

В.Д. КОТЛЯР<sup>1</sup>, д-р техн. наук (diatomit\_kvd@mail.ru); Н.И. НЕБЕЖКО<sup>2</sup>, инженер;  
Ю.В. ТЕРЕХИНА<sup>1</sup>, инженер, А.В. КОТЛЯР<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

<sup>2</sup> Индивидуальный предприниматель (344000, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 108).

## К вопросу о химической коррозии и долговечности кирпичной кладки

Обсуждаются актуальные вопросы долговечности и химической коррозии кирпичной кладки на современных объектах строительства. Рассмотрены спорные моменты, представленные в статьях Д.Ю. Желдакова, опубликованных в журнале «Строительные материалы» № 7/2018 г. и № 4/2019 г. по результатам его исследований химической коррозии и долговечности кирпичной кладки. Дано обоснование устойчивости керамического кирпича к химической коррозии, а также того, что для нашего климата основным свойством, определяющим долговечность изделий, является морозостойкость. Представлен критический анализ предложенного автором механизма деструкции кирпичной кладки, основой которого предлагается считать реакции между гидроксидом кальция и оксидами кремния и алюминия с образованием волластонита и однокальциевого алюмината. Показана несостоятельность выводов, сделанных автором о том, что им разработан механизм процесса разрушения кирпича в системе «кирпич – цементно-песчаный раствор» при положительной температуре. Подвергнут сомнению предложенный автором метод расчета предельной долговечности материала конструкции по параметру прочности с учетом процессов химической коррозии, а также главный вывод автора о том, что при использовании многослойных ограждающих конструкций их долговечность необходимо определять не для каждого материала, а только с учетом протекания химических процессов деструкции при взаимном влиянии всех материалов.

**Ключевые слова:** долговечность, кирпичная кладка, раствор, коррозия, деструкция, эксперимент.

**Для цитирования:** В.Д. Котляр, Н.И. Небежко, Ю.В. Терехина, А.В. Котляр. К вопросу о химической коррозии и долговечности кирпичной кладки // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>

V.D. KOTLYAR<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (diatomit\_kvd@mail.ru); N.I. NEBEZHKO<sup>2</sup>, Engineer;  
Yu.V. TEREKHINA<sup>1</sup>, Engineer, A.V. KOTLYAR<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

<sup>2</sup> Individual Entrepreneur (108, Prosveshcheniya Street, Novochechekassk, 344000, Russian Federation)

### On the Issue of Chemical Corrosion and Durability of Brick Masonry

Topical issues related to the durability and chemical corrosion of masonry at modern construction sites are discussed. Controversial issues presented in the articles by D.Yu. Zheldakov, according to the results of his research of chemical corrosion and durability of brick masonry are considered. The substantiation of resistance of ceramic brick to chemical corrosion, and also that for our climate the main property defining durability of products is frost resistance is made. A critical analysis of the brick-work destruction mechanism proposed by the author is presented, where the basis is the reaction between calcium hydroxide and silicon and aluminum oxides with the formation of wollastonite and mono-calcium aluminate. The inconsistency of the conclusions made by the author that he has developed a mechanism for the destruction of bricks in the “brick-cement-sand mortar” system at positive temperatures is shown. The method proposed by the author for calculating the ultimate durability of the structural material with respect to the strength parameter taking into account chemical corrosion processes, as well as the author’s main conclusion that when using multi-layer enclosing structures, their durability must not be determined for each material, but only taking into account the chemical destruction processes under the mutual influence of all materials is questioned.

**Keywords:** durability, brick masonry, mortar, corrosion, destruction, experiment.

**For citation:** Kotlyar V.D., Nebezhko N.I., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. On the issue of chemical corrosion and durability of brick masonry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 10, pp. 78–84. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>

Долговечность строительных материалов и конструкций на их основе была и остается одной из ключевых задач современного материаловедения. Разработка составов масс и технологий, методы защиты, проектные и конструктивные решения, методы испытаний и оценки свойств, прогнозирование условий эксплуатации – вот основные вопросы научных и практических работ, направленные на обеспечение требований по долговечности, экономической эффективности и экологической безопасности зданий и сооружений. Все чаще исследователи обращаются к качеству не отдельного материала, а к системам его эксплуатации.

Одной из проблем, связанных с химической коррозией и деструкцией керамических изделий, является совокупность факторов, приводящих к разрушению поверхности кирпича. В настоящее время производится кирпич поверхностно и объемно окрашенный, для кладки применяются растворы с различными добавками, действие которых на кирпич не изучено. В некоторых местах кирпичная кладка подвергается солевой и кислотной коррозии, в результате чего кирпич теряет свой первоначальный вид. На рис. 1 представлены фотографии цветного и обычного лицевого кирпича, потерявшего первоначальный внешний вид в результате кислотных осадков, соле-

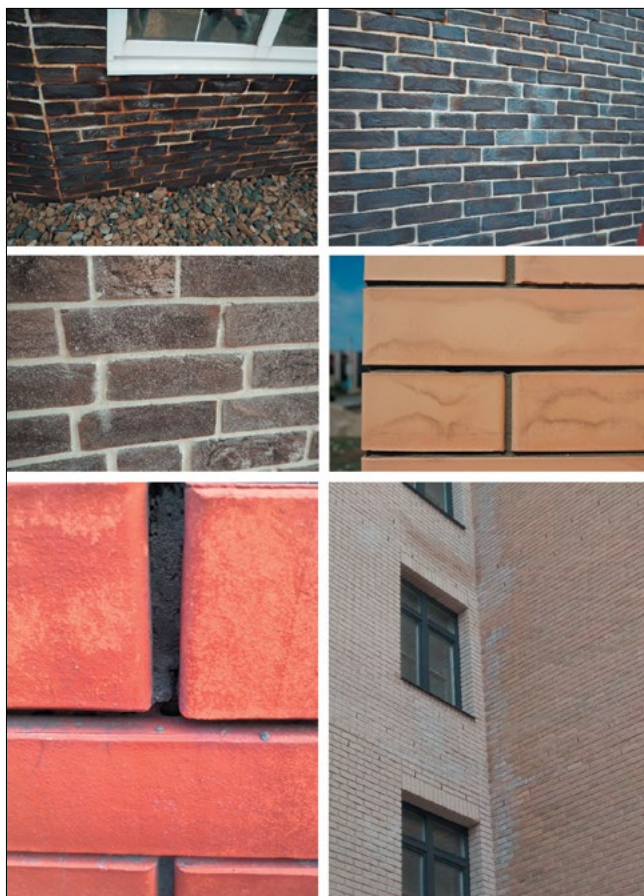


Рис. 1. Изменение лицевой поверхности кирпича за счет солевой коррозии, кислотных осадков, а также действия добавок в растворные смеси

вой коррозии, связанной с грунтовыми и сточными водами, влиянием пластификаторов и водоудерживающих добавок, содержащихся в растворах, а также других факторов. Выявление причин этих отрицательных для керамического кирпича явлений является важной научно-практической задачей при рассмотрении системы кирпич – раствор – условия эксплуатации.

В журнале «Строительные материалы» с первых лет издания одним из постоянных тематических направлений является производство и применение стеновых керамических материалов, в том числе касающихся химической коррозии кирпича и кладки. В 2018–2019 гг. по данной теме был опубликован ряд статей. В отдельных работах приводятся весьма неоднозначные выводы о долговечности керамического кирпича и кирпичной кладки в целом и ставятся под сомнения результаты работ ведущих исследователей в области материаловедения и долговечности строительных материалов. Особого внимания ученых и специалистов-производственников требуют статьи Д.Ю. Желдакова: «Химическая коррозия кирпичной кладки. Постановка задачи» (Строительные материалы. 2018. № 6); «Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса» (Строительные материалы. 2019. № 4) [1, 2].

Кафедра «Строительные материалы» и испытательная лаборатория аккредитованного центра

«Академстройиспытания» Донского государственного технического университета совместно с предприятиями строительной индустрии на протяжении последних тридцати лет активно занимаются вопросами оценки качества строительных конструкций, материалов и изделий, в том числе керамического кирпича. Сотрудники центра являются сертифицированными судебными экспертами в области судебно-строительной технической экспертизы и проводят обследования зданий и сооружений, выполняют различные экспертизы, в том числе и на предмет дефектов или разрушения кирпича в кладке, появления высолов и солевой коррозии. В зависимости от поставленных вопросов авторами были проведены многочисленные испытания изделий как современных производителей, так и строительных материалов с историей. Тесное сотрудничество с Б.В. Талпой (Южный федеральный университет) и его Музеем старинного кирпича в г. Ростове-на-Дону, где представлены образцы кирпича возрастом до 4500 лет, позволяют расширять географию и накапливать статистику по качественным показателям керамического кирпича из стран мира с различным климатом и различного возраста. В рамках образовательного процесса сотрудники кафедры преподают курсы дисциплин «Долговечность строительных материалов и изделий», «Контроль качества строительных материалов и изделий в строительных конструкциях», «Методы контроля качества строительных материалов и изделий», и анализ публикаций Д.Ю. Желдакова вызвал научный интерес и вопросы как в части методологии исследований, так и в части выводов по результатам работы. Без сомнения, тема, поднятая автором, действительно актуальна и требует широкого обсуждения, так как вопросы качества керамического кирпича и методы их оценки, достоверность и длительность получения результата важны как для производителей, так и для потребителей.

Остановимся подробнее на статье Д.Ю. Желдакова «Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание основного процесса», опубликованной в журнале «Строительные материалы» (№ 4, 2019) [2]. На основе сравнительных натурных исследований разрушенных изделий в Италии, где температура воздуха практически не опускается ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , и в Москве, где в осенне-зимний период часты температурные переходы через  $0^{\circ}\text{C}$ , в том числе в течение одних суток, а зимой температура достигает  $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже, автор полагает, что процесс испытаний на морозостойкость по методу «замораживания и оттаивания» можно рассматривать как второстепенный, ускоряющий деструкцию материала, ослабленного химической коррозией. Здесь сразу возникает вопрос: а если изделия не «ослаблены химической коррозией» или они не эксплуатировались, как оценивать их долговечность?

В наших исследованиях отбирались древние кирпичи, подверженные различным видам химической коррозии в Индии, Италии, Турции, Португалии и



**Рис. 2.** Место отбора кирпича в индийском штате Карганака. Разрушенная кирпичная кладка возрастом 700 лет

других странах (рис. 2, 3). И если в первоначальных условиях при интенсивной химической коррозии кирпич из «теплых стран» простоял сотни лет, то при испытаниях на морозостойкость изделия разрушались при первых же циклах. В условиях зимы города Ростова-на-Дону, где часты переходы через 0°C, на улице образцы также разрушались достаточно быстро — к весне вместо кирпича на земле оставались лишь осколки. Известно, что керамический кирпич достаточно устойчив к химической коррозии — время тому свидетель, и как результат — огромное количество памятников архитектуры, сохранившихся до наших дней, выполнены из керамического кирпича. Согласно положениям научной литературы по общей или инженерной геологии, где дано описание химического и физического выветривания горных пород, делать вывод, что для нашего климата морозостойкость является второстепенным свойством материалов, весьма смело.

Следующий спорный момент относится к выводу автора, что использование марки материала по морозостойкости для определения долговечности не может дать достаточно достоверных результатов. В какой-то мере с автором можно согласиться, если учитывать, что долговечность — показатель комплексный, обязательно учитывающий конкретные условия эксплуатации. В качестве примера можно привести разрушение на третий год эксплуатации лицевого кирпича с маркой по морозостойкости F75 согласно ГОСТ 530–2012 в многослойных стеновых конструкциях по причине ошибок в проектных решениях и нарушениях при строительстве и эксплуатации здания (рис. 4).

Относительно методов оценки морозостойкости — одно дело, когда кирпич максимально насыщается водой и происходит замораживание изделий, другое — когда изделие остается сухим или полусухим в период эксплуатации. Станным является цитирование автором профессора Н.А. Белелюбского, благодаря которому в 1886 г. был принят метод лабораторного определения морозостойкости в холодильных каме-



**Рис. 3.** Место отбора кирпича в историческом комплексе Эфес, Турция. Разрушенная кирпичная кладка возрастом более 1500 лет

рах и который сейчас применяется во всех странах, с указанием того, что позицию Белелюбского забыли. Причем еще в XIX в. методы испытания на морозостойкость касались не только кирпича, но и многих других строительных материалов, что послужило базой для развития методов определения морозостойкости. Результаты и исторический путь развития методов отражены в базовых трудах по данной теме, а также в современных учебниках по строительному материаловедению и строительным материалам, где приводятся теоретические и практические аспекты долговечности и морозостойкости [3–7].

С точки зрения методологии проводимых исследований сомнения вызывает репрезентативность выборки, количество образцов и методы оценки. Д.Ю. Желдаков описывает эксперимент: «Проводились исследования пяти образцов кирпичей разных заводов с паспортной маркой по морозостойкости F50. Образцы насыщались водой в количестве 0, 25, 50, 75 и 100% от полного водонасыщения. Прочность образцов проверялась ультразвуковым методом в четырех точках по разным направлениям образца. Кроме того, образцы контролировались по потере массы и визуально. Все образцы выдержали 630 циклов замораживания-оттаивания, после чего эксперимент был прерван». Сразу возникают вопросы. Что значит пять образцов? Всего или каждого завода? Каких заводов? Какой кирпич? Как насыщались водой кирпич? Как проверялась прочность? Каким методом проверялась морозостойкость? Также надо понимать, что нельзя определить прочность кирпича ультразвуковым методом без сопоставления с разрушающими методами. Складывается впечатление, что автор не совсем хорошо знаком с неразрушающими методами определения прочности строительных материалов или руководствуется методикой не в полном объеме.

Научный и практический интерес вызывает как сама методика, описанная автором, так и ее результат — важно быть уверенным, что кирпич действительно выдерживает морозостойкость 630 циклов.



Рис. 4. Примеры разрушения кирпича в многослойной стене многоэтажного жилого дома

Для любого кирпичного завода морозостойкость изделий 600 циклов – гордость и большое достижение, которое хотелось бы подтвердить как в лабораторных условиях, так и в процессе эксплуатации. Поэтому, не подкрепленные дополнительными исследованиями данные не могут быть приняты как доказательство высокого качества изделий.

Далее автор указывает, что для многослойных ограждающих конструкций необходим стратегический пересмотр подхода к расчету долговечности материалов в таких конструкциях. Непонятно, что имеет в виду автор под многослойными конструкциями: сплошная кирпичная кладка, несущая кирпичная стена с вентилируемым фасадом, облицовочная кирпичная кладка в различных конструкциях или другие варианты стен с применением керамического кирпича. Не конкретизировав вид кладки, автор сразу переходит к схеме протекания основных реакций в системе цементно-песчаный раствор – керамический полнотелый кирпич. На первом этапе, как указывает автор, протекают реакции образования гидроксида кальция в результате гидратации портландцементного клинкера. Однако теория твердения цемента, формирование структуры и свойств цементного теста и камня, а также долговечность и коррозия цементного камня подробно описаны во многих учебниках по строитель-

ным материалам и строительному материаловедению, и нет оснований для глобального пересмотра существующих теорий [4–8].

Также автор приводит возможные варианты образования гидроксида кальция в результате гидратации цемента и свободного оксида кальция, присутствующего в материале кирпича. А если нет свободного оксида кальция в материале кирпича? А если он представлен в разных формах? Специалисты в области керамики имеют представление о возможных формах нахождения соединений кальция в глинистом сырье и материале кирпича, о том, какие формы считаются опасными и вредными, а какие нет, как те или иные соединения кальция влияют на качество и долговечность кирпича. В нормативных документах – ГОСТ 9169–79 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация» приводится классификация карбонатных включений, а в ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» четко оговариваются допустимые возможные последствия их содержания. Данный аспект отражен в базовой литературе по технологии керамики и подтвержден многовековым опытом использования керамического кирпича [9–13].

Описывая процесс деструкции кирпичной кладки, автор указывает, что образовавшийся гидроксид кальция будет реагировать с материалом кирпича –

оксидами кремния и алюминия. Причем без уточнения, в какой форме находятся эти оксиды. Можно сразу сказать, что оксид кремния содержится в материале кирпича в основном в виде кварца, а оксида алюминия в чистом виде в обычном кирпиче нет. Специалист, изучающий строительное материаловедение и физхимию силикатов, а также технологии силикатных производств, знает, что в обычных для кирпича эксплуатационных условиях не происходит реакций между гидроксидом кальция и кварцем с образованием силиката кальция — минерала волластонита, как указывает автор. Реакции эти идут только в гидротермальных условиях или при обжиге. На эту тему имеется много публикаций, так как волластонит используется во многих отраслях и является очень полезным минералом для керамики. Его добывают в природе и получают искусственно по обжиговой технологии. Та же ситуация и с оксидом алюминия. Автор привел химические реакции, но не указал условий, их протекания и при этом делает вывод, что принципиальная схема химического разрушения строительной керамики в системе кирпич — раствор описывается на первом этапе — реакцией образования гидроксида кальция по приведенным им схемам, а на втором этапе — реакциями взаимодействия гидроксида кальция со структурой материала кирпича. Следуя этой логике, все кирпичные здания должны были давно разрушиться, а из кирпича в принципе нельзя ничего строить. Это противоречит многовековому опыту строительства и возведения кирпичной кладки только на известковых растворах, в которой глобальной деструкции нет и не наблюдается и теоретически обосновано хорошее сцепление керамики с известковыми и цементными растворами.

Отметим также, что автором не учтены такие процессы, как карбонизация цементного камня, переход гидроксида кальция в карбонат, что существуют различные виды пуццолановых добавок, различные породы с содержанием аморфного кремнезема, реакции извести с этими породами, которые отражаются на методах анализа таких систем [3–5, 14–17]. Проведенные нами исследования растворов древних кирпичных и каменных кладок различных регионов мира показали, что в известковых растворах старше 50–200 лет в зависимости от климатических условий есть известь переходит в карбонат кальция — минерал кальцит [18, 19].

Д.Ю. Желдаков в своей статье свободно оперирует терминами и понятиями и указывает, что примеси и элементы  $K^+$  и  $Na^+$  щелочно-земельных металлов,  $Mg^{2+}$  могут входить в кристаллическую структуру кирпича, находиться в виде оксидов и аморфной составляющей и т. д. Также он приводит данные о растворимости альбита и микроклина при температуре  $500^\circ C$  и давлении от 408 до  $2040 \text{ кгс/см}^2$ , хотя кирпич не эксплуатируется в таких условиях. Приводит реакции кремнезема и алюмосиликатов с гидроксидом натрия в кирпиче со щелочью неясного происхожде-

ния. Тут же делает вывод, что скорость процесса деструкции в системе кирпич — цементно-песчаный раствор определяется реакциями образования щелочей в системе. Складывается впечатление, что процесс эксплуатации кирпича происходит в растворе гидроксида натрия.

Для подтверждения правильности своих термодинамических оценок автором были выполнены инструментальные исследования протекания процессов. Суть экспериментов заключалась в том, что образцы кирпича выдерживались в растворе гидроксида кальция при температуре  $70\text{--}80^\circ C$  в течение двух недель. После извлечения из раствора образцы увеличились в размере и увеличили массу. При воздействии одного цикла замораживания-оттаивания образцы разрушились полностью. Также действию раствора гидроксида кальция подвергался измельченный кирпич. Здесь много вопросов по поводу проведения экспериментов. Какой был кирпич? Как менялась концентрация раствора  $Ca(OH)_2$ ? Известно, что его растворимость при  $20^\circ C$  составляет около  $0,17 \text{ г/100 мл}$ , при  $100^\circ C$  —  $0,1 \text{ г/100 мл}$ . При повышенной температуре он связывается с аморфной фазой керамического материала. Этот факт известен с древних времен, не зря же в известковые растворы старались добавлять обожженную глину — глиез, цемянку. Именно для того, чтобы сделать растворы более прочными, водостойкими и долговечными.

Вызывает сомнения исходный состав кирпича, приведенный Д.Ю. Желдаковым: кварц —  $43,7\%$ ; альбит —  $20,5\%$ ; микроклин —  $10,5\%$ ; гематит —  $5,3\%$ ; аморфная фаза —  $20\%$ . И то, как можно на рентгеновском дифрактометре без большого количества специально подготовленных эталонных образцов определить с точностью до десятых долей процента содержание минералов и аморфной фазы, которой для обычного кирпича, по нашему опыту, мало.

С помощью термического анализа автор установил, что в результате взаимодействия материала кирпича с гидроксидом кальция образуется новое вещество. Автор не указывает какое, а на основе эндотермического эффекта говорит, что это может быть гиролит, гидросиликаты и гидроалюминаты. Здесь автору рекомендуется ознакомиться с книгой В.С. Горшкова, В.В. Тимашева, В.Г. Савельева «Методы физико-химического анализа вяжущих веществ», где описаны данные минералы и методы их определения.

Также не совсем понятен предложенный автором «метод определения активных анионов». То, что в глине и кирпиче могут содержаться растворимые соли, известно всем, и есть стандартные методы определения водорастворимых солей и высолов.

Исходя из сформулированного определения предельной долговечности и результатов проведенных экспериментов автор предлагает математическую формулу для ее расчета, в которой много неясного. Например,  $S$  — нормативная нагрузка, действующая на конструкцию несущей стены (где, в каких усло-

виях и т. д.);  $W_1$  и  $W_2$  — скорости деструкции материала при воздействии независимых процессов, выражаемые в МПа/год и т. д.

Представленные автором в статье результаты, которые отличаются неопределенностью, обусловили нечеткие и неясные общие выводы. Так, автор указывает, что им разработан процесс разрушения кирпича в системе кирпич — цементно-песчаный раствор при положительной температуре. Однако, в приведенных данных описания процесса как такового нет. Приводятся лишь фрагментарные данные. Автор говорит, что расчеты, сделанные с помощью методов химической термодинамики, подтверждены инструментальными исследованиями. К сожалению, инструментальные исследования также приведены фрагментарно. Вызывает сомнение предложенный им метод оценки предельной долговечности материала конструкции по параметру прочности с учетом процессов химической коррозии. Как это оценить на

практике, конкретно и методически правильно автор не указывает. Главный вывод автора о том, что при использовании многослойных ограждающих конструкций их долговечность необходимо определять не для каждого материала, а только с учетом протекания химических процессов деструкции при взаимном влиянии всех материалов, не выдерживает критики в части применимости и конкретных условий приложения полученных результатов.

Отсутствие структурированного подхода, методики реализации экспериментов, критериев их обработки и оценки достоверности результатов, представительности выборки образцов, неоднозначные выводы теории по единичным случаям — факторы, которые необходимо учесть при дальнейшей работе для решения актуальных проблем строительной отрасли, а также принять во внимание рекомендации и результаты современных исследователей по данной тематике [20–23].

### Список литературы

1. Желдаков Д.Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Постановка задачи // *Строительные материалы*. 2018. № 6. С. 29–32. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-760-6-29-32>
2. Желдаков Д.Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса // *Строительные материалы*. 2019. № 4. С. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-36-43>
3. Беркман А.С., Мельникова И.Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. М.: Госстройиздат, 1962. 167 с.
4. Миккульский В.Г., Сахаров Г.П. и др. Строительные материалы: Материаловедение. Технология конструкционных материалов. М.: Издательство АСВ, 2007. 520 с.
5. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы и изделия. М.: Высшая школа. 2008. 440 с.
6. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков О.В. Оценка качества строительных материалов. М.: Высшая школа. 2004. 287 с.
7. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высшая школа. 2003. 701 с.
8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. М.: Стройиздат. 1986. 688 с.
9. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
10. Сайбулатов С.Ж. Производство керамического кирпича. М.: Стройиздат, 1989. 201 с.
11. Кондратенко В.А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико-технических свойств и технологических параметров производства. М.: Композит, 2005. 509 с.
12. Золотарский А.З., Шейман Е.Ш. Производство керамического кирпича. М.: Высшая школа. 1989. 264 с.
13. Федоров П.А. Как и изъ чего делают Кирпичь. Краткое практическое руководство по производ-

### References

1. Zheldakov D.Yu. Chemical corrosion of a bricklaying. Problem definition. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 6, pp. 29–32. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-760-6-29-32> (In Russian).
2. Zheldakov D.Yu. Chemical corrosion of brick masonry. Process running. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 4, pp. 36–43. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-36-43> (In Russian).
3. Berkman A.S., Mel'nikova I.G. Struktura i morozostoykost' stenovykh materialov [The structure and frost resistance of wall materials]. Moscow: Gosstroyizdat. 1962. 167 p.
4. Mikul'skiy V.G., Sakharov G.P. i dr. Stroitel'nyye materialy. Materialovedeniye. Tekhnologiya konstruksionnykh materialov [Building materials. Materials science. Technology of structural materials]. Moscow: ASV. 2007. 520 p.
5. Popov K.N., Kaddo M.B. Stroitel'nyye materialy i izdeliya [Building materials and products]. Moscow: Vysshaya shkola. 2008. 440 p.
6. Popov K.N., Kaddo M.B., Kul'kov O.V. Otsenka kachestva stroitel'nykh materialov [Assessment of the quality of building materials]. Moscow: Vysshaya shkola. 2004. 287 p.
7. Ryb'yev I.A. Stroitel'noye materialovedeniye [Building materials science]. Moscow: Vysshaya shkola. 2003. 701 p.
8. Gorchakov G.I., Bazhenov Yu.M. Stroitel'nyye materialy [Building materials]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 688 p.
9. Avgustinik A.I. Keramika [Ceramics]. Leningrad: Stroyizdat. 1975. 592 p.
10. Saybulatov S.Zh. Proizvodstvo keramicheskogo kirpicha [Production of ceramic bricks]. Moscow: Stroyizdat. 1989. 201 p.
11. Kondratenko V.A. Keramicheskiye stenovyye materialy: optimizatsiya ikh fiziko-tekhnicheskikh svoystv i tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva [Ceramic wall materials: optimization of their physical and technical properties and technological parameters of production]. Moscow: Composite. 2005. 509 p.

- ству всевозможных сортов кирпича, клинкера и искусственных камней. С.-Петербург. Издание М.П. Петрова. 1904. 30 с.
14. Горшков В.С., Савельев В.Г., Федоров Н.Ф. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.
  15. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Костандов Ю.А. и др. Прочность и деформативность строительных материалов принудительного карбонатного твердения // *Строительство и техногенная безопасность*. 2018. № 11 (63). С. 57–65.
  16. Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Любомирская Т.В. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-751-8-7-12>
  17. Любомирский Н.В., Бахтина Т.А., Бахтин А.С. Изменение физико-механических свойств известково-карбонатнокальциевых материалов принудительного карбонатного твердения во времени // *Строительство и техногенная безопасность*. 2017. № 8 (60). С. 67–73.
  18. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated Cross-disciplinary Approach to Dating the Architectural Heritage Objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. *2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research»*. Vol. 284. P. 613–617.
  19. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). *Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Volume 91. Article Number 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>.
  20. Устинова Ю.В., Никифорова Т.П. Солевая коррозия строительных конструкций // *Интернет-вестник ВолГАСУ*. 2014. Вып. 2(33). [Электронное издание] [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/14UstinovaNikiforova-2014\\_2\(33\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/14UstinovaNikiforova-2014_2(33).pdf)
  21. Чумаченко Н.Г., Мироненко Е.В. Влияние кладочных растворов на высолообразование в кирпичных зданиях // *Технологии, материалы, конструкции в строительстве*. 2003. № 4. С. 65–73.
  22. Мироненко Е.В. Физико-химические процессы высолообразования в кирпичной кладке и методы их устранения // Дисс. канд. техн. наук. Самара, 2006. 160 с.
  23. Стороженко Г.И. К обсуждению теории химической коррозии кирпичной кладки // *Строительные материалы*. 2019. № 9. С. 62–65. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-62-65>
  12. Zolotarskiy A.Z., Sheyman Ye.Sh. Proizvodstvo keramicheskogo kirpicha [Production of ceramic bricks]. Moscow: Vysshaya shkola. 1989. 264 p.
  13. Fodorov P.A. Kak i iz chego delayut Kirpich. Kratkoye prakticheskoye rukovodstvo po proizvodstvu vsevozmozhnykh sortov kirpicha, klinkera i iskusstvennykh kamney [How and what brick is made of. Brief practical guide to the production of all kinds of varieties of bricks, clinker and artificial stones]. St. Petersburg. Publishing M.P. Petrova. 1904. 30 p.
  14. Gorshkov V.S., Savel'yev V.G., Fedorov N.F. Fizicheskaya khimiya silikatov i drugikh tugoplavkikh soyedineniy [Physical chemistry of silicates and other refractory compounds]. Moscow: Vysshaya shkola. 1988. 400 p.
  15. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Kostandov Yu.A. i dr. Strength and deformability of building materials forced carbonate hardening. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2018. No. 11(63), pp. 57–65. (In Russian).
  16. Lyubomirskiy N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A., Lyubomirskaya T.V. Research in influence of regimes of forced carbonate hardening on properties of materials on the basis of limelimestone compositions of semidry pressing. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2017. No. 8, pp. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-751-8-7-12>. (In Russian).
  17. Lyubomirskiy N.V., Bakhtina T.A., Bakhtin A.S. Change in the physicochemical properties of calcareous carbonate-calcium materials of forced carbonate hardening over time. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2017. No. 8 (60), pp. 67–73. (In Russian).
  18. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Integrated cross-disciplinary approach to dating the architectural heritage objects. Based on Abkhazia and Chechnya Architectural Monuments Dating back from 2nd to 11th Centuries. *2nd International Conference on Art Studies: Science, Experience, Education (ICASSEE 2018) «Advances in Social Science, Education and Humanities Research»*. Vol. 284, pp. 613–617.
  19. Pishchulina V., Kotlyar V., Argun A. Modern techniques of research of medieval lime mortars for carrying out dating of monuments (on the example of objects of Abkhazia of the 2-11th c.). *Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Vol. 91. Article Number 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102006>.
  20. Ustinova Yu.V., Nikiforova T.P. Salt corrosion of building structures. *Internet-vestnik VolGASU*. 2014. No. 2(33). [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/14UstinovaNikiforova-2014\\_2\(33\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/14UstinovaNikiforova-2014_2(33).pdf). (In Russian).
  21. Chumachenko N.G., Mironenko E.V. Influence of masonry mortars on vysolobrazovanie in brick buildings. *Tekhnologii, materialy, konstruksii v stroitel'stve*. 2003. No. 4, pp. 65–73. (In Russian).
  22. Mironenko E.V. Physico-chemical processes of efflorescence formation in masonry and methods for their elimination. Diss. Cand. of Sciences (Engineering). Samara. 2006. 160 p. (In Russian).
  23. Storozhenko G.I. To discussion on development of the theory of chemical corrosion of brick masonry. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2019. No. 9, pp. 62–65. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-774-9-62-65>