

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 ($Ca(HCO_3)_2$), 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.

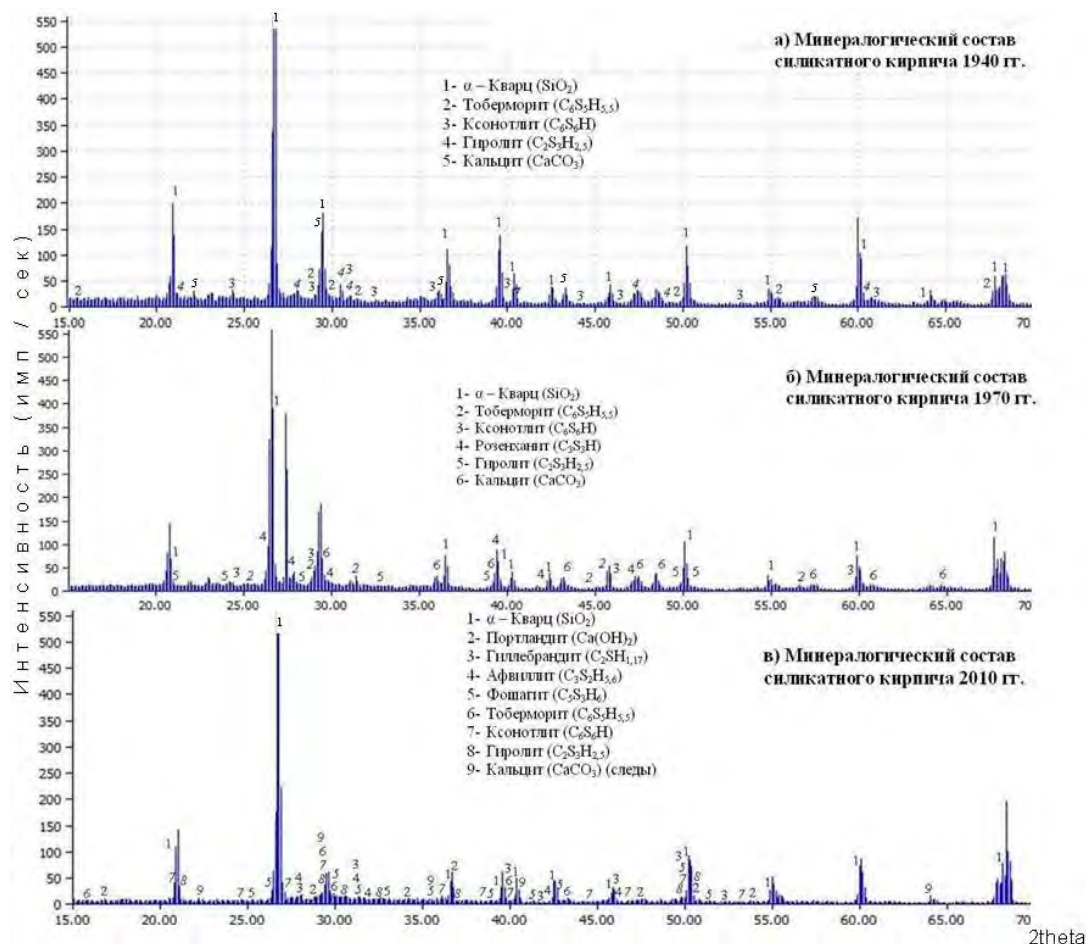


Рисунок 1. Рентгенограммы минералогического состава силикатного кирпича (на глубине 25 мм от наружной поверхности) на 70-летнем интервале эксплуатации (а-в) в климатических условиях Уфы

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 ₅ S ₃ 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 ₅ 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

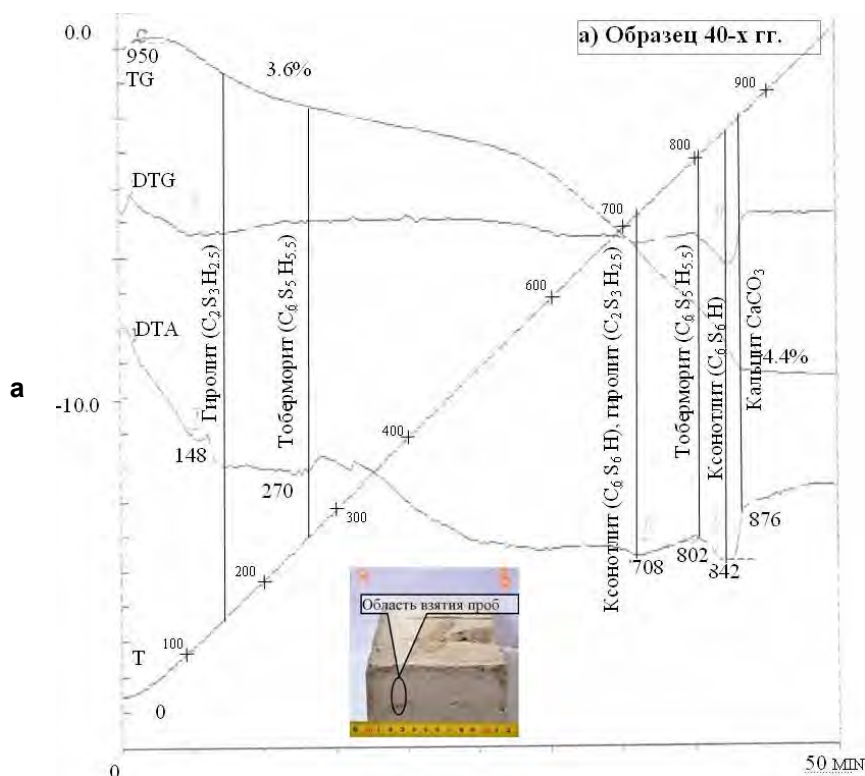


Рисунок 2. Дериватограммы проб (на глубине 25 мм от наружной поверхности) силикатного кирпича 1940-х (а), 1970-х (б) и 2010 г. (в)

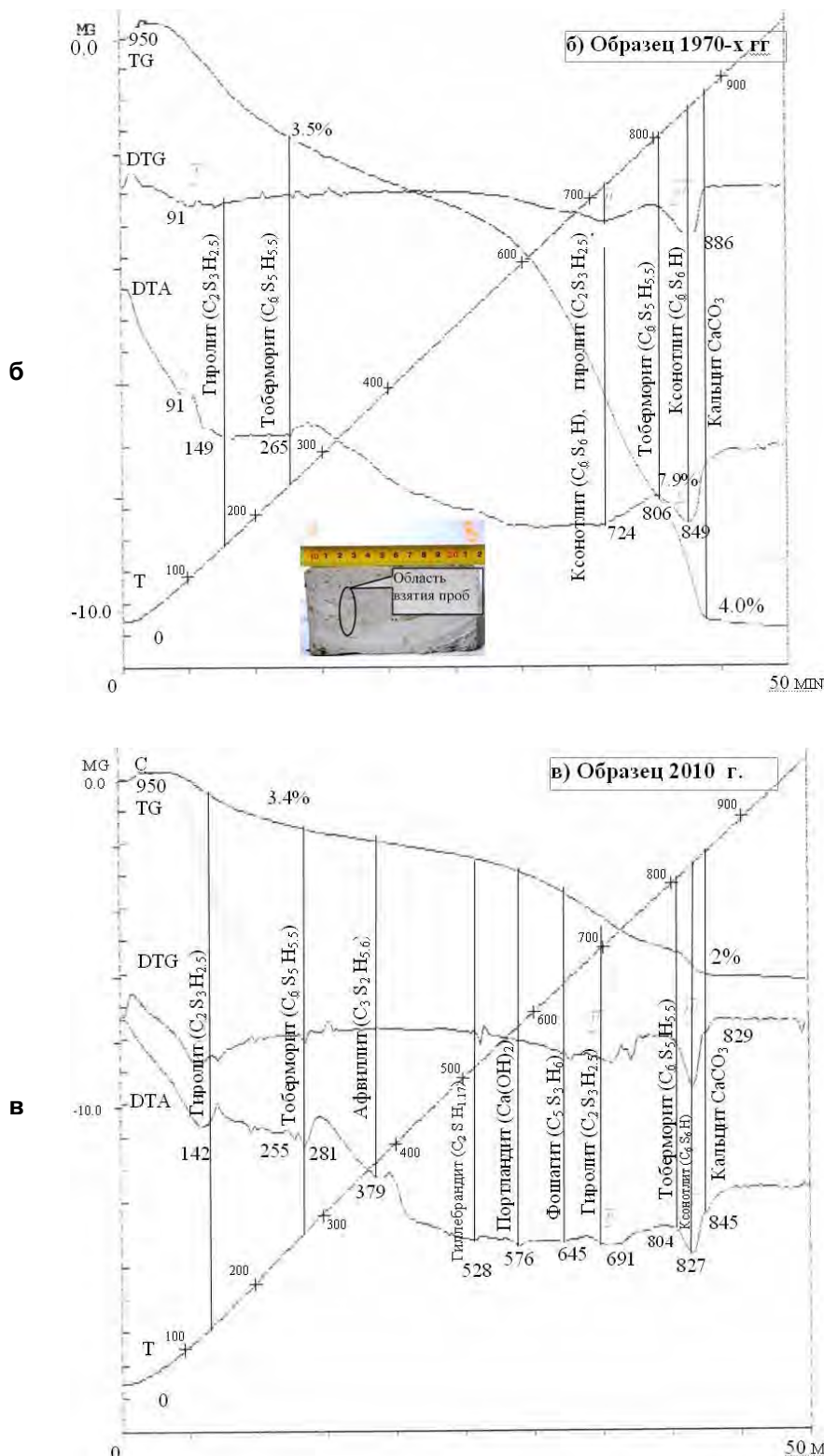


Рисунок 2.
Дериватограммы проб
(на глубине 25 мм от
наружной
поверхности)
силикатного кирпича
1940-х (а), 1970-х (б) и
2010 г. (в)

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.

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

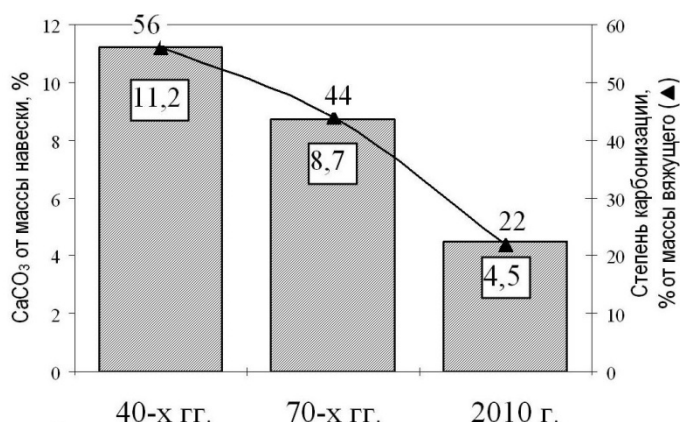


Рисунок 3. Относительное содержание кальция в пробах силикатного кирпича разного возраста (на глубине 25 мм от наружной поверхности стены)

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. Кнатько 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

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