
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

SECTION OF SCIENTIFIC METHODOLOGY

Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 99–110.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (9): 99–110.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 692.23

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-99-110

ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ОБЪЕМЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НЕЗАВЕРШЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сергей Алексеевич Турсуков

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), Москва, Россия,
serega_722@mail.ru

Аннотация. Действующими нормативными правовыми актами Российской Федерации устанавливаются требования к включению в состав технического заключения по обследованию зданий и сооружений результатов изучения и расчетов возможных изменений конструкций и материалов, происходящих во времени. Такой анализ особенно важен для заключений, выполняемых при обследовании зданий незавершенного строительства, по конструкциям которых не проводились работы по консервации. Однако до настоящего времени нет конкретных методик для определения остаточной долговечности материалов и конструкций. В статье предлагается методика обследования, отбора проб и расчета каменных конструкций зданий незавершенного строительства для определения остаточной долговечности материала и возможности принятия решения о демонтаже или сохранении возведенных конструкций. Приведены результаты обследования и анализа остаточной долговечности конструкций на реальном примере незавершенного строительством объекта. Результаты расчетов показали, что конструкции здания имеют разную остаточную долговечность.

Ключевые слова: объекты незавершенного строительства, остаточная долговечность, расчет остаточной долговечности, деструкция материала кирпича, химическая коррозия, скорость коррозии материала, методика обследования зданий

Для цитирования: Турсуков С.А. Оценка долговечности материалов в объеме выполнения инженерных изысканий незавершенного строительства // Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 99–110. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-99-110.

Original article

ASSESSMENT OF THE DURABILITY OF MATERIALS IN THE VOLUME OF ENGINEERING SURVEYS OF UNCOMPLETE CONSTRUCTION

Sergey A. Tursukov

Scientific Research Institute of Construction Physics of RAACS, Moscow, Russia

Abstract. The current regulatory legal acts of the Russian Federation establish requirements for the inclusion in the technical report on the inspection of buildings and structures of the results of studying and calculating possible changes in the applied structures and materials that occur over time. Such an analysis is especially important for the conclusions made during the inspection of buildings under construction, on the structures of which conservation work has not been carried out. However, to date, there are no specific methods for determining the residual durability of materials and structures. The article proposes a methodology for examining, sampling and calculating stone structures of buildings under construction to determine the residual durability of the material and the possibility of making a decision on dismantling or preserving the erected structures. The results of the survey and analysis of the residual durability of structures are given on a real example of an object in progress. The calculation results showed that the building structures have different residual durability.

Keywords: construction in progress, residual durability, residual durability calculation, brick material destruction, chemical corrosion, material corrosion rate, building inspection technique

For citation: Tursukov S.A. Assessment of the durability of materials in the volume of engineering surveys of uncomplete construction. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (9): 99–110. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-9-110.

Введение. Объекты незавершенного строительства характеризуются стадией производства работ, на которой было приостановлено строительство – от котлована до кровельных работ и прокладки внутренних коммуникаций, а также временем, прошедшим после приостановки работ – от нескольких месяцев до десяти лет и более. Для большинства проблемных объектов характерна особенность, связанная с отсутствием должной его консервации и непроведением работ по защите конструктивных элементов. Эта проблема выдвигает на первый план важность и качество работ по техническому обследованию незавершенных строительством зданий.

В то же время нормативные правовые акты Российской Федерации и основные нормативные документы устанавливают требования к включению в состав технического заключения результатов изучения и расчетов возможных изменений, происходящих во времени. Однако до сих пор не представлено конкретных методик для определения остаточной долговечности материалов и конструкций.

Целью данной работы является разработка методики обследования, отбора проб и расчета каменных конструкций незавершенного строительством объекта для определения остаточной долговечности материала и возможности принятия решения о сохранении или демонтаже возведенных конструкций.

Методика экспериментальных исследований. Процесс деструкции материала кирпича на основании законов физической химии изложен в [1]. Химическая деструкция кирпича и кирпичной кладки описывается многостадийным процессом. На первой стадии в материале кирпича образуются щелочи из оксидов щелочных и щелочно-земельных 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 [2, 3].

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

В процессе деструкции участвует и нехимическая стадия – стадия увлажнения. Процессы образования щелочей при контакте воды и твердой фазы и реакции щелочей с твердой фазой напрямую зависят от температуры и концентрации ионов щелочных и щелочно-земельных металлов в жидкой фазе. В процессе эксплуатации реальной ограждающей конструкции она подвержена воздействию множества факторов, влияющих на температуру, влажность и косвенно концентрацию ионов. Влага, в том числе и атмосферная, перемещаясь через конструкцию под действием паропроницаемости или влагонепроницаемости, запускает механизмы деструкции. Переменные температурные воздействия, проникая в глубь конструкции, создают разные условия протекания деструкции в различных слоях.

На основании значительного количества исследований разработана математическая модель химической деструкции материала кирпича. На основе математической модели предложена инженерная методика определения долговечности материала кирпича [4]. В общем виде скорость коррозии материала конструкции можно записать как функцию температуры, концентрации щелочей и влажности материала

$$Cd = Cd_0 \gamma_1^{10} \left(\frac{k}{k_0} \right)^n \frac{w}{w_{\max}}, \quad (1)$$

где Cd_0 – коэффициент химической деструкции, определяемый экспериментально, %/ч;

t – температура, при которой эксплуатируется материал, °С;

w – эксплуатационная влажность материала, %;

w_{\max} – водопоглощение материала, %;

k_0, k – концентрация щелочей в эксперименте ($k_0 = 0,5$ н) и при эксплуатации материала;

γ – температурный коэффициент скорости.

Для определения коэффициента химической деструкции Cd_0 и концентрации щелочей при эксплуатации материала k были разработаны две методики, подробно описанные в [5]: 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 (определенные химической стойкости материала).

Методика определения коррозионной активности влаги основана на процессе взаимодействия оксидов щелочных и щелочно-земельных металлов аморфной части материала кирпича с водой. Методика предназначена для изучения кинетики первого этапа процесса деструкции кирпича. Результатом исследования по разработанной методике является определение концентрации щелочей в материале кирпича, образовавшихся при его увлажнении в эксплуатационных условиях k . Значение k получают в миллиграммах на литр и пересчитывают в нормали. Значение k_0 известно: концентрация гидроксида калия в стандартной методике равна 0,5.

Значение степенного отношения n в формуле было определено в результате значительного количества экспериментов, частично описанных в [4]. Значение степенного коэффициента при расчете скорости деструкции материала кирпича очень важно, так как отношение концентраций в условиях эксперимента и условиях эксплуатации может достигать 10^4 раз. Безусловно, для каждого материала значение степенного коэффициента n должно определяться индивидуально. Однако для инженерного метода расчета долговечности с достаточной достоверностью на основании значительного количества экспериментов его можно принять равным 0,378.

Методика определения скорости деструкции материала кирпича основана на процессе взаимодействия щелочи с материалом кирпича при многократном воздействии на пробу кирпича гидроксидом калия и определении изменения массы пробы до и после воздействия и времени, за которое это изменение произошло. Данная методика предназначена для изучения кинетики второй стадии процесса химической деструкции.

Коэффициент химической деструкции Cd численно равен доли материала, выраженной в процентах, которая разрушается при химическом воздействии на материал в течение часа. Коэффициент химической деструкции имеет размерность процент в час, что делает возможным его использование в расчете долговечности материала. Долговечность материала D определится из условия

$$D = 1/0,01Cd \text{ ч}, \quad (2)$$

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

Коэффициент химической деструкции Cd_0 вычисляется по методике, описанной в [6], при концентрации гидроксида калия, воздействующего на пробу материала, равной 0,5 н.

Температурный коэффициент скорости γ также был определен в результате исследований, приведенных в [6]. Введенный Вант-Гоффом температурный коэффициент скорости химической реакции от температуры, как правило, имеет значения от 2 до 4. Исследованиями [4] установлено, что скорость химической деструкции материала кирпича значительно меньше зависит от температуры, и значение коэффициента γ находится в пределах 1,15–1,25.

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

Влажность проб определяется как разница массы отобранного материала в увлажненном и сухом состояниях в процентах по формуле

$$w = \frac{m_1 - m_0}{m_0 - m_6}, \quad (3)$$

где m_1 – масса бюксы с материалом во влажном состоянии, г;
 m_0 – масса бюксы с материалом в сухом состоянии, г;
 m_6 – масса пустой бюксы, г.

Эксплуатационная влажность материала конструкции по результатам натуральных измерений вычисляется по формуле [7]

$$w_э \approx \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{1 + w_i}} - \frac{1}{\eta}, \quad (4)$$

где δ – общая толщина исследуемой конструкции;
 w_i – влажность материала при i -й пробе, толщиной Δx_i ;
 η – коэффициент теплотехнического качества. Авторами [7] предлагается в общих случаях принимать $\eta = 1$.

Коэффициент влагонасыщенности рассчитывается как отношение эксплуатационной влажности материала, определяемой по формуле (4), к водопоглощению материала.

Испытания на водопоглощение проводятся в соответствии с ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости» методом насыщения образцов водой с температурой $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении. Водопоглощение w_{\max} образцов по массе в процентах вычисляют по формуле

$$w_{\max} = \frac{m_1 - m}{m} 100, \quad (5)$$

где m_1 – масса образца, насыщенного водой, г;
 m – масса образца, высушенного до постоянной массы, г.

Тогда коэффициент влагонасыщенности материала определяется по формуле

$$W' = \frac{w_э}{w_{\max}} 100. \quad (6)$$

Методика обследования зданий. Основные требования к проведению обследования каменных кладок нормируются ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». Стандартом предписывается при комплексном обследовании технического состояния здания или сооружения в случае, если прочность стен является решающей при определении возможности дополнительной нагрузки, прочность материалов кладки камня и раствора устанавливать лабораторными испытаниями в соответствии с ГОСТ 8462 и ГОСТ 5802.

Автором предлагается ввести в объем комплексного обследования зданий, особенно зданий незавершенного строительства, определение оста-

точной долговечности материала в соответствии с изложенными в данной статье методиками. В связи с этим необходимо дополнить методику обследования кладки на зданиях незавершенного строительства, изложенную в ГОСТ 31937–2011 следующими позициями:

отбор проб материала кирпича и раствора проводится отдельно. Если материал кирпича отобран вместе с раствором, его необходимо очистить на месте отбора и упаковать в контейнер;

по сечению конструкции проба отбирается в трех местах: наружная и внутренняя поверхности, центральная часть;

для наружных стен отбор нужно проводить по вертикали в подоконных проемах, второй ряд сверху. В обязательном порядке исследуется материал кирпича в проемах верхнего и нижнего этажей, в проемах через этаж по вертикали от верхнего и нижнего этажей, а также из верхнего ряда верхнего незаконченного этажа;

для внутренних стен пробы отбираются из верхнего законченного строительством этажа и нижнего этажа под верхним и над нижним перекрытиями и по центру стены.

Необходимо обратить внимание на требования к отбору проб материала. Отбор проб производится шлямбуром, выполненным из толстостенной трубы внешним диаметром 30–50 мм и внутренним 25–40 мм. Концовка трубы с одной стороны заваривается для возможности воспринимать удары кувалды, с другой – затачивается зубьями. Длина трубы должна быть на 20–30 см больше толщины наружной стены. Для данной работы также может применяться коловорот с насадкой. Насадка имеет глубину до 10 см. Длина стержня насадки на 20–30 см больше толщины наружной стены.

Основное правило при отборе проб – при работе с инструментом проба не должна нагреваться. Нагревание уменьшает влагосодержание за счет испарения. Отбор проб, как правило, производится в герметичные бьюксы или в другие герметичные контейнеры, например, полиэтиленовые пакеты с герметизацией их клейкой лентой, пищевую клейкую полиэтиленовую пленку.

Сразу после отбора пробы контейнер плотно закрывается, проба нумеруется, на плане отмечается координата и слой конструкции, из которой отобрана проба.

Взвешивание отобранной пробы во влажном состоянии проводится обязательно в день отбора. Фиксируется масса бьюксы с отобранным материалом во влажном состоянии, затем бьюксы открываются и помещаются в сушильный шкаф, где происходит сушка проб до постоянной массы при температуре $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Фиксируется масса бьюксы с материалом в сухом состоянии, а затем масса только бьюксы.

Для исследования материала на коррозионную активность влаги и химическую стойкость по описанным выше методикам рекомендуется брать пробы с завода-изготовителя продукции, а при невозможности получения данного исследовательского материала пробы должны быть взяты как минимум из трех минимально увлажненных мест незавершенного строительством здания.

Визуальное обследование изучаемого объекта. Методика исследования остаточной долговечности здания была опробована автором на одном из объектов незавершенного строительства в г. Уфа Республики Башкортостан.

Исследуемый объект представляет собой жилой комплекс, состоящий из семи многоквартирных жилых домов, из них три дома построены и введены в эксплуатацию, на четырех домах строительные работы не ведутся, степень строительной готовности объектов составляет от 20 до 55 %. В 2015–2016 гг. строительство жилых домов остановлено без консервации.

Пунктом 5.1.7 ГОСТ 31937–2011 решение о проведении детального (инструментального) обследования принимается на основании изучения технической документации и результатов предварительного (визуального) обследования.

Визуальным обследованием было установлено, что внутренние и наружные ограждающие конструкции выполнены из крупноблочной пористой керамики, произведенной на заводе «Порикам», с включением в кладку полнотелого глиняного кирпича стандартных размеров. Наружные ограждающие конструкции толщиной 510 мм являются несущими. В их конструкции



Рис. 1. Типичное состояние незаконсервированных конструкций жилого комплекса

Fig. 1. Typical condition of the preserved structures of the residential complex

применены блоки Porikam 14,3 НФ размером 510(пг)×250×219 мм. На этажах, где остановлено строительство, кладка не защищена, в некоторых случаях закрыта цементно-песчаным раствором, значительно разрушенным (рис. 1). На некоторых этажах стены оштукатурены, однако штукатурка находится в неудовлетворительном состоянии и разрушается.

Отсутствие защиты от атмосферной влаги привело к активному замачиванию конструкций, что в свою очередь способствовало интенсивному протеканию химической коррозии материала кирпича и образованию карбонатов и силикатов кальция на поверхности стен (рис. 2). Активное протекание химической коррозии материала кирпича с разрушением поверхностных слоев крупноблочной керамики и образованием карбонатов и силикатов кальция на поверхности стен визуально отмечается на всех этажах здания, однако наибольшему разрушению подверглись блоки первых трех этажей сверху, где замачивание атмосферными осадками максимально.

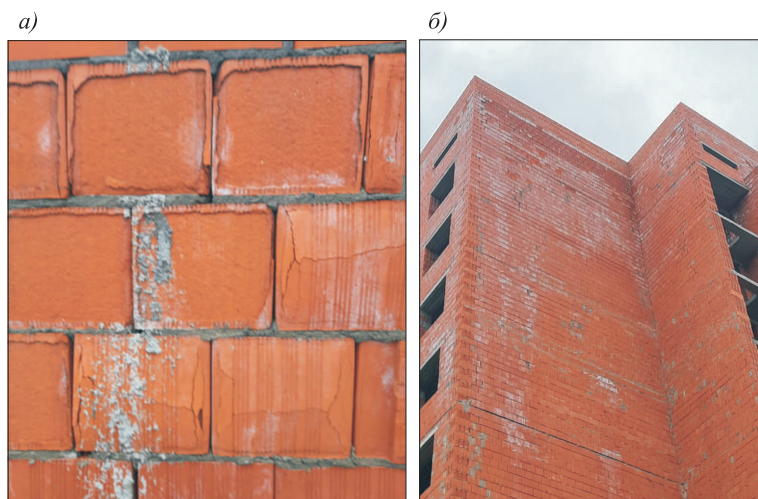


Рис. 2. Химическая коррозия материала кирпича
a – разрушение материала; *б* – высолы на поверхности материала

Fig. 2. Chemical corrosion of brick material
a – destruction of the material; *b* – efflorescences on the surface
of the material

Отсутствие заполнения оконных проемов привело к скоплению большого количества снега на этажах, что послужило замачиванию внутренних стен и стен лестничных клеток. Активное замачивание зафиксировано по солевым образованиям как на верхнем уровне стен, так и на нижнем (рис. 3).

Результаты визуального обследования состояния несущих стен и перегородок в недостроенных домах свидетельствуют об активном протекании в материале крупноблочной пористой керамики процессов химической коррозии. Разрушение материала приводит к снижению прочности поризованных блоков. Следовательно, определение остаточной долговечности мате-

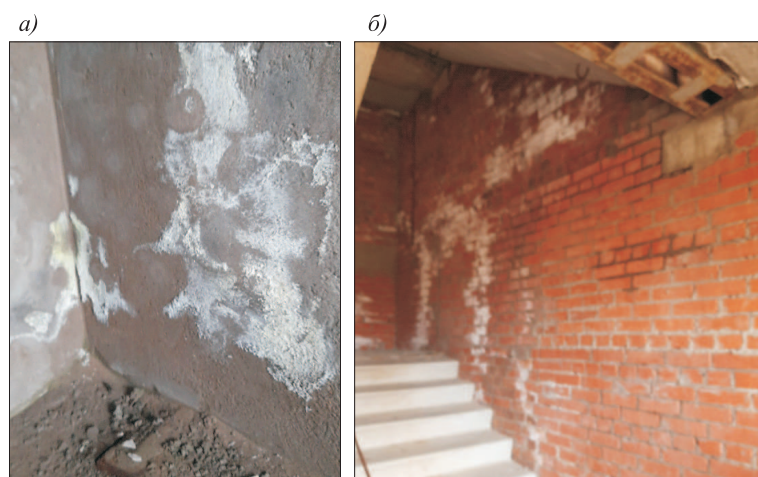


Рис. 3. Увлажнение внутренних стен
a – внутренние перегородки; *б* – стены лестничных клеток

Fig. 3. Humidification of internal walls
a – internal partitions; *b* – stairwell walls

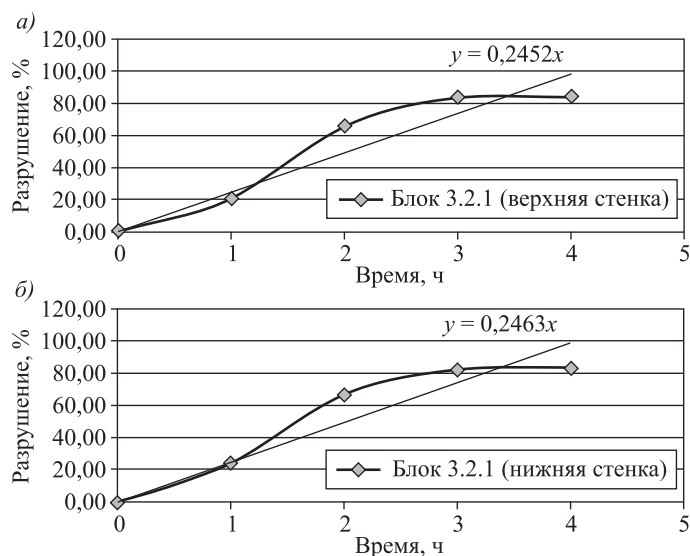


Рис. 4. Экспериментальное определение коэффициента химической деструкции крупноблочной верхней (а) и нижней (б) стенки блока пористой керамики

Fig. 4. Experimental determination of the coefficient of chemical destruction of large-block upper (a) and lower walls (b) of a block of porous ceramics

риала и конструкций недостроенных зданий при принятии решений должно быть проведено в обязательном порядке.

Результаты экспериментального исследования. В 2020 г. автором был проведен отбор образцов и начаты исследования по долговечности крупноблочной пористой керамики, производимой на заводе «Порикам» [8] и использованной в обследуемых зданиях незавершенного строительства. В настоящее время изучена химическая стойкость образцов крупноблочной поризованной керамики и определен коэффициент химической деструкции. На рис. 4 представлены графики химической стойкости материала и графического определения коэффициента химической деструкции. Исследования проводились отдельно для верхней и нижней стенок блока.

Коррозионная активность влаги была определена в соответствии с методикой, подробно описанной в [5]. Результаты исследования и расчета концентрации щелочей в растворе приведены в табл. 1.

Экспериментальные значения коэффициента химической деструкции (см. рис. 4), результаты исследования концентрации гидроксидов калия и натрия (см. табл. 1) позволяют по формуле (1) вычислить коэффициент химической деструкции для мате-

Таблица 1. Концентрации щелочей, мг/л
Table 1. Alkali concentrations, mg/l

Концентрация	Верхняя стенка	Нижняя стенка
Na ⁺	0,307	0,231
K ⁺	1,128	0,951
NaOH	0,534	0,402
KOH	1,620	1,366
Суммарная	2,154	1,768
$k/k_{ЭК}$	$2,60 \cdot 10^4$	$3,17 \cdot 10^4$
$(k/k_{ЭК})^{0,378}$	45,65	50,28

Таблица 2. Результаты расчетов долговечности материала крупноблочной пористой керамики

Table 2. The results of calculations of the durability of the material of large-block porous ceramics

Показатель	Верхняя стенка			Нижняя стенка		
Значение Cd_0 (по рис. 4)	0,2452			0,2463		
$(k/k_{\text{эк}})^{0,378}$ (из табл. 1)	45,65			50,28		
Температурный коэффициент реакции γ	1,15	1,20	1,25	1,15	1,20	1,25
Изменение скорости реакции при снижении температуры от 100 до 20 °С, γ^8	3,06	4,30	5,96	3,06	4,30	5,96
Коэффициент химической деструкции в натуральных условиях при максимальной влажности (формула (1)), Cd , ч ⁻¹	1,755	1,249	0,901	1,601	1,139	0,822
Долговечность материала, лет	6,50	9,13	12,67	7,13	10,02	13,89

риала крупноблочной пористой керамики завода «Порикам». Величина, обратная значению коэффициента химической деструкции, является долговечностью материала в условиях максимальной влажности, принимаемой равной водопоглощению материала. Максимальная влажность может достигаться в поверхностном слое материала кирпича в условиях атмосферных осадков. Как было отмечено выше, температурный коэффициент γ в уравнении Вант-Гоффа для реакций химической деструкции материала кирпича находится в пределах 1,15–1,25. Проведены расчеты для трех значений коэффициента (табл. 2).

Результаты, приведенные в табл. 2 для долговечности материала при максимальной влажности, достаточно точно коррелируются с результатами натуральных исследований (см. рис. 3). Учитывая результаты визуального обследования, можно принять значение температурного коэффициента скорости реакции $\gamma = 1,15$. Этот коэффициент должен приниматься для дальнейших исследований долговечности крупноблочной пористой керамики завода «Порикам».

Были проведены исследования влажности материала и водопоглощения (табл. 3).

Таблица 3. Результаты исследования влажности и водопоглощения материала

Table 3. Results of the study of moisture and water absorption of the material

Место отбора	Влажность материала, %	Водопоглощение, %	Долговечность, лет
1-й этаж, подоконный проем, 2-й ряд блоков сверху, внутренняя часть стены (под штукатуркой)	0,14	17,13	795,3
6-й этаж, подоконный проем, 2-й ряд блоков сверху, центральная часть стены	0,10	12,79	831,4
Чердачный этаж, подоконный проем, 2-й ряд блоков сверху, наружная часть стены (под штукатуркой)	0,18	16,53	597,0
Парапет, верхний ряд блоков, центральная часть стены (выше 1-й защитный ряд кирпича)	4,23	16,93	26,0

Долговечность в табл. 3 определена по формуле (1) с пересчетом значений с учетом влажности материала и его водопоглощения. Результаты расчетов чрезвычайно показательны. На их основании можно сделать вывод, что некоторые элементы конструкции, например, верхний ряд блоков парапета имеет недостаточную остаточную долговечность и должен быть демонтирован. Блоки, расположенные в других обследуемых конструкциях, обладают достаточной долговечностью для их дальнейшего использования.

Заключение. Разработана методика обследования зданий незавершенного строительства, позволяющая определить остаточную долговечность материала стеновой керамики. На примере обследования реального объекта показана необходимость данного исследования, так как разные конструкции здания в условиях отсутствия консервации обладают разной остаточной долговечностью. Решение о сохранении или демонтаже конструкций должно приниматься только с учетом расчета остаточной долговечности.

Список источников

1. *Zheldakov D.Yu.* Brickwork chemical corrosion features // International science and technology conference “EarthScience” IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. No. 459. P. 062–089. doi: 10.1088/1755-1315/459/6/062089
2. *Москвин В.М., Иванов Ф.М., Алексеев С.Н., Гузеев Е.А.* Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М.: Стройиздат, 1980. 536 с.
3. *Andrade C., Alonso M. C., Pettersson K., Somerville G., Tuutti K.* The practical assessment of damage due to corrosion // Proceedings of Int. Conf. Concrete across Borders. 1994. P. 337–350.
4. *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. Vol. 8, no. 6. P. 871–880. doi: <https://doi.org/10.18280/mmep.080605>
5. *Желдаков Д.Ю.* Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 11. С. 74–86.
6. *Zheldakov D.Yu.* The brick material durability in brickwork // AlfaBuild. 2020. Vol. 15, no. 1504. doi: 10.34910/ALF. 15.4
7. *Гагарин В.Г., Пастушков П.П.* Определение расчетной влажности строительных материалов // Пром. и гражд. стр-во. 2015. № 8. С. 28–33.
8. *Zheldakov D., Tursukov S.* The durability of large-block hollow // Ceramics Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079, Chapter 4.

References

1. *Zheldakov D.Yu.* Brickwork chemical corrosion features // International science and technology conference “EarthScience”. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020; (459): 062–089. doi: 10.1088/1755-1315/459/6/062089
2. *Moskvin V.M., Ivanov F.M., Alekseev S.N., Guzeev E.A.* Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection. Moscow: Sroyizdat, 1980. 536 p. (In Russ.).
3. *Andrade C., Alonso M. C., Pettersson K., Somerville G., Tuutti K.* The practical assessment of damage due to corrosion. Proceedings of Int. Conf. Concrete across Borders. 1994. P. 337–350.

4. 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. doi: <https://doi.org/10.18280/mmep.080605>
5. Zheldakov D.Yu. Methods of investigation of kinetics of chemical corrosion process of materials of masonry. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2019; (11): 74–86. (In Russ.).
6. Zheldakov D.Yu. The brick material durability in brickwork. *AlfaBuild*. 2020; 15 (1504). doi: 10.34910/ALF. 15.4
7. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the calculated moisture content of building materials. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2015; (8): 28–33. (In Russ.).
8. Zheldakov D., Tursukov S. The durability of large-block hollow. Ceramics Published under licence by IOP Publishing Ltd IOP conference Series: Materials Science and Engineering. 2021; 1079 (4).

Информация об авторе

С.А. Турсуков – аспирант

Information about the author

S.A. Tursukov – Post-graduate Student

Статья поступила в редакцию 20.07.2021
Одобрена после рецензирования 23.08.2021
Принята к публикации 30.08.2021

The article was submitted 20.07.2021
Approved after reviewing 23.08.2021
Accepted for publication 30.08.2021