

Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения

*Д.т.н., профессор В. В. Бабков;
аспирант Н. С. Самофеев*;
к.т.н., доцент А. Е. Чуйкин,*

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный нефтяной технический университет

Ключевые слова: карбонизация структурообразующих гидросиликатных фаз; поврежденность наружных стен; продление и повышение долговечности; эксплуатационная надежность

Применение силикатного полнотелого кирпича в жилищном домостроении имеет длинную историю. Характерным примером развития этой отрасли является Республика Башкортостан.

Силикатный полнотелый кирпич как основной строительный материал начал применяться в Башкирии в начале XX века. Первое производство силикатного кирпича (по архивным материалам Уфимской губернии) относится к 1904 году, тогда как производство керамического кирпича уже к середине 1880 гг. в Башкирии реализовывалось на 9 заводах, из них 8 располагалось в Уфе. Первое производственное оборудование УКСМ (Уфимский Комбинат Строительных материалов, ныне «ОАО Башкирский кирпич») было представлено одним прессом, двумя гасильными барабанами и двумя автоклавами, обеспечивали работу известковый (пос. «Александровка») и гипсовый (пос. «Новиковка») заводы, располагавшиеся вблизи Уфы. К концу 1920-х годов жилищный фонд города насчитывал почти 10 тысяч домов: главным образом это были одноэтажные деревянные постройки. На всю Уфу приходилось всего 484 кирпичных здания, и только 41 из них имело три этажа.

Активное применение силикатного кирпича в жилищном домостроении началось после принятия в первой половине 1950-х гг. «Генерального плана реконструкции и развития г. Уфы». Жилые дома, построенные в этот период, реализовывались в основном по типовым сериям (1-447 и 1-511) в силикатном кирпиче с толщиной наружной стены 640 мм в 4-5-этажном исполнении.

В целом, развернутая в то время жилищная программа в значительной степени решила острый дефицит достаточно комфортных и пригодных для проживания жилых домов для многих жителей не только Уфы, но и в целом по СССР. Объем введенного жилого фонда в период с 1940-хх по 1970-е гг. на основе силикатного кирпича в крупных городах Республики Башкортостан оценивается в 18,3 млн. м² общей площади, в т.ч. в Уфе примерно 6–6,5 млн.м².

Стоит отметить, что на современной территории Уфы сосредоточено более 200 крупных и средних промышленных предприятий, большая часть которых расположена в северной части города. По данным 2011 г. по количеству вредных выбросов столица республики Башкортостан занимает 9 место по России. Значительная часть жилых домов на основе силикатного полнотелого кирпича расположена в Орджоникидзевском и Октябрьском районах города и, учитывая розу ветров, находится в наиболее неблагоприятной экологической ситуации.

Очевидно, что силикатный кирпич автоклавного твердения, применяемый в массовом строительстве по типовым сериям жилых домов в Уфе, после 70 лет эксплуатации требует комплексной оценки изменения основных эксплуатационных свойств материала в конструкции наружной стены.

Исследование протекающих в структуре силикатного кирпича процессов и их последствий, а также вызывающих эти изменения причин, является актуальной задачей. Ее решение позволит более достоверно прогнозировать поведение материала кирпичных стен на основе силикатного кирпича в последующий период эксплуатации. В данной статье силикатный кирпич рассматривается в составе одной из наиболее повреждаемых частей здания – стеновой ограждающей конструкции жилого дома – в условиях длительной эксплуатации в крупном промышленном городе с развитой нефтехимической и химической промышленностью и со сложной экологической обстановкой.

В период 2006-2008 гг. специалистами кафедры «Строительные конструкции» УГНТУ в Уфе были проведены натурные визуальные обследования более 80% (около 600 объектов) 4-5-этажных жилых домов на основе силикатного кирпича постройки 40-70-х гг. с фотофиксацией характерных повреждений и дефектов наружных стеновых конструкций. По результатам

Бабков В.В., Самофеев Н.С., Чуйкин А.Е. Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения

обследований были выявлены основные деструктурирующие факторы [1, 2], воздействующие на силикатный кирпич в конструкциях наружных стен:

- попеременные увлажнение и осушение поверхностного слоя, вызывающие неравномерные объемные деформации набухания-усадки, обусловленные действием механизма сорбции-десорбции, а также напряжений капиллярного стягивания, приводящие к развитию внутренних напряжений и локальным структурным повреждениям, деструкции материала. Природа этих механизмов связана с замачиванием наружной стены косым дождем и действием конденсатообразования;
- процессы замораживания-оттаивания, сочетающиеся с поверхностным увлажнением, приводящие к деструкции и деградации поверхностных слоев материала;
- изменения, вызванные воздействием углекислого газа воздуха на структуру гидросиликатной связки силикальцитного материала;
- объемное глубокое замачивание стены (подкарнизной и подоконной зон), связанное с залповым попаданием влаги при нарушениях кровли и подоконных водоотливов, нарушениях общих систем водостоков. При сочетании с замораживанием и оттаиванием силикатная кладка в этих условиях подвергается массивному разрушению и вывалам.

Особое место среди механизмов разрушения силикатной кладки занимает глубокое замачивание массива кладки на большую глубину по механизму ее промачивания дефектами кровли и подоконной защиты. Совпадение такого глубокого замачивания и замораживания-оттаивания в переходные периоды года приводит к интенсивному размораживанию кладки на большую глубину. Восстановление несущей способности и ремонт кладки наружных стен в данном случае связаны с переборкой кладки и ее заменой на новый полнотелый силикатный кирпич.

Оценка состояния силикатного кирпича и кладочного раствора в конструкциях наружных стен в лабораторных и натурных условиях была проведена на образцах 40-х, 70-х и 2000-х гг. с диагностикой изменения основных физико-химических и физико-механических параметров.

Обследованиями установлено, что глубина поверхностного слоя элементов кладки, полностью деструктированного за счет попеременного замачивания – осушения в летний и замораживания-оттаивания в переходные периоды (осень – зима, зима – весна), а также карбонизации и перекристаллизационных процессов в гидросиликатных фазах структуры силикатного кирпича, на объектах 70-х годов составляет 3-4 мм, на объектах 40-х гг. – 8-10 мм. За пределами деструктированного слоя структура силикатного кирпича сохраняет прочность и жесткость.

Интенсивную деструкцию поверхностного слоя можно объяснить действием механизма коррозии II вида по В.М. Москвину. В данном случае в силу развития внутренних напряжений от воздействия попеременного замачивания-осушения и замораживания-оттаивания происходит частичная деструкция силикатного материала. Содержащаяся в воде углекислота (H_2CO_3), проникая в структуру разуплотненного материала, образует растворимый гидрокарбонат кальция ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), который, диффундируя к наружной поверхности кирпича, вымывается дождевой водой, снижает относительное содержание кальцита в этой зоне кирпича, вплоть до его полной деструкции.

Прочность на сжатие образцов силикатного кирпича лицевого слоя кирпичной кладки за пределами деструктированного слоя наружной стены жилых домов начала 40-х – середины 50-х гг. в среднем составила 8,4 МПа, начала 60-х – середины 70-х – 10,9 МПа. С конца 40-х – начала 50-х гг. промышленное производство силикатного кирпича велось по действующему в то время ГОСТ 379-53 и для кладки наружных стен применялся лицевой кирпич марки 75, а с середины 60-х уже использовался ГОСТ 379-69, повысивший требования к облицовочному кирпичу до марки 125. Учитывая это, можно сделать вывод о применении в лицевом слое кладки на объектах 40-50-х гг. силикатного кирпича марки около 100 (что согласуется с результатами наших испытаний изделий, взятых из наружных стен жилых домов), а на объектах 60–70-х гг. – марки 125.

Предел прочности на сжатие кладочного раствора на объектах 40-х гг. постройки в среднем составил 5,6 МПа, 70-х – 7,4 МПа. На образцах силикатного кирпича 40-х гг. также было проверено сцепление кирпича с цементно-известковым раствором. Прочность раствора на отрыв составила в среднем 1.26 кгс/см² при когезионном характере разрушения.

Рентгенофазовым и дифференциально-термическим анализом проб, взятых на глубине 25 мм от наружной поверхности силикатного кирпича 40-х и 70-х гг., установлено, что

Бабков В.В., Самофеев Н.С., Чуйкин А.Е. Силикатный кирпич в наружных стенах зданий: анализ состояния, прогноз долговечности и способы ее повышения

минералогический состав материала в основном представлен (рис. 1, 2 (а, б)) α -кварцем, низкоосновными гидросиликатными структурообразующими фазами (ксонотлит (C_6S_6H), тоберморит ($C_5S_6H_{5,5}$), гиролит ($C_2S_3H_{2,5}$)) с соотношением (CaO/SiO_2) ≤ 1 и кальцитом ($CaCO_3$). Минералогический состав «молодого» кирпича (производства 2010 г), взятого для сравнения, представлен (рис. 1 и 2 (в)) α -кварцем, в большей степени и высокоосновными гидросиликатами (гиллебрандит ($C_2SH_{1,17}$), фошагит ($C_5S_3H_3$), афвиллит ($C_3S_2H_3$)) со степенью основности (CaO/SiO_2) ≥ 1 и в меньшей – низкоосновными гидросиликатными фазами (ксонотлит, тоберморит, гиролит), портландитом ($Ca(OH)_2$), а также следами кальцита.

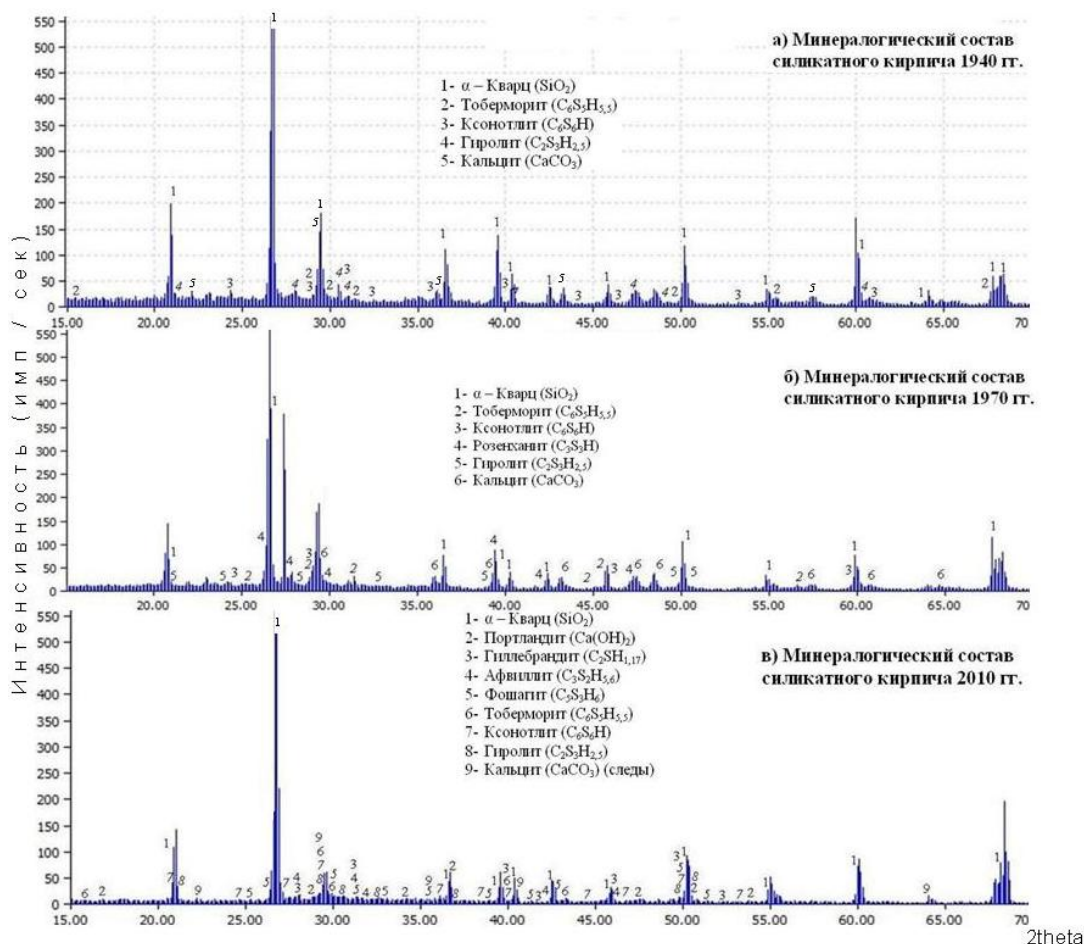


Рисунок 1. Рентгенограммы минералогического состава силикатного кирпича (на глубине 25 мм от наружной поверхности) на 70-летнем интервале эксплуатации (а-в) в климатических условиях Уфы

Отметим, что все образцы (40-х, 70-х, и 2010 гг.), отобранные для исследования, взяты на объектах, имевших одного и того же поставщика силикатного кирпича (ОАО «Башкирский кирпич» (ранее ОАО «УКСМ»)).

При изучении минералогического состава проб силикатного кирпича по данным рентгенограмм (рис. 1) и дериватограмм (рис. 2) было отмечено, что частота и интенсивность пиков на рентгенограммах и отчетливо выражающиеся эндоэффекты на дериватограммах у кальцита ($CaCO_3$) увеличиваются в направлении образцов более раннего возраста (70-е \rightarrow 40-е гг.), что отражает происходящие процессы карбонизации в кирпиче (рис. 3).

Наблюдаемое количественное увеличение низкоосновных гидросиликатов и кальцита в кирпиче более «зрелого» возраста, связанное с 2-х стадийным протеканием процессов перекристаллизации высокоосновных гидросиликатов кальция под влиянием CO_2 в низкоосновные (первая стадия – реакции 2.1, 3.1, 4.1, указанные в табл. 1) и далее в кальцит (вторая стадия – реакции 2.2, 3.2, 4.2, 5, 6, 7, 8), подтверждается результатами рентгенофазового и дифференциально-термического исследований проб образцов силикатного кирпича с разным сроком эксплуатации. Принципиальный характер двухстадийности подобных процессов в силикатных структурах называется также в работах [3, 5].

Расчеты, касающиеся процессов перекристаллизации основных структурообразующих фаз силикатного кирпича, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Перекристаллизация и объемные изменения в структурообразующих гидросиликатных фазах силикатного кирпича при карбонизации (по данным [3, 4])

Реакции карбонизации	Исходные продукты до карбонизации		Кристаллические продукты карбонизации (CaCO ₃)		Коэффициент изменения объема кристаллической фазы
	Молекулярная масса, m _x	Плотность, γ _x , г/см ³	Молекулярная масса, m _y	Плотность, γ _y , г/см ³	
1	2	3	4	5	8
1 Ca(OH) ₂ + CO ₂ = CaCO ₃ + H ₂ O	74,09	2,23	100,09	2,71	1,111
2.1 (гиллебрандит) => (ксонотлит) 6C ₂ SH _{1.17} +6CO ₂ = C ₆ S ₆ H+6CaCO ₃ +6H	1159,8	2,64	714,96 600,54	2,69 2,71	1,11
2.2 (ксонотлит) C ₆ S ₆ H+6CaCO ₃ +6H+6CO ₂ => 12CaCO ₃ +6SiO ₂ +7H	-	-	1201,1	2,71	1,01
3.1 (фошагит) => (ксонотлит) 2C ₃ S ₂ H ₃ +4CO ₂ = C ₆ S ₆ H+4CaCO ₃ +5H	1029,28	2,67	714,96 400,36	2,69 2,71	1,073
3.2 (ксонотлит) C ₆ S ₆ H+4CaCO ₃ +5H+6CO ₂ = 10CaCO ₃ +6SiO ₂ +6H	-	-	1000,1	2,71	0,957
4.1 (афвиллит) => (ксонотлит) 3C ₃ S ₂ H ₃ + 3CO ₂ = C ₆ S ₆ H + 3CaCO ₃ + 8H	1027,14	2,64	714,96 300,27	2,69 2,71	0,994
4.2 (ксонотлит) C ₆ S ₆ H+3CaCO ₃ +8H+6CO ₂ = 9CaCO ₃ +6SiO ₂ +9H	-	-	600,54	2,71	0,877
5 (ксонотлит) C ₆ S ₆ H+6CO ₂ = 6CaCO ₃ +6SiO ₂ +H	714,96	2,69	600,54	2,71	0,834
6 (риверсайдит) C ₅ S ₆ H ₃ + 5CO ₂ = 5CaCO ₃ + 6SiO ₂ + H ₃	694,98	2,6	500,45	2,71	0,691
7 (тоберморит) C ₆ S ₆ H _{5,5} +5CO ₂ = 5CaCO ₃ +6SiO ₂ +5,5H ₂ O	739,8	2,43	500,45	2,71	0,606
8 (гиролит) C ₂ S ₃ H _{2,5} +2CO ₂ = 2CaCO ₃ +3SiO ₂ +H _{2,5}	328,4	2,4	200,18	2,71	0,54

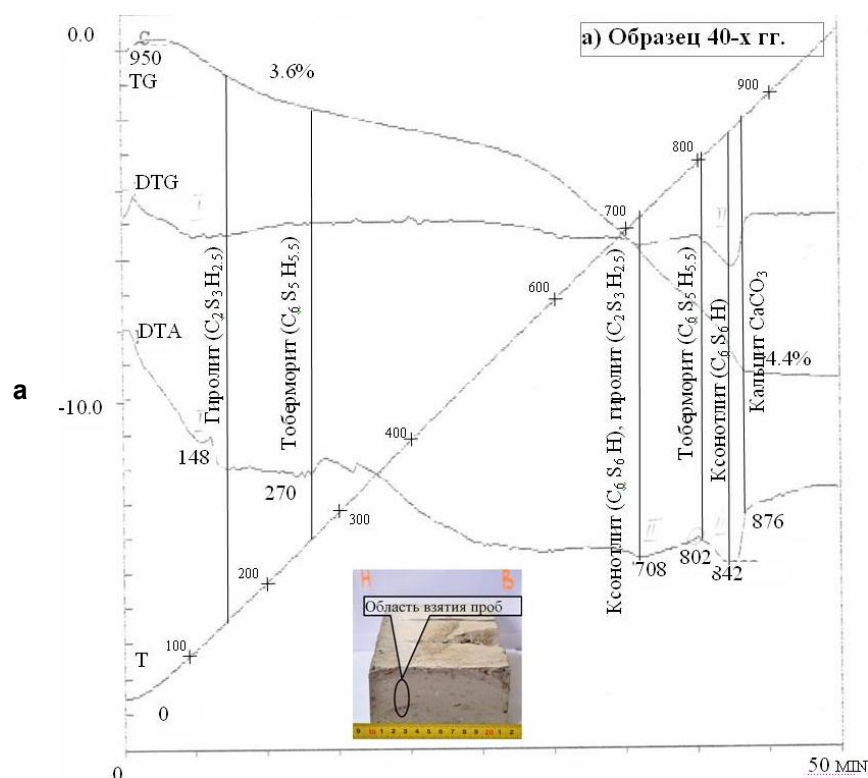


Рисунок 2.
Дериватограммы проб
(на глубине 25 мм от
наружной
поверхности)
силикатного кирпича
1940-х (а), 1970-х (б) и
2010 г. (в)

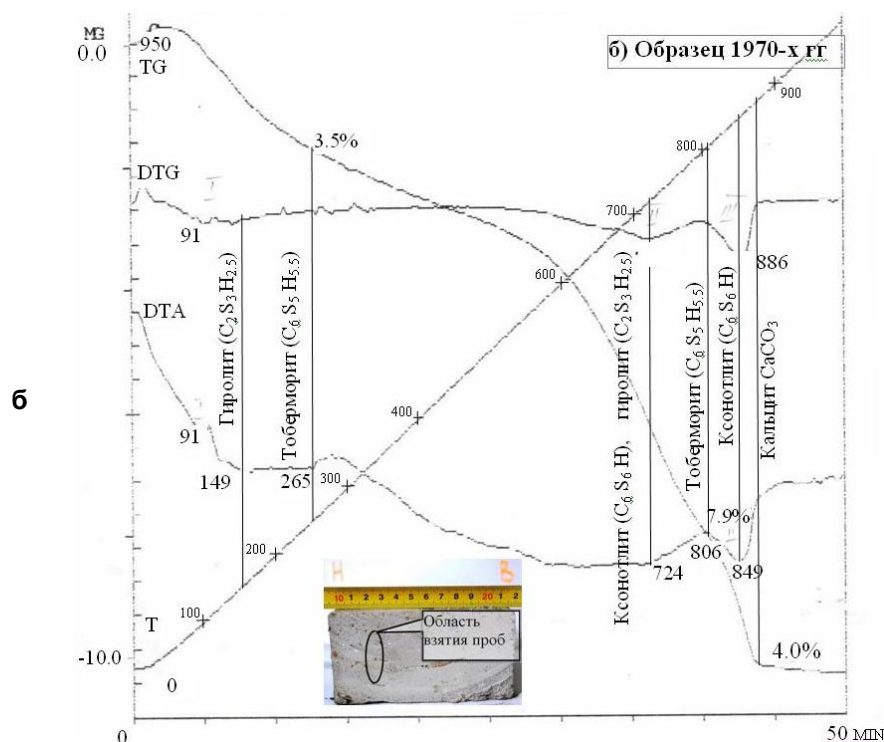
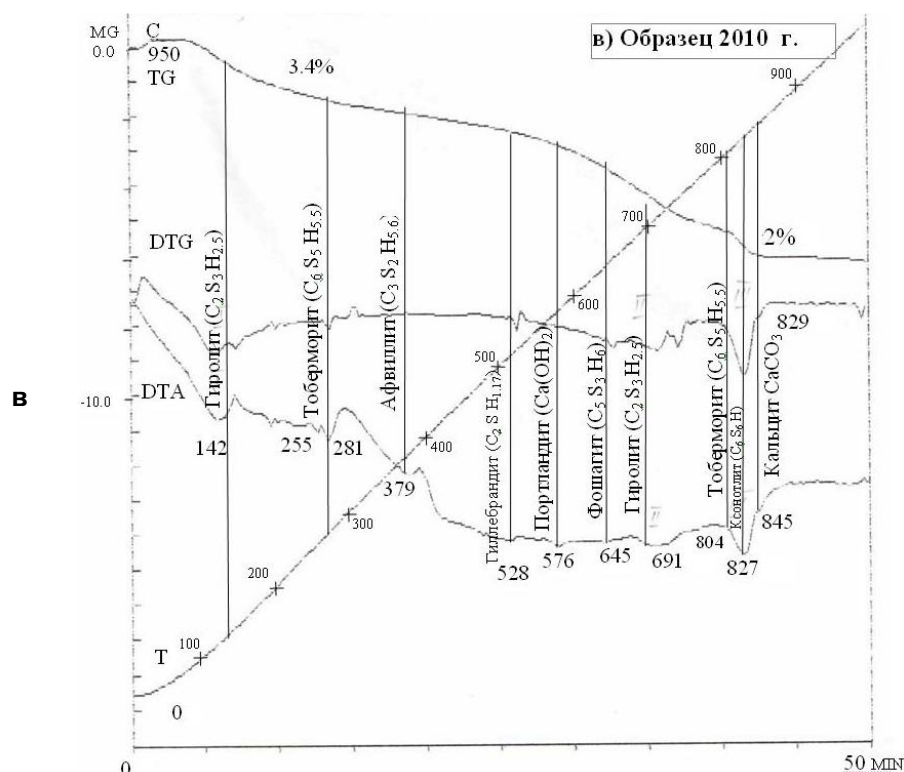


Рисунок 2.
Дериватограммы проб
(на глубине 25 мм от
наружной
поверхности)
силикатного кирпича
1940-х (а), 1970-х (б) и
2010 г. (в)



В ряде работ [6, 7, 8] также отмечается, что снижение прочности облицовочного кирпича (до 15-20%) в кладке наружных стен за длительный период эксплуатации (30-40 лет) характерно для силикатного кирпича в наружном облицовочном слое. После соответствующих расчетных оценок прочностных характеристик кладок можно сделать вывод о снижении прочности стены за счет уменьшения эффективного сечения вследствие разрушения наружного слоя на 7-12 %. Состояние материалов (кирпича и кладочного раствора) более глубоких слоев кладки наружных стен зданий находится в значительно лучшем или даже в исходном состоянии, что подтверждается нашими обследованиями состояния большого количества жилых объектов на основе силикатного кирпича разного возраста.

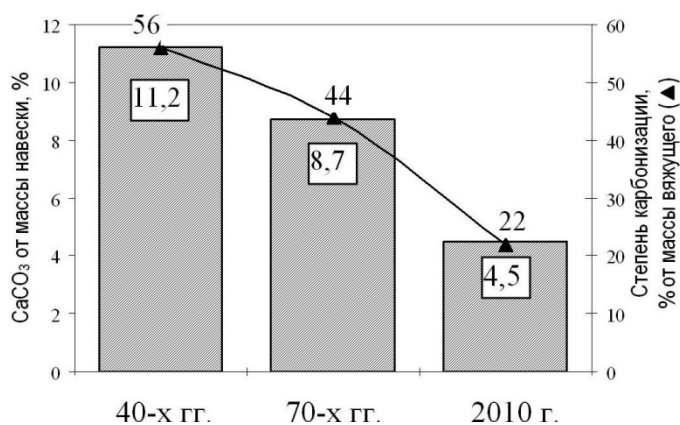


Рисунок 3. Относительное содержание кальция в пробах силикатного кирпича разного возраста (на глубине 25 мм от наружной поверхности стены)

Анализ результатов проведенных физико-механических и физико-химических исследований позволяет сделать вывод, о том, что наружная стена в силикатном кирпиче после 50-70 лет эксплуатации в основном сохраняет свои эксплуатационные качества с уровнем потерь несущей способности до 10-15%. Продление эксплуатационного ресурса наружной стены на основе силикатного кирпича возможно путем ее защиты гидроизоляционными материалами (штукатурные системы, гидрофобные проникающие композиции) при сочетании названных систем гидрозащиты с эффективной фасадной теплоизоляцией [9, 10].

Такие системы должны обладать необходимой паропроницаемостью и обеспечивать требования нормативов по температурно-влажностному состоянию стены за зимние месяцы и годовой период [11, 12].

Литература

1. Бабков В. В., Самофеев Н. С., Проторчин Р. В., Садыков И. М. Реализация программы комплексной санации жилых домов постройки 1950-1980 гг в Республике Башкортостан // Жилищное строительство. 2010. №4. С. 22-26.
2. Бабков В. В., Самофеев Н. С. Состояние силикатного кирпича в наружных стенах жилых домов после длительной эксплуатации // Инженерные системы. 2011. Май. С. 25-28.
3. Силаенков Е. С. Долговечность изделий из ячеистых бетонов. М. : Стройиздат, 1986. 176 с.
4. Бабков В. В., Мохов В. Н., Капитонов С. М., Комохов П. Г. Структурообразование и разрушение цементных бетонов / ГУП «Уфимский полиграфкомбинат». Уфа, 2002. 376 с.
5. Кржеминский С. А., Судина Н. К., Кройчук Л. А., Варламов В. П. Автоклавная обработка силикатных изделий. М. : Стройиздат, 1974. 160 с.
6. Песельник В. Е. Исследование поведения силикатных облицовок фасадов зданий. М. : Стройиздат, 1956. 156 с.
7. Смирнов Н. Н. Исследования в области силикатного кирпича // Труды НИИ минералогии и петрографии. 1928. Вып. 1. С. 5-17.
8. Княтько М. В., Горшков А. С., Рымкевич П. П. Лабораторные и натурные исследования долговечности (эксплуатационного срока службы) стеновой конструкции из автоклавного газобетона с облицовочным слоем из силикатного кирпича // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 20-26.
9. Гайсин А. М., Бабков В. В., Синицин Д. А. Теплоэффективные конструкции наружных стен в практике проектирования и строительства зданий в Республике Башкортостан, опыт эксплуатации и существующие проблемы // Строительные материалы. 2006. №5. С. 43-46.
10. Синицин Д. А., Бабков В. В. Результаты наблюдений за объектами, выполненными с применением фасадной теплоизоляции в Республике Башкортостан // Материалы X международной научно-технической конференции «Проблемы строительного комплекса России» при X Международной специальной выставке «Строительство. Коммунальное хозяйство». 2006. С. 27-29.
11. Бабков В. В., Кузнецов Д. В., Гайсин А. М., Резвов О. А., Самофеев Н. С. Проблемы эксплуатационной надежности наружных стен зданий на основе автоклавных газобетонных блоков и возможности их защиты от увлажнения // Инженерно-строительный журнал. 2010. №8. С. 28-31.
12. Савин В. К. Долговечность и эффективность зданий // Стены и фасады. 2004. № 3-4. С. 21-26.

**Никита Святославович Самофеев, г. Уфа, Россия*

Тел. моб.: +7(917)404-93-21; эл. почта: volvita@inbox.ru

doi: 10.5862/MCE.26.6

A silicate brick in external walls constructions of apartment houses: condition analysis, durability forecast and methods of its increasing

V.V. Babkov;
N.S. Samofeev;
A.Ye. Chuykin,

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia
+7(917)404-93-21; e-mail: volvita@inbox.ru

Key words

carbonisation of the structure-phase hydrosilicate; erosion of the exterior walls; prolongation and durability increase; serviceability

Abstract

Practice shows, that constructive elements the most damaged by the environmental conditions are external walls of apartment houses. These constructive elements demand a complex estimation of their condition, including assessment of decreasing of their operational characteristics which provide their bearing ability and heat-shielding properties. It is also necessary to develop the ways of their operational resource prolongation.

In the given work the structure of silicate brick is analyzed, the questions of a technical condition are considered. The forecast is made and ways of prolongation of a residual operational resource of external walls of buildings on the basis of a silicate brick of construction 40 - 70 years are discussed. The analysis is made using physical and chemical methods on an example of an available housing of this category in cities of Republic Bashkortostan.

The received results concerning external walls condition allow to make a conclusion about decreasing of silicate brick external wall bearing ability for the long period of operation (?70 years) within the limits of up to 10-15% due to reduction of effective section by 7-12%, decreasing in durability of a facing brick to 15-20%. Materials (a brick and a masonry mortar) which were located in deeper layers of external walls were in much better or even in practically initial condition. It is proved out by the big number of inhabited objects inspections. Prolongation of a residual operational resource of an external wall on the basis of a silicate brick is possible by its protection by waterproofing materials (plaster systems, waterproof getting compositions) in a combination of the named systems of hydro-protection with effective facade heat-insulation.

References

1. Babkov V. V., Samofeev N. S., Protorchin R. V., Sadykov I. M. *Housing construction*. 2010. No. 4. Pp. 22-26. (rus)
2. Babkov V. V., Samofeev N. S. *Engineering systems*. 2011. May. Pp. 25-28. (rus)
3. Silayenkov Ye. S. *Dolgovechnost izdeliy iz yacheistyykh betonov* [Durability of foamed concrete structures]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 176 p. (rus)
4. Babkov V. V., Mokhov V. N., Kapitonov S. M., Komokhov P. G. *Strukturoobrazovaniye i razrusheniye tsementnykh betonov* [Structurization and destruction of cement concrete]. Ufa: State Unitary Enterprise «Ufa Polygraphic combine», 2002. 376 p. (rus)
5. Krzheminskiy S. A., Sudina N. K., Kroychuk L. A., Varlamov V. P. *Avtoklavnaya obrabotka silikatnykh izdeliy* [Autoclave treatment of silicate products]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 160 p. (rus)
6. Peselnik V. E. *Issledovaniye povedeniya silikatnykh oblitsovok fasadov zdaniy* [Buildings facades silicate facing research]. Moscow: Stroyizdat, 1956. 156 p. (rus)
7. Smirnov N. N. Works of Scientific research institute of mineralogy and petrography. Vol. 1. 1928. Pp. 5-17. (rus)
8. Knatko M. V., Gorshkov A. S., Rymkevich P. P. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 8. Pp. 20-26.

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

9. Gaysin A. M., Babkov V. V., Sinitsin D. A. *Building materials*. 2006. No. 5. Pp. 43-46.
10. Sinitsin D. A., Babkov V. V. *Proceedings of X International scientific conference "Problems of the building complex of Russia" at the X International Special Exhibition "Construction. Public Utilities (2006)"*. 2006. Pp. 27-29.
11. Babkov V. V., Kuznetsov D. V., Gaysin A. M., Rezvov O. A., Samofeyev N. S. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 8. Pp. 28-31.
12. Savin V. K. *Walls and facades*. 2004. No. 3-4. Pp. 21-26.

Full text of this article in Russian: pp. 35-40