в раствор, находящийся в порах бетона, выделяется гидроксид кальция, все это сопровождается снижением прочности бетона [8, 11].

С другой стороны, наблюдается противоречивый эффект уплотнения микропористой структуры бетона и увеличения его прочности [12]. Для цементных бетонов снижение прочности за счет разложения гидросиликатов кальция, как правило, превышает эффект упрочнения за счет карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Исследования прочности индивидуальных гидросиликатов кальция, получаемых в силикатных бетонах в процессе автоклавной обработки, до и после карбонизации [13, 14] показывают увеличение их прочности от незначительного (в 1,5 раза для тоберморита) до 10-кратного (для $\alpha\text{-C}_2\text{SH}$).

Целью данного исследования являлось изучение долговечности силикатного кирпича в кладке наружных стен зданий с учетом карбонизационных процессов и оценка возможности его применения для возведения зданий предприятий текстильной промышленности.

Материалы и методы

В исследованиях представлены результаты оценки прочности при сжатии и фазового состава новообразований силикатного кирпича одной партии в возрасте 4 дня и 7 лет и кирпича, отобранного из кладки стен здания общественного назначения, датированной 1931 г.



Рис. 1

Здание расположено в г. Березняки Пермского края (рис. 1) и находится в весьма удовлетворительном состоянии.

Результаты

Результаты оценки прочности при сжатии силикатного кирпича, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что прочность силикатного кирпича после 7 лет эксплуатации в кладке увеличилась на 9%, что, вероятно, связано с процессами карбонизации.

Т а б л и ц а 1

Вид кирпича	Возраст	Средняя прочность при сжатии, МПа
Пустотелый утолщенный не окрашенный	4 суток	18,7
Пустотелый утолщенный не окрашенный	7 лет	20,5
Полнотелый утолщенный не окрашенный	92 года	19,4

Результаты рентгенофазового анализа образцов кирпича разного возраста представ-

лены на рисунках: рис. 2 – 4 суток, рис. 3 – 7 лет, рис. 4 – 92 года.

Установлено, что в образце 4-суточного возраста (рис. 2) присутствуют: 1 – кварц ($d, \text{Å}$: 4,2628; 3,3485; 2,4578; 2,2823; 2,2378; 2,1280; 1,9802; 1,8180; 1,6058; 1,6718; 1,5414; 1,4526; 1,3823; 1,3733; 1,2878; 1,2560; 1,2286; 1,1996; 1,1805; 1,1533); 2 – кальцит ($d, \text{Å}$: 3,8574; 3,0382; 2,2823; 1,9119; 1,8755; 1,6058; 1,2878; 1,1805; 1,1533); 3 – α -гидрат двухкальциевого силиката ($d, \text{Å}$: 3,8574; 3,4769; 3,2700; 2,8137; 2,4578; 2,4180; 2,2823; 2,2378; 2,0941; 1,9802; 1,9119; 1,8755; 1,7882; 1,5414; 1,4526; 1,3733) и 4 – тоберморит $11A$ $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$ ($d, \text{Å}$: 11,4479; 5,4597; 3,5420; 3,0832; 2,8137; 1,8180; 1,6718; 1,5414; 1,3733), а в образцах 7 (рис. 3) и 92 лет (рис. 4) α -гидрат двухкальциевого силиката отсутствует. При этом с увеличением возраста кирпича увеличивается интенсивность пиков $CaCO_3$, а интенсивность пиков, соответствующих тобермориту, снижается.

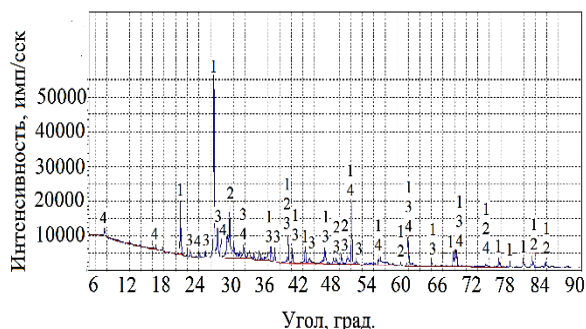


Рис. 2

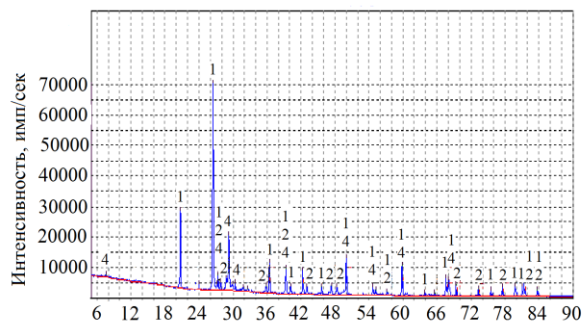


Рис. 3

Результаты дифференциально-термического анализа образцов силикатного кирпича, представленные в табл. 2, подтверждают, что с увеличением возраста кирпича снижается содержание $Ca(OH)_2$ и гидросиликатов кальция в силикатном бетоне, а содержание кальцита увеличивается, что свидетельствует о карбонизационных процессах в силикатном бетоне.

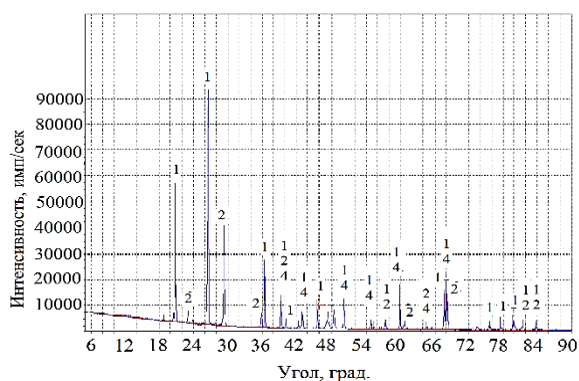


Рис. 4

t эф-фекта, °С	Соединение	Изменение массы, %, для образца в возрасте			Количество, %		
		4 суток	7 лет	92 года	4 суток	7 лет	92 года
400-520	Портландит (Ca(OH) ₂)	Совпадает с α-C ₂ SH	0,99	0,58	-	4,1	2,4
750-860	Кальцит CaCO ₃	2,95	4,06	5,40	6,7	9,2	12,3
420-440	α-C ₂ SH	Совпадает с CaCO ₃	-	-	-	-	-
185-300	Тоберморит 11A C ₅ S ₆ H ₅	2,11	1,61	0,5	17,1	13,1	4,1

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что при нормальных условиях эксплуатации кирпичной кладки, исключая ее постоянное замачивание движущимися потоками воды, что наблюдается под кондиционерами, парапетами и карнизами и сопровождается вымыванием Ca(OH)₂, силикатный кирпич способен длительное время (более 90 лет) сохранять свою прочность, а значит, его можно считать долговечным материалом.

В конструкциях стен зданий текстильной промышленности основную опасность для силикатного кирпича может представлять ускоренная карбонизация, обусловленная повышением проницаемости кирпича для углекислоты в условиях повышенной влажности и температуры. Так как определено, что процесс карбонизации Ca(OH)₂ и гидросиликатов кальция в силикатном кирпиче не сопровождается снижением его прочности, можно сделать вывод о возможности его применения для возведения наружных стен предприятий текстильной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Король Е.А., Кустикова Ю.О., Шенберева А.В. Эксплуатационная безопасность кирпичных наружных стен предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3 (405). С. 201...208.
2. Бабков В.В., Самофеев Н.С., Чуйкин А.Е. Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8 (26). С. 35...40.
3. Messali F., Esposito R., Ravenshorst G.J.P. et al. Experimental investigation of the in-plane cyclic behav-

our of calcium silicate brick masonry walls. Bull Earthquake Eng 18, 3963–3994 (2020). – <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00835-x>.

4. Крайнова А.Е. Особенности проведения специальной оценки условий труда на предприятиях текстильной промышленности // Сборник матер. междунар. науч.-техн. конф. М.: МГУДиТ, 2015. С. 124...128.

5. Крайнова А.Е., Пасько П.В. Разработка мероприятий по улучшению условий в ткацком цехе // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). Иваново: ИВГПУ, 2021. № 1. С. 367...369.

6. Король Е.А., Дегаев Е.Н., Нармания Б.Е. Верификация температуры воздуха рабочих зон на предприятиях текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 189...194.

7. Румянцева В.Е., Красильников И.В., Красильникова И.А. и др. Изменение несущей способности строительных конструкций предприятий текстильной и легкой промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2 (404). С. 218...227.

8. Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н. и др. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / под общей ред. В.М. Москвина. М.: Стройиздат, 1980.

9. Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A. Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // Construction and Building Materials. 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879.

10. Forsdyke J.C., Lees J.M. Model fitting to concrete carbonation data with non-zero initial carbonation depth. Mater Struct 56, 22 (2023). – <https://doi.org/10.1617/s11527-023-02104-0>.

11. Федосов С.В., Румянцева В.Е., Касьяненко Н.С., Красильников И.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов коррозии первого вида цементных бетонов при наличии внутреннего источника массы // Строительные материалы. 2013. № 6. С. 44...47.

12. Леонович С.Н., Chao Feng, Miao Jijun и др. Поведение конструкционного бетона при высокой

температуре: карбонизация, декарбонизация и рекарбонизация // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2023. № 2 (55). С. 73...85. – DOI: 10.24866/2227-6858/2023-2/73-85.

13. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. Репринтное воспроизведение издания 1982 г. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 384 с.

14. Zhou, H., Liu, P., Wang, F. et al. Carbonation of Dicalcium Silicate Enhanced by Ammonia Bicarbonate and Its Mechanism. Technol.-Mat. Sci. Edit.39, 69–74 (2024). – <https://doi.org/10.1007/s11595-024-2856-z>

REFERENCES

1. Korol O.A., Kustikova Y.O., Shenbereva A.V. Operational safety of brick exterior walls of textile industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 3 (405). P. 201...208. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_201.

2. Babkov V.V., Samofeev N.S., Chuykin A.Ye. A silicate brick in external walls constructions of apartment houses: condition analysis, durability forecast and methods of its increasing // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2011. No.8, pp. 35...40.

3. Messali F., Esposito R., Ravenshorst G.J.P. et al. Experimental investigation of the in-plane cyclic behaviour of calcium silicate brick masonry walls. Bull Earthquake Eng 18, 3963–3994 (2020). – <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00835-x>.

4. Krajnova A.E. Features of conducting a special assessment of working conditions at textile industry enterprises // Proceedings of materials of the International scientific and technical conference. M.: MGUDT, 2015. P. 124...128.

5. Krajnova A.E., Pasko P.V. Development of events to improve conditions in the weaving shop // Young scientists - development of the National Technological Initiative (POISK). Ivanovo: IVGPU, 2021. pp. 367...369.

6. Korol E.A., Degaev E.N., Narmanija B.E. The air temperature verification of working areas in the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022.

№ 6 (402). P. 189...194. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_6_189.

7. Rumyantseva V.E., Krasilnikov I.V., Krasilnikova I.A. et al. Changing the bearing capacity of building structures of textile and light industry enterprises // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 2 (404). P. 218...227. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_2_218.

8. Moskvina V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N. Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. M.: Stroyizdat, 1980. 536 с.

9. Zhang Y., Xu M., Song J., Wang Ch., Wang X., Hamad B.A. Study on the corrosion change law and prediction model of cement stone in oil wells with CO₂ corrosion in ultra-high-temperature acid gas wells // Construction and Building Materials. 2022, 323, 125879. – DOI:10.1016/j.conbuildmat.2021.125879.

10. Forsdyke J.C., Lees J.M. Model fitting to concrete carbonation data with non-zero initial carbonation depth. Mater Struct56, 22 (2023). – <https://doi.org/10.1617/s11527-023-02104-0>.

11. Fedosov S.V., Rumyantseva V.E., Kasyanenko N.S., Krasilnikov I.V. Theoretical and experimental studies of corrosion processes of the first type of cement concretes in the presence of an internal mass source // Stroitel'nye materialy. 2013. №6. P. 44...47.

12. Leonovich S.N., Shao Feng, Miao Jijun et al. Structural concrete at high temperature: carbonization, decarbonization and recarbonization // Vestnik inzhenernoj shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. 2023. № 2 (55). P. 73...85. – DOI: 10.24866/2227-6858/2023-2/73-85.

13. Havkin L.M. Sand-lime bricks technology / Reprint issue 1982. M.: Ekolit. 2011. 384 с.

14. Zhou, H., Liu, P., Wang, F. et al. Carbonation of Dicalcium Silicate Enhanced by Ammonia Bicarbonate and Its Mechanism. Technol.-Mat. Sci. Edit.39, 69–74 (2024). – <https://doi.org/10.1007/s11595-024-2856-z>

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности ИВГПУ. Поступила 29.07.24.