УДК 691.421
https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-27-40 EDN: ZFIKOG

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ КИРПИЧНЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Д.Ю. ЖЕЛДАКОВ[1], канд. техн. наук
О.И. ПОНОМАРЕВ[2], канд. техн. наук
А.А. МИНАСЯН[2,✉], канд. техн. наук
С.А. ТУРСУКОВ[3]

[1] Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), Локомотивный проезд, д. 21, г. Москва, 127238, Российская Федерация

[2] Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 1, г. Москва, 109428, Российская Федерация

[3] Правительство Республики Башкортостан, ул. Тукаева, д. 46, г. Уфа, 450101, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Основные правовые акты Российской Федерации, нормирующие порядок проведения обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, устанавливают требования к включению в состав технического заключения результатов изучения и расчетов возможных изменений, происходящих во времени. Однако такие результаты практически отсутствуют в технической документации по мониторингу. Для кирпичной кладки в первую очередь это связано с отсутствием достоверных методик исследования долговечности.

Образование солей в материале кирпича может влиять на его долговечность. Такие реакции рассматриваются как побочные реакции второго типа, то есть реакции, обусловленные внешним воздействием.

Цель. На основании математической модели разработать инженерную методику определения долговечности материала кирпича.

Материалы и методы. В статье представлены результаты обследования отдельно стоящего кирпичного здания в составе многофункционального комплекса «ГЭС-2» в Москве постройки 1906 года с использованием разработанных методик. Процесс деструкции материала кирпича рассматривается на основании законов физической химии и описывается многостадийным процессом.

Результаты. Выполненные авторами исследования, описанные в данной статье, показывают, что разработанная методика определения долговечности строительной керамики может быть использована в том числе для оценки остаточной долговечности материала кирпича исторических зданий.

Выводы. Результаты исследований показали, что при оценке долговечности стен зданий из керамических кладочных материалов необходимо учитывать не только морозостойкость, но и химическую деструкцию материалов.

Предлагается дополнить методику обследования кладки, изложенную в ГОСТ 31937-2011, следующими пунктами: правила отбора проб для последующего определения влажности материала конструкции с указанием требований к оборудованию; правила отбора проб для последующего определения остаточной долговечности материала, включая методику расчета остаточной долговечности.

Ключевые слова: долговечность, деструкция кирпича, методика определения долговечности, оценка остаточной долговечности, замачивание кладки

Для цитирования: Желдаков Д.Ю., Пономарев О.И., Минасян А.А., Турсуков С.А. Оценка долговечности кирпичных и каменных конструкций при проведении инженерных изысканий. *Вестник НИЦ «Строительство».* 2023;36(1):27–40. https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-27-40

Вклад авторов
Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование
Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.12.2022
Поступила после рецензирования 24.01.2023
Принята к публикации 07.02.2023

DURABILITY ASSESSMENT OF BRICK AND STONE STRUCTURES IN ENGINEERING SURVEYS

D.Yu. ZHELDAKOV[1], Cand. Sci. (Engineering)
O.I. PONOMAREV[2], Cand. Sci. (Engineering)
A.A. MINASYAN[2,✉], Cand. Sci. (Engineering)
S.A. TURSUKOV[3]

[1] *Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Locomotivny proezd, 21, Moscow, 127238, Russian Federation*

[2] *Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 1, Moscow, 109428, Russian Federation*

[3] *Government of the Republic of Bashkortostan, Tukaeva str., 46, Ufa, 450101, Russian Federation*

Abstract

Introduction. According to the main legal acts of the Russian Federation that regulate the procedure of inspection and monitoring of buildings and structures, the technical statement should include the results obtained during the studies and calculations of possible temporal variations. However, these results are virtually absent in the monitoring technical documentation presented today. In the case of brickwork, this is primarily due to the lack of reliable methods for durability surveys. For example, the formation of salts in the brick material can affect its durability. Such reactions are considered as the side reactions of the second type, i.e., reactions caused by external effects.

Aim. To develop an engineering technique for assessing the durability of a brick material on the basis of a mathematical model.

Materials and methods. The article presents the results obtained in a survey of a free-standing brick building, as part of the "GES-2" Moscow multifunctional complex built in 1906, using the developed techniques. The process of brick material destruction is considered according to the laws of physical chemistry and described by a multi-stage process.

Results. The developed technique for assessing the durability of building ceramics can be additionally used to assess the residual durability of a historical building brick material.

Conclusion. During the durability assessment of building walls made of ceramic masonry materials, it is necessary to take into account not only the frost resistance, but also the chemical destruction of materials. It is proposed to supplement the masonry inspection technique outlined in GOST 31937-2011 with the following items: sampling rules for the subsequent determination of the moisture content in structural materials with a statement of the requirements for equipment; sampling rules for the subsequent determination of the material residual durability, including the technique for calculating residual durability.

Keywords: durability, brick destruction, durability determination technique, residual durability assessment, masonry wetting

For citation: Zheldakov D.Yu., Ponomarev O.I., Minasyan A.A., Tursukov S.A. Durability assessment of brick and stone structures in engineering surveys. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2023;36(1): 27–40. (In Russ.). https://doi.org/10.37538/2224-9494-2023-1(36)-27-40

Author contribution statements
All authors made equal contributions to the preparation of this article.

Funding
No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

Received 16.12.2022
Revised 24.01.2023
Accepted 07.02.2023

Введение

Основные правовые акты Российской Федерации, нормирующие порядок проведения обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений, устанавливают требования к включению в состав технического заключения результатов изучения и расчетов возможных изменений, происходящих во времени.

Пункт 4.1 статьи 47 Градостроительного кодекса Российской Федерации [1] определяет, что «Результаты инженерных изысканий представляют собой документ о выполненных инженерных изысканиях, содержащий материалы <…> в том числе о результатах изучения, оценки и *прогноза возможных изменений* природных и техногенных условий указанной территории применительно к объекту капитального строительства при осуществлении строительства, реконструкции такого объекта и после их завершения <…>».

Федеральный закон от 23 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [2] конкретизирует обязательные, минимально необходимые требования к зданиям и сооружениям, которые должны выполняться в обязательном порядке. В статье 15 главы 3 «Требования к результатам инженерных изысканий и проектной документации в целях обеспечения безопасности зданий и сооружений» указанного Федерального закона определено, что «результаты инженерных изысканий должны быть достоверными и достаточными для установления проектных значений параметров и других проектных характеристик здания или сооружения, а также проектируемых мероприятий по обеспечению его безопасности. Расчетные данные в составе результатов инженерных изысканий должны <…> *содержать прогноз изменения их значений в процессе строительства и эксплуатации здания или сооружения»*.

ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [13] «регламентирует требования к работам и их составу по получению информации, необходимой для контроля и повышения степени механической безопасности зданий и сооружений». При этом основное понятие комплексного обследования технического состояния здания определяется как «комплекс мероприятий по определению и оценке фактических значений контролируемых параметров <…>, характеризующих работоспособность объекта обследования и определяющих возможность его дальнейшей эксплуатации, реконструкции или необходимость восстановления, усиления, ремонта <…>». При этом цель комплексного обследования технического состояния здания «заключается в определении действительного технического состояния здания и его элементов*, получении количественной оценки фактических показателей качества конструкций* (прочности, сопротивления теплопередаче и др.) *с учетом изменений, происходящих во времени,* для установления состава и объема работ по капитальному ремонту или реконструкции» (п. 5.1.1).

Тем не менее результаты возможных изменений, происходящих во времени, практически отсутствуют в технической документации по мониторингу. Для кирпичной кладки в первую очередь это связано с отсутствием достоверных методик исследования долговечности. До настоящего времени в нормативных документах, например в СП 15.13330.2020 «Каменные и армокаменные конструкции» [14] (табл. 5), долговечность конструкций связывают с морозостойкостью материала кладки. При этом морозостойкость кирпича, например в ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» [15], определяется визуально по степени повреждений после определенного числа циклов замораживания/оттаивания. То есть морозостойкость есть величина абсолютно субъективная. Только характеристики морозостойкости кирпича, камня раствора не могут определять долговечность кирпичных и каменных конструкций. О невозможности использования морозостойкости как параметра для оценки долговечности говорится в [3, 4].

Проведенные в ФГБУ «НИИСФ РААСН» в последние годы исследования показали, что долговечность кладки из кирпича и керамического камня определяется не только морозостойкостью кладочных изделий и раствора.

Выполненные специалистами НИИСФ обследования кирпичных и каменных конструкций зданий исторической застройки показали, что коррозия кладки, возведенной из керамических стеновых материалов, происходит даже в конструкциях зданий, не подверженных прямому воздействию положительных и отрицательных температур при увлажнении кладки.

Исследования также показали, что интенсивное замачивание кладки способствует более активному протеканию химической коррозии керамических кладочных изделий и образованию карбонатов и силикатов кальция на поверхности кладки, т. е. более интенсивная коррозия имеет место на участках, подверженных большему увлажнению.

Результаты исследований показали, что при оценке долговечности стен зданий из керамических кладочных материалов необходимо учитывать не только морозостойкость, но и химическую деструкцию материалов.

Метод

В работах [5, 6] разработан метод и описана методика расчета долговечности материала стеновой керамики, в том числе при ее работе в ограждающих конструкциях зданий. Метод основан на протекании химической коррозии материала керамики при его увлажнении и может быть применен для расчета остаточной долговечности материала в конструкции.

Процесс деструкции материала кирпича рассматривается на основании законов физической химии [5] и описывается многостадийным процессом. На первой стадии в материале кирпича происходит образование щелочей из оксидов щелочных и щелочноземельных металлов. Щелочь может также поступать в кирпич из цементно-песчаного раствора. В основном это гидроксид кальция, образующийся в цементно-песчаном растворе при протекании процесса выщелачивания [7, 8].

На второй стадии процесса происходит взаимодействие образовавшихся в материале кирпича и/или поступивших в него из цементно-песчаного раствора щелочей с оксидами кремния и алюминия аморфной фазы материала кирпича. При этом происходит полное разрушение материала кирпича до размеров частиц порядка 10^{-5}–10^{-6} м, так как аморфная составляющая является связующей фазой материала.

В процессе деструкции участвует также нехимическая стадия – стадия увлажнения. Влага, в том числе и атмосферная, перемещаясь через конструкцию под действием паропроницаемости или влагопроводности, запускает механизмы деструкции. Процессы образования щелочей при взаимодействии воды и твердой фазы и реакции щелочей с твердой фазой напрямую зависят от температуры. Переменные температурные воздействия, проникая вглубь конструкции, создают различные условия протекания деструкции в различных слоях.

На основании значительного количества исследований разработана математическая модель процесса химической деструкции строительной керамики. На основании математической модели разработана инженерная методика определения долговечности материала кирпича [9]. В общем виде скорость коррозии материала в конструкции можно записать в виде феноменологического уравнения как функцию температуры, концентрации щелочей и влажности материала:

$$Cd = \frac{Cd_0}{\gamma_1^{k\frac{t_{22}}{10}} \gamma_2^{\frac{t_0}{10}}} \left(\frac{C^{22}{}_{\sum max}}{C_0}\right)^k \left(\gamma_2 \gamma_1{}^k\right)^{\frac{t}{10}} \frac{w_э}{w_{max}} \quad , \tag{1}$$

где Cd, Cd_0 – коэффициент химической деструкции материала в условиях эксплуатации, полученный в результате лабораторных исследований при концентрации щелочи C_0 = 0,5 н и температуре t_0 = 100 °С, %/час;

γ_1, γ_2 – температурный коэффициент скорости процессов гидратации и химической деструкции в формуле Вант-Гоффа, определенные в результате лабораторных исследований;

k – степенной коэффициент пересчета скорости реакции деструкции от концентрации веществ;

t_{22}, t_0, t – температура лабораторного эксперимента 22 °С, 100 °С и эксплуатации материала;

$C^{22}{}_{\sum max}$ – максимальная равновесная концентрация, полученная в результате лабораторных исследований при температуре t = 22 °С;

C_o – концентрация гидроксида калия в эксперименте, C_0 = 0,5 н;

w_{max}, $w_э$ – максимальная и эксплуатационная влажности материала стеновой керамики.

Коэффициент химической деструкции *Cd* численно равен доле материала, выраженной в процентах, которая разрушается при химическом воздействии на материал в течение часа. Физико-химический смысл коэффициента химической деструкции – суммарная скорость всех реакций, протекающих в материале кирпича и определяющих его химическую деструкцию. Коэффициент химической деструкции имеет размерность [%/час] или [ч$^{-1}$], что делает возможным его использование в расчете долговечности материала. Долговечность материала *D* определяется из условия:

$$D = 1/0,01Cd \text{ [час]}, \tag{2}$$

где 0,01 – переводной коэффициент из процентов в доли.

Для определения параметров в уравнении (1) были разработаны две методики, подробно описанные в [6]: методика исследования скорости образования щелочей в материале кирпича и их равновесной концентрации (определение коррозионной активности влаги) и методика определения скорости реакций взаимодействия щелочей с материалом кирпича (определение химической стойкости материала).

Влажность материала определяется несколькими характеристиками: влажностью и эксплуатационной влажностью материала, водопоглощением и водонасыщением материала.

Влажность проб определяется как отношение разницы массы отобранного материала в увлажненном и сухом состояниях к массе увлажненного материала, в процентах.

Эксплуатационная влажность материала конструкции по результатам натурных измерений определяется по методике, предложенной в [10].

Испытания на водопоглощение проводятся в соответствии с ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости» [16] методом насыщения образцов водой с температурой (20 ± 5) °С при атмосферном давлении. Водопоглощение (w_{max}) образцов в процентах по массе вычисляют по формуле

$$w_{max} = \frac{m1 - m}{m} \times 100, \tag{3}$$

где m_1 – масса образца, насыщенного водой, г;

m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г.

Таким образом все параметры, входящие в уравнение (1), могут быть определены на основании разработанных методик. В соответствии с уравнением (1) долговечность строительной керамики может быть определена на основании физико-химических законов.

Результаты

Авторами статьи было проведено комплексное обследование отдельно стоящего кирпичного здания в составе многофункционального комплекса «ГЭС-2» в Москве (рис. 1) постройки 1906 года с использованием описанных в разделе 2 настоящей статьи методик.

Результаты исследования влажности материала по сечению ограждающей конструкции приведены на графике (рис. 2).

Максимальное водопоглощение материала кирпича по результатам исследования и обработки результата составило 13,2 %. Эксплуатационная влажность материала составила

1,15 %. При этом в соответствии с рекомендациями [10] коэффициент теплотехнического качества η принимался равным 1. Увеличение влажности на глубине около 200 мм, скорее всего, связано с наличием «забутовки», оставленной при реконструкции.

Результаты исследования химической активности материала кирпича представлены в табл. 1.

Рис. 1. Проведение исследований на объекте «ГЭС-2»:
а – общий вид здания; *б* – отбор проб для определения влажности материала
Fig. 1. Surveys at the "GES-2" multifunctional complex: *a* – general view of the building;
б – sampling for the determination of the material moisture content

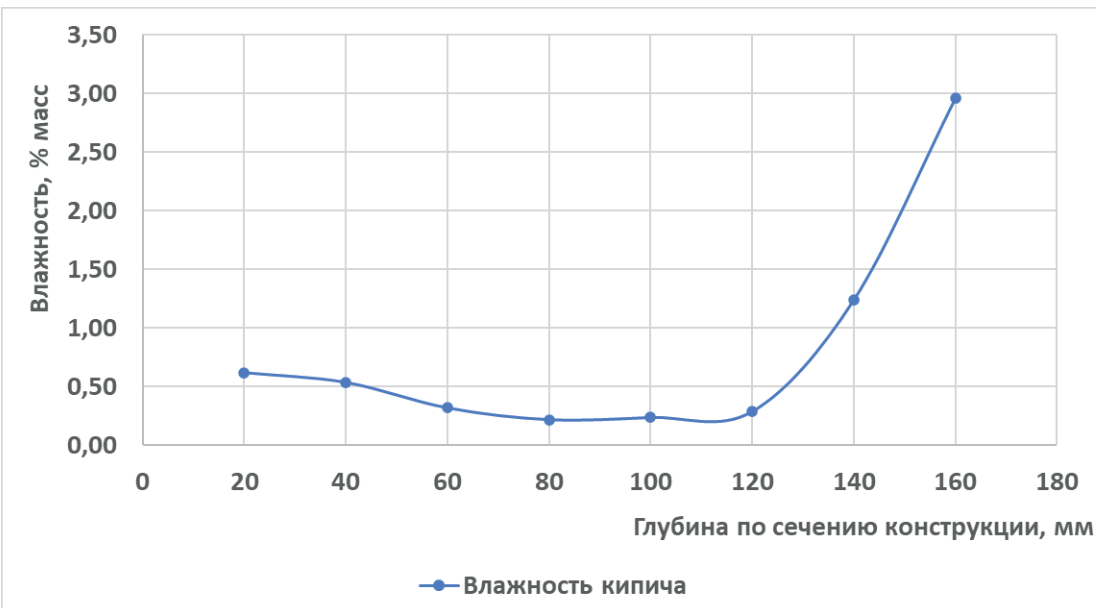

Рис. 2. Влажность материала кирпича по сечению ограждающей конструкции.
За «0» принята внутренняя поверхность стены
Fig. 2. Moisture content of the brick material along the cross-section of the cladding structure.
The inner surface of the wall is taken as 0

Таблица 1

Результаты исследования химической активности материала кирпича

Table 1

Results of the brick material reactivity study

№ п/п	Элемент	Концентрация в пробе, мг/л	
		Контрольная	Исследование
1	Калий	0,0	1,17
2	Натрий	0,1	1,49
3	Кальций	0,18	3,3
4	Магний	0,0	0,06
5	Кремний	0,05	0,80
6	Алюминий	2,00	0,051
7	Сера	0,0	0,43
8	pH	7,25	9,10

Концентрацию щелочных металлов, в соответствии с исследованиями [11], можно считать равновесной. Так как исследования химической активности материала кирпича проводились при температуре эксплуатации, в процессе эксперимента была определена именно необходимая для расчета максимальная равновесная концентрация щелочных гидроксидов в материале кирпича. В пересчете на гидроксид натрия концентрация щелочного гидроксида в водной вытяжке составляет 3,67 мг/л, или $6{,}55 \times 10^{-5}$ н.

Результаты исследования химической стойкости материала показаны в виде графика на рис. 3.

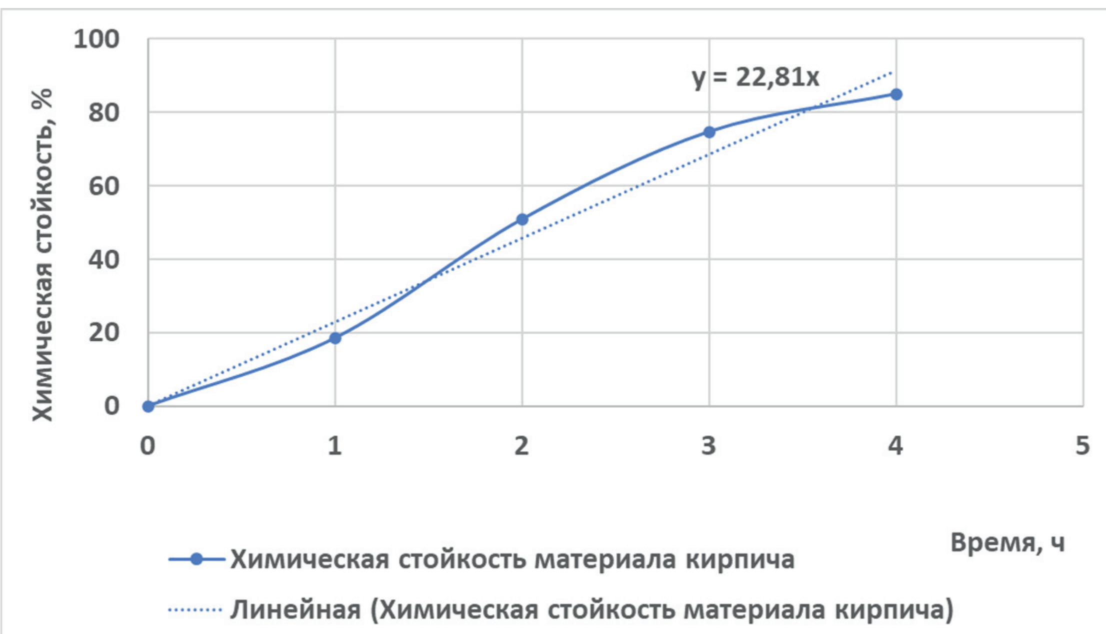

Рис. 3. Результаты исследования и графическое определение коэффициента химической деструкции
Fig. 3. Results of the study and graphic determination of the chemical destruction coefficient

Значение коэффициента химической деструкции, в соответствии с графиком на рис. 3, составляет 22,81 %/час.

Коэффициент химической деструкции для материала кирпича в обследуемом здании находится по формуле (1). Исследованиями определены все необходимые параметры для расчета. Подставляя экспериментальные значения в формулу (1), получим значение $Cd = 1{,}78 \times 10^{-7}$ ч$^{-1}$.

Остаточная долговечность материала кирпича составит более 600 лет при условии сохранения существующих параметров эксплуатации. Через 640 лет кирпич полностью разрушится. Несущая способность кирпича будет утрачена ранее. Снижение прочности до нормативной может составлять около 20–30 % расчетного времени, то есть 130–190 лет.

Необходимо отметить, что вычисленная в соответствии с приведенной методикой долговечность учитывает индивидуальные физические и химические характеристики материала, а также условия эксплуатации материала в ограждающей конструкции.

Исследование высолов на кирпичной кладке

Образование солей в материале кирпича может влиять на его долговечность. В разработанной теории долговечности [9] такие реакции рассматриваются как побочные реакции второго типа, то есть реакции, обусловленные внешним воздействием. В процессе обследования были взяты пробы налета, образовавшегося с внутренней стороны наружных ограждающих конструкций. Пробы отбирались с двух противоположных стен здания методом соскоба. Место отбора проб и вид налета показаны на рис. 4.

Рис. 4. Место отбора проб налета: *а* – проба № 1; *б* – проба № 2
Fig. 4. Plaque sampling points: *а* – sample No. 1; *б* – sample No. 2

На рис. 4 видно, что налет проб № 1 и 2 различен по своей структуре: для пробы № 1 характерна аморфная структура, распределенная по поверхности кирпича; для пробы № 2 характерны кристаллы высотой до 5 мм.

Количественный рентгенофазовый анализ налета проводился на порошковом рентгеновском дифрактометре ARL X’TRA по методу Ритвельда. Анализ содержания аморфной фазы в образцах выполнялся методом сравнения площадей гало и рефлексов кристаллических фаз. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Количественный состав проб налета на поверхности стен

Table 2

Quantitative composition of plaque samples from the wall surface

№ п/п	Наименование	Химическая формула	Состав, % масс.	
			Проба № 1	Проба № 2
1	Хлорид натрия (поваренная соль)	NaCl	1,87	67,69
2	Кварц	SiO_2	2,69	11,17
3	Нитрат натрия	$NaNO_3$	84,46	9,53
4	Карбонат кальция	$CaCO_3$	2,61	3,19
5	Гипс	$CaSO_4$* $(H_2O)_2$	2,38	3,45
6	Нитрат калия	KNO_3	5,99	4,98

Наличие в пробах кварца определено методом отбора. Во время соскоба с поверхности кирпича в пробу могло попасть неконтролируемое количество песка. Таким образом, наличие в пробе SiO_2 не влияет на долговечность и оценку причин возникновения налета на поверхности кирпича.

Карбонат кальция образуется на поверхности материала кирпича по качественной реакции взаимодействия гидроксида кальция с углекислым газом, а гидроксид кальция образуется в материале кирпича при его увлажнении или в процессе выщелачивания цементно-песчаного раствора. Практически одинаковое количество карбоната кальция в двух пробах свидетельствует об идентичности процессов, протекающих в материале кирпича.

Образование гипса возможно при наличии в материале кирпича серы в любых ее соединениях. Наличие серы в растворе подтверждено результатами анализа, представленного в табл. 1. При увлажнении материала кирпича в растворе образуется серная кислота. Взаимодействие серной кислоты с гидроксидом кальция способствует образованию гипса. Данный процесс замедляет процесс деструкции за счет связывания гидроксида кальция.

Наличие в пробах нитратов натрия и калия и хлорида натрия (поваренной соли) позволяет определить их природу. Основываясь на результатах, приведенных в табл. 2, механизмы возникновения налетов будут различны.

В пробе № 2 значительно преобладает хлорид натрия. Можно предположить, что его источником является обработка улиц в зимний период противогололедным составом. С таянием снега и льда хлорид натрия попадает в почву, а затем в бутовую или кирпичную кладку фундамента стены. В процессе капиллярного подсоса хлорид натрия может подниматься по кирпичной кладке и на поверхности кирпича образовывать налет. При этом налет образуется как с внешней, так и с внутренней стороны кладки. Наличие хлорида натрия снижает долговечность материала кирпича [11].

Для пробы № 1 характерно наличие значительного количества нитрата натрия. Значительное увеличение нитратов в составе налета на кирпиче возможно только при попадании в материал кирпича нитратов. Источник нитратов установить сложно, однако можно предположить, что при реконструкции здания в зимний период использовался раствор с противоморозными добавками, например нитрит натрия. Нитриты могут легко окисляться до нитратов. Это определяет наличие в пробе № 1 значительного количества нитрата натрия. При этом возможна реакция с соляной кислотой с образованием хлорида натрия, что может также определять наличие в пробе № 2 хлорида натрия.

Ионы азотной и азотистой кислот, так же как и в случае с соляной кислотой, могут инициировать ряд реакций, ускоряющих деструкцию материала кирпича.

Подробный анализ проб налета на поверхности кирпичной кладки дает более точное понимание, позволяет сделать более точную оценку долговечности кирпичной кладки. Кроме того, такой анализ дает возможность рекомендовать как методы борьбы с налетом, так и методы его устранения, основываясь на том, что основные присутствующие в налете вещества хорошо растворимы.

Обсуждение

Выполненные исследования, описанные в данной статье, показывают, что разработанная методика определения долговечности строительной керамики может быть использована в том числе для оценки остаточной долговечности материала кирпича исторических зданий. Методика основана на физико-химических законах и исследовании кинетики протекания химических процессов в материале кирпича при его увлажнении. Таким образом, методика дает возможность прогнозировать изменения в работе ограждающих конструкций в течение определенного срока эксплуатации, что определено требованиями Градостроительного кодекса РФ. На этом основании метод может быть рекомендован для включения в нормативную документацию, определяющую требования к обследованию каменных конструкций зданий.

Аналогичные выводы были сделаны в [12]. Методика исследования остаточной долговечности здания была опробована на одном из объектов незавершенного строительства. Изучаемый объект представляет собой жилой комплекс, состоящий из семи многоквартирных жилых домов, из них три дома построены и введены в эксплуатацию. На четырех жилых домах строительные работы остановлены без консервации в 2015–2016 годах. Степень строительной готовности объектов составляет от 20 до 55 %.

Внутренние и наружные ограждающие конструкции объектов незавершенного строительства выполнены из крупноформатной пористой керамики с включением в кладку полнотелого керамического кирпича стандартных размеров (1НФ). Наружные ограждающие конструкции толщиной 510 мм являются несущими. Отсутствие защиты от атмосферной влаги привело к активному замачиванию конструкций, что в свою очередь способствовало интенсивному протеканию химической коррозии керамического кирпича и камня и образованию карбонатов и силикатов кальция на поверхности стен (рис. 5). Активное протекание химической коррозии материала кирпича с разрушением поверхностных слоев крупноформатной керамики и образованием карбонатов и силикатов кальция на поверхности стен визуально отмечается

Рис. 5. Фрагменты обследования объекта незавершенного строительства: *а* – разрушение; *б* – высолы на стенах лестничных клеток
Fig. 5. Fragments of the survey of the incomplete construction object: *a* – destruction; *б* – efflorescences on stairwell walls

на всех этажах здания, однако наибольшему разрушению подверглись блоки первых трех этажей сверху, где замачивание атмосферными осадками максимально.

В результате обследования и расчета остаточной долговечности материала строительной керамики были определены участки конструкции, в которых остаточная долговечность материала была ниже проектного срока эксплуатации зданий. Например, верхний ряд блоков парапета имеет остаточную долговечность около 25 лет и должен быть демонтирован. При этом блоки, расположенные на высоте менее 1 м от верхнего перекрытия, обладают остаточной долговечностью, достаточной для их дальнейшего использования в конструкциях.

Таким образом, методика обследования с расчетом остаточной долговечности конструкций дает значительно более точные результаты и позволяет сэкономить значительные средства при проведении работ.

Заключение

Основные требования к проведению обследования каменных кладок нормируются ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [13] в п. 5.3.2 «Обследования каменных конструкций». Предлагается ввести в объем комплексного обследования зданий оценку остаточной долговечности материала в соответствии с изложенными в данной статье методиками. В связи с этим предлагается дополнить методику обследования кладки на зданиях незавершенного строительства, изложенную в ГОСТ 31937-2011 [13], следующими позициями: правила отбора проб для последующего определения влажности материала конструкции с указанием требований к оборудованию, правила отбора проб для последующего определения остаточной долговечности материала, а также методика расчета остаточной долговечности.

Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ [интернет]. Консультант Плюс. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/
2. Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 23 декабря 2009 года № 384-ФЗ [интернет]. Консультант Плюс. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/
3. *Белелюбский Н.А.* Однообразное испытание строительных материалов. Мюнхен, 1884. Дрезден, 1887. СПб.: Типография Министерства путей сообщения; 1888.
4. *Подвальный А.М.* О концепции обеспечения морозостойкости бетона в конструкциях зданий и сооружений. Строительные материалы. 2004;(6):4–6.
5. *Zheldakov D.Yu.* The Brick Material Durability in Brickwork. AlfaBuild. 2020;15:1504.
6. *Желдаков Д.Ю.* Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019;(11):74–86.
7. *Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А.* Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. Москва: Стройиздат; 1980.
8. *Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.И.* Термодинамика силикатов. Москва: Стройиздат; 1972.
9. *Zheldakov D., Mustafin R., Kozlov V., Gaysin A., Sinitsin D., Bulatov B.* Durability Control of Brickwork's Material Including Operation Parameters of the Building Enclosure. Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2021;8(6):871–880. https://doi.org/10.18280/mmep.080605
10. *Гагарин В.Г., Пастушков П.П.* Определение расчетной влажности строительных материалов. Промышленное и гражданское строительство. 2015;(8):28–33.
11. *Zheldakov D.Yu.* Brickwork chemical corrosion features. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;459(6):062089. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062089
12. *Турсуков С.А.* Оценка долговечности материалов в объеме выполнения инженерных изысканий незавершенного строительства. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021;(9):99–110.
13. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва: Стандартинформ; 2014.
14. СП 15.13330.2020. Каменные и армокаменные конструкции [интернет]. Москва; 2020. Режим доступа: https://www.faufcc.ru/upload/sp/orders/%D0%A1%D0%9F%2015.pdf
15. ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2013.
16. ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. Москва: Стандартинформ; 2006.

References

1. Town-Planning Code of the Russian Federation No. 190-FZ of December 29, 2004 [internet]. Konsul'tant Plyus. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (in Russian).
2. Federal Law No. 384-FZ of December 23, 2009 "Technical Regulations on the safety of Buildings and Structures" [internet]. Konsul'tant Plyus. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/ (in Russian).
3. *Bellyubsky N.A.* Monotonous testing of building materials. Munich, 1884. Dresden, 1887. St. Petersburg: Printing House of the Ministry of Railways; 1888 (in Russian).
4. *Podvalny A.M.* On the concept of ensuring the frost resistance of concrete in the structures of buildings and structures. Stroitel'nye Materialy = Construction Materials. 2004;(6):4–6 (in Russian).
5. *Zheldakov D.Yu.* The Brick Material Durability in Brickwork. AlfaBuild. 2020;15:1504.
6. *Zheldakov D.Yu.* Methods of investigation of the kinetics of the process of chemical corrosion of brickwork materials. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction. 2019;(11):74–86 (in Russian).
7. *Moskvin V.M. Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A.* Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1980 (in Russian).

8. *Babushkin V.I., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosyan O.I.* Thermodynamics of silicates. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1972 (in Russian).
9. *Zheldakov D., Mustafin R., Kozlov V., Gaysin A., Sinitsin D., Bulatov B.* Durability Control of Brickwork's Material Including Operation Parameters of the Building Enclosure. Mathematical Modelling of Engineering Problems. 2021;8(6):871–880. https://doi.org/10.18280/mmep.080605
10. *Gagarin V.G., Pastushkov P.P.* Determination of the calculated humidity of building materials. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and civil engineering. 2015;(8):28–33 (in Russian).
11. *Zheldakov D.Yu.* Brickwork chemical corrosion features. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;459(6):062089. https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/6/062089
12. *Tursukov S.A.* Assessment of durability of materials in the scope of engineering surveys of unfinished construction. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo = News of higher educational institutions. Construction. 2021;(9):99–110 (in Russian).
13. State Standard 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. Moscow: Standartinform Publ.; 2014 (in Russian).
14. SP 15.13330.2020. Masonry and reinforced masonry structures [internet]. Moscow; 2020 (in Russian). Available at: https://www.faufcc.ru/upload/sp/orders/%D0%A1%D0%9F%2015.pdf
15. State Standard 530-2012. Ceramic brick and stone. General specifi cations. Moscow: Standartinform Publ.; 2013 (in Russian).
16. State Standard 7025-91. Ceramic and Calcium silicate bricks and stones. Methods for water absorption and density determination and frost resistance control. Moscow: Standartinform Publ.; 2006 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Дмитрий Юрьевич Желдаков, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник НИИСФ РААСН, Москва
Dmitrii Yu. Zheldakov, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (NIISF RAASN), Moscow

Олег Иванович Пономарев, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
Oleg I. Ponomarev, Cand. Sci. (Engineering), Laboratory Head, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow

Арман Арамаисович Минасян✉, канд. техн. наук, заведующий сектором ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: 1747210@mail.ru
Arman A. Minasyan✉, Cand. Sci. (Engineering), Sector Head, Research Institute of Building Constructions (TSNIISK) named after V.A. Koucherenko, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: 1747210@mail.ru

Сергей Алексеевич Турсуков, начальник отдела Правительства Республики Башкортостан, Уфа
Sergei A. Tursukov, Departmental Head, Government of the Republic of Bashkortostan, Ufa

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author