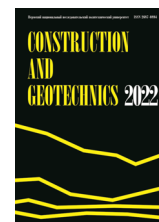




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 4, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.03

УДК 697.691.1: 536.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И СТРУКТУРЫ ПОРИСТОСТИ ЛИЦЕВОГО КИРПИЧА ВОЗРАСТОМ БОЛЕЕ СТА ЛЕТ (СЕЛО РОЖДЕСТВЕНО, САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

**В.З. Абдрахимов**

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 15 августа 2022  
Одобрена: 31 октября 2022  
Принята к публикации:  
15 ноября 2022

#### Ключевые слова:

долговечность, структура пористости, лицевой кирпич, «опасные» поры, интегральные и дифференциальные порограммы.

### АННОТАЦИЯ

Объектом исследования является керамический образец, взятый из стены построенного в 1896 г. в селе Рождествено Самарской области винокуренного завода возрастом более 120 лет. Исследования показали, что изучаемый образец содержит повышенное количество углерода ( $C = 9,48$ ). Очевидно, это связано с тем, что в качестве связующего (глинистого сырьевого материала) использовалась легкоплавкая глина с повышенным содержанием органики или в кармическую массу вводили выгорающую добавку, например мелко измельченный уголь (размером не более 1 мм). Выгорающая добавка не только повышает пористость изделий, но также способствует обжигу внутри материала и равномерному спеканию керамики. Установлено, что повышенное содержание в керамическом образце оксидов щелочей ( $R_2O > 3,5 \%$ ) способствуют в интервале температур 950–1000 °С образованию жидкой фазы, которая затекает в мелкие поры и тем самым снижает пористость изделия. Выявлено, что в керамическом кирпиче в основном встречаются поры трех видов: щелевидные, изометрические и поры овальной формы, в исследуемом образце поры в основном овальной (округлой) формы. Интегральные и дифференциальные порограммы исследуемых образцов, полученных методом ртутной порометрии, показали, что суммарный объем микропор размером от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  м составляет  $0,157 \text{ см}^3/\text{г}$ . Дифференциальное распределение микропор в зависимости от их размера следующее, %:  $10^{-4} - 10^{-5}$  м – 27;  $10^{-5} - 10^{-6}$  м – 24;  $10^{-6} - 10^{-7}$  м – 24;  $10^{-7} - 10^{-8}$  м – 25. Опасными порами в керамических материалах являются капиллярные поры размером  $10^{-6} - 10^{-7}$  м. Содержание «опасных» микропор в исследованном образце составляет 24 %, а содержание таких «опасных» пор в стеновой керамике находится в пределах 40–60 %.

© ПНИПУ

© Абдрахимов Владимир Закирович – доктор технических наук, профессор, e-mail: 3375892@mail.ru

Vladimir Z. Abdrakhimov – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: 3375892@mail.ru

## INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DURABILITY AND POROSITY STRUCTURE OF FACE BRICKS OVER A HUNDRED YEARS OLD (VILLAGE OF ROZHDESTVENO, SAMARA REGION)

V.Z. Abdrakhimov

Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 15 August 2022  
Approved: 31 October 2022  
Accepted for publication:  
15 November 2022

#### Keywords:

durability, porosity structure, face brick, "dangerous" pores, integral and differential porograms.

### ABSTRACT

The object of the study is a ceramic sample taken from the wall of a distillery built in 1896 in the village of Rozhdestveno, Samara region, with an age of more than 120 years. Studies have shown that the sample under study contains an increased amount of carbon ( $C = 9.48$ ). Obviously, this is due to the fact that low-melting clay with a high organic content was used as a binder (clay raw material), or a burn-out additive was introduced into the karmic mass, for example finely ground coal (no more than 1 mm in size). The burn-out additive not only increases the porosity of the products, but also promotes firing inside the material and uniform sintering of ceramics. It was found that the increased content of alkali oxides in the ceramic sample ( $R_2O > 3.5\%$ ) contributes to the formation of a liquid phase in the temperature range of 950–1000 °C, which flows into small pores, and thereby reduces the porosity of the product. It was revealed that three types of pores are mostly found in ceramic bricks: slit-shaped, isometric and oval-shaped pores, in the studied sample the pores are mainly oval (rounded) in shape. Integral and differential porograms of the studied samples obtained by mercury porometry showed that the total volume of micropores ranging in size from  $10^{-4}$  to  $10^{-8}$  m is 0.157 cm<sup>3</sup>/g. The differential distribution of micropores, depending on their size, is as follows, %:  $10^{-4} - 10^{-5}$  m – 27;  $10^{-5} - 10^{-6}$  m – 24;  $10^{-6} - 10^{-7}$  m – 24;  $10^{-7} - 10^{-8}$  m – 25. Dangerous pores in ceramic materials are capillary pores with a size of  $10^{-6} - 10^{-7}$  m. The content of "dangerous" micropores in the studied sample is 24 %, and the content of such "dangerous" pores in wall ceramics is in the range of 40–60 %.

© PNRPU

---

## Введение

Керамический кирпич различных размеров является одним из самых древних стеновых материалов, причем возраст его колеблется в от 4 до 6 тыс. лет, так как такой строительный материал, полученный из глинистых материалов, остается востребованным до настоящего времени [1, 2]. Следует отметить, что такое широкое распространение керамические кирпичи получили еще из-за долговечности, также они применяются как красивый облицовочный материал [2, 3].

Основными различиями между рядовым и лицевым кирпичами являются: первый используется для строительства объектов, а значит, главное свойство его – это прочность, и он подвергается штукатурке, а для второго не только прочность, но и красивый внешний вид. Таким образом, для лицевого кирпича, используемого уже более 1000 лет, безусловно, основным предназначением является облицовка зданий, т.е. украшение, в результате чего объекты приобретают безукоризненный вид и без различных штукатурок.

В Российской Федерации в последние 10–15 лет во многих регионах исследователи отмечают разрушение облицовки у лицевых и штукатурки у рядовых кирпичей, что значительно понижает не только долговечность, но и комфортность проживания [4]. В Самарской области чаще всего встречаются следующие дефекты: в лицевых кирпичах – трещины на поверхности облицовки, разрушение лицевой поверхности; в оштукатуренных рядовых кирпичах появляются трещины в узлах сопряжения кирпича и штукатурки из-за разных коэффициентов линейного расширения, возникновения грибка и плесни.

Брак кирпича и различные виды его дефектов чаще всего связаны с использованием некондиционных глинистых сырьевых материалов и грубыми нарушениями технологии, например при обжиге – недожог (низкая температура обжига). Кроме того, если при строительстве сооружений, зданий и других различных объектов появился без необходимой их консервации длительный перерыв (около 10 лет), то он будет способствовать систематическому длительному переувлажнению наружных возведенных стен, в результате чего атмосферная влага будет проникать в кладку кирпичных стен, что естественно будет способствовать разрушению [5].

Вопросам фазовых превращений и структуре пористости в химической технологии керамических материалов придается особое значение, так как именно эти процессы определяют главным образом эксплуатационные свойства изделий [2, 3]. При обжиге керамических стеновых материалов под влиянием высоких температур в них происходят сложные физико-химические процессы, в результате чего полуфабрикат приобретает камнеподобную структуру [3].

Керамический кирпич является пористым строительным материалом и занимает по показателю пористости второе место, после древесины [6]. Пористая структура облицовочного кирпича частично берет на себя функцию кондиционера, т.е. повышает теплоизоляцию стены, не требуя теплоизоляционных материалов для сохранения тепла, смягчает перепады температуры: зимой – из-за перепадов температур ночью и днем; летом – из-за прерывистости солнечного излучения. Причем поры имеют в облицовочном кирпиче различный размер от менее  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  м [6].

Исследования М.К. Гальпериной [7] показали, что капиллярные поры с диаметром  $0,1 \cdot 10^{-6} - 10^{-7}$  м являются наиболее опасными, так как из-за капиллярного всасывания могут полностью заполняться водой, которая увеличивается в объеме при замерзании, что способствует появлению растягивающих усилий до 100 МПа и более, в результате чего кирпич разрушается.

## **Объект исследования**

Объектом исследования является построенный в 1896 г. возрастом более 120 лет в селе Рождествено Самарской области винокуренный завод, который выпускал качественную спиртовую продукцию. На заводе было установлено высококлассное оборудование, экономически самое выгодное и высокопроизводительное для своего времени. Этот завод является великолепным образцом производственной архитектуры (рис. 1). Здание построено в стиле «эkleктрика» с элементами русской и готической архитектуры. Эkleктрика (в переводе с греческого «выбирающий» или «отбирающий») – это художественное направление в архитектуре, которое ориентировано на использование различных форм искусства в одном объекте или сооружении в любых сочетаниях. Эkleктика обычно наблюдается в периоды смены больших художественных систем [8].

В советское время винокуренный завод Ушковых превратился в рождественский спиртзавод «Родник», а в 2013 г. был опломбирован в связи с тем, что летом 2012 г. спиртзавод стал причиной появившегося на набережной Волги в Самаре неприятного запаха, который исходил от отходов производства рождественского спиртзавода. Как тогда показала проверка, отходы не перерабатывались и были размещены неподалёку от завода на площади в десятки гектаров.



а



б



в



г

Рис. 1. Винокуренный завод в селе Рождествено Самарской области:  
а–в – общий вид винокуренного завода; г – образец, взятый на исследование  
Fig. 1. Distillery in the village of Rozhdestveno, Samara region:  
а–в – a general view of the distillery; г – a sample taken for research

**Цель работы.** Исследование современными методами анализа химических составов – поэлементного и оксидного – и структуры пористости образца, взятого из здания винокуренного завода.

### Методика исследования

В представленной статье для исследования керамического образца применялись прогрессивные современные методы химического анализа. Для определения и исследования поэлементного состава и микроструктуры (электронные снимки) образца использовался растровый электронный микроскоп JEOL-6390A, который имел следующие показатели: разрешение до 3 нм; увеличение от 5 до 300 000 раз с ускоряющим напряжением от 0,5 до 30 кВ; максимальный размер образца до  $\varnothing$  150 мм. Определения проводились по методике СамГТУ «Методические указания по определению химического состава твердых тел. Ме-

тодика выполнения измерений с помощью рентгеновского энергодисперсионного спектрометра в составе растрового электронного микроскопа».

Порограммы образцов: интегральные и дифференциальные были получены с помощью ртутного поромера П-3М, в котором оценка распределения пор по размерам осуществляется с помощью метода вдавливания ртути. Этот метод, основанный на том, что заполнение пор ртутью возможно только при определенном давлении, которое определяется капиллярным сопротивлением [9]. Эквивалентный диаметр поры в общем виде описывается уравнением:

$$D_{\text{экв}} = (4\sigma \cos\theta / P), \quad (1)$$

где  $D_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр поры,  $\sigma$  – поверхностное натяжение ртути,  $\theta$  – угол смачивания ртути,  $P$  – внешнее давление. При расчетах для силикатных материалов и ртути обычно принимают следующие значения  $\sigma = 471,6$  дин/см<sup>2</sup>;  $\theta = 145^\circ$  ( $\cos 145 = 0,8192$ );  $\rho = 13,546$  г/см<sup>3</sup> при 20 °С. Приведенное давление ( $P_{\text{прив}}$ ) определяется по уравнению:

$$P_{\text{прив}} = P_{\text{ман}} + P_{\text{нач}} - \Delta P, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ман}}$  – манометрическое давление, кг/см<sup>3</sup>,  $P_{\text{нач}}$  – начальное давление, кг/см<sup>3</sup>,  $\Delta P$  – уменьшенное давление столбика ртути в капилляре дилатометра, кг/см<sup>3</sup>, происходящее в результате ее вдавливания в поры материала. Принцип работы поромера основан на фиксировании датчиком емкости изменения объема ртути при вдавливании в поры в зависимости от их размера. Сигналы емкостного датчика обрабатывались на микро-ЭВМ приборе.

## Экспериментальная часть

На рис. 1, 2 представлен исследуемый образец, который по цвету идентичен керамическим кирпичам, находящимся в стене здания, а это, по-видимому, свидетельствует, что керамические материалы принадлежат к одной партии изготовления. Химические составы исследуемого образца: поэлементный представлен в табл. 1, а оксидный – в табл. 2.

Таблица 1

Поэлементный химический состав образца

Table 1

Element-by-element chemical composition of the sample

Содержание элементов, %								
С	О	Na	Mg	Al	Si	К	Ca	Fe
9,48	49,10	2,10	2,03	8,91	18,44	1,77	4,48	3,42

Таблица 2

Оксидный химический состав образца

Table 2

Oxide chemical composition of the sample

Содержание оксидов, масс. %					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O
57,92	9,43	6,58	9,42	2,87	3,78

Примечание: R<sub>2</sub>O = Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O.

Электронно-микроскопические фото, интегральные и дифференциальные порограммы керамических образцов для исследования структуры пористости представлены на рис. 2 и 3.

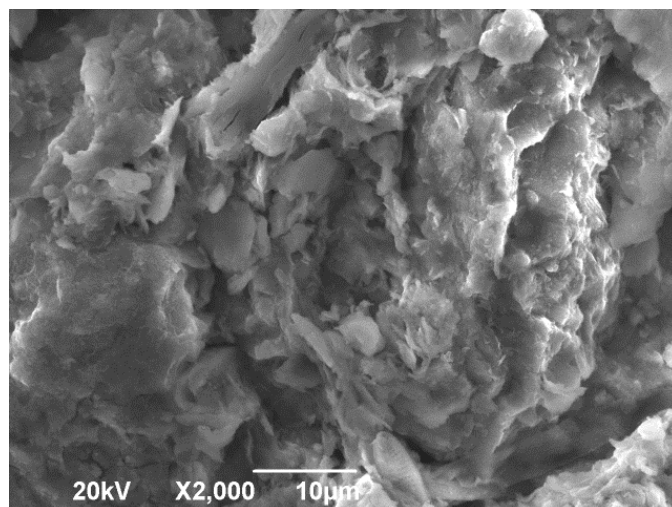


Рис. 2. Электронное фото на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM 6390A с EDS приставкой Jeol JED-2200. Увеличение:  $\times 2000$

Fig. 2. Electronic photo on a scanning electron microscope Jeol JSM 6390A with an EDS prefix Jeol JED-2200. Magnification:  $\times 2000$

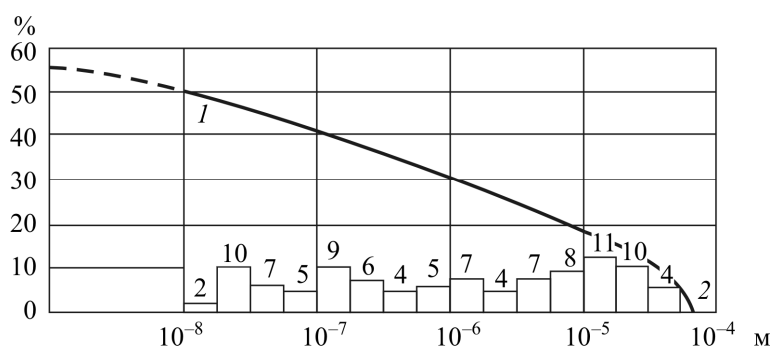


Рис. 3. Порограммы исследуемых образцов: 1 – интегральные порограммы (сумма объема пор  $0,157 \text{ cm}^3/\text{г}$ ); 2 – дифференциальные порограммы (% содержания пор по радиусу)

Fig. 3. Porograms of the studied samples: 1 – integral porograms (the sum of the pore volume  $0.157 \text{ cm}^3/\text{g}$ ); 2 – differential porograms (% pore content by radius)

## Обсуждение результатов

Исследования показали, что изучаемый образец содержит повышенное количество углерода ( $C = 9,48$ , см. табл. 1). Очевидно, это связано с тем, что в качестве связующего (глинистого сырьевого материала) использовалась легкоплавкая глина с повышенным содержанием органики или в кармическую массу вводили выгорающую добавку, например мелко измельченный уголь (размером не более 1 мм). Выгорающая добавка не только повышает пористость изделий, но также способствует обжигу внутри изделия, что способствует равномерному спеканию керамики. В процессе обжига по мере диффузии кислорода зона выгорания непрерывно перемещается внутрь изделия, при этом повышает местную температуру, поэтому выгорание органики в керамических материалах будет иметь зональный характер.

Выгорающая добавка создает восстановительную среду в обжигаемом керамическом кирпиче, что способствует железистым оксидам (содержание в образце  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 7,93$ , повышенное, см. табл. 2) из окисного состояния переходить в закисные, которые обладают большой реакционной способностью. Реакционная способность инициирует образование железистых стекол, которые частично (в зависимости от вязкости расплава) могут закрывать поры и упрочняют керамический черепок.

Повышенное содержание органики в исследуемом керамическом образце, по-видимому, связано с тем, что она не полностью выгорела при обжиге кирпича. Температура обжига керамического облицовочного кирпича находится, как правило, в пределах интервала температур 1000–1100 °С (но чаще 1000–1050 °С). Если в качестве выгорающей добавки использовался бурый уголь, который имеет температуру горения 1900 °С, а возгорание происходит при 250 °С, то возможны остатки несгоревшей органики в материале при обжиге исследуемого образца при 950–1000 °С. А при использовании каменного угля, температура горения которого может достигать 2100 °С, а возгорание происходит при температуре 400 °С, возможны остатки углерода в исследуемом образце при обжиге 1000–1050 °С.

Повышенное содержание в керамической массе оксидов щелочей ( $\text{R}_2\text{O} > 3,5$  %, см. табл. 2) способствует в интервале температур 950–1000 °С появлению жидкой фазы, которая, возможно, затекает в мелкие поры и тем самым снижает пористость изделия [10, 11]. Наличие жидкой фазы (стеклофазы) в исследуемом образце показано на рис. 2, в).

В работе [12–14] проведенные исследования показали, что в керамическом кирпиче в основном встречаются поры трех видов – щелевидные, изометрические и поры овальной формы, что подтверждается и представленными исследованиями (см. рис. 2). Изометрические поры встречаются в виде «каналов». Представленные исследования показывают, что в исследуемом кирпиче поры в основном овальной (округлой) формы.

Неоднородность керамического материала, следовательно наличие пор, не способствуют повышению прочности и морозостойкости керамического кирпича, причем, по данным автора статьи [12], вредное влияние на механическую прочность вытянутых (щелевидных) пор оценивается приблизительно в 5 раз больше, чем округлых. Кроме этого, наличие щелевидных пор показывает, что процессы спекания не завершились [12].

Интегральные и дифференциальные порограммы исследуемых образцов, полученных методом ртутной порометрии, показали, что суммарный объем микропор размером от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  м составляет 0,157 см<sup>3</sup>/г (см. рис. 3). Дифференциальное распределение микропор в зависимости от их размера следующее, %:  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  м – 27;  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  м – 24;  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  м – 24;  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  м – 25.

В микропорах керамического кирпича размером менее  $10^{-7}$  м (0,1 мкм) содержится связанная вода, которая не переходит даже при очень низких температурах (до – 70 °С) в лед, поэтому такие поры, как правило, заметного влияния на физико-механические показатели кирпича не оказывают [7, 15–17]. Содержание таких безопасных микропор ( $10^{-7}$ – $10^{-8}$  м) в исследуемом образце 25 % (см. рис. 3). К безопасным также относятся резервные микропоры, которые вода при насыщении заполняет, но не удерживается в них [7, 13]. К резервным относятся микропоры размером  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  м, содержание которых в образце 27 % (см. рис. 3).

По мнению некоторых ученых [7, 15, 18], к «опасным» порам можно отнести поры размером  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  м, сообщающиеся между собой. «Опасными» порами в керамических материалах являются капиллярные размером  $10^{-6}$ – $10^{-7}$  м. Содержание «опасных» микропор в исследованном образце составляет 24 %, а содержание таких «опасных» пор в стеновой керамике может находиться в пределах 40–60 % [7, 15].

## Выводы

1. Проведенные исследования показали, что изучаемый образец содержит повышенное количество углерода ( $C = 9,48$ ), что связано с использованием в качестве связующего легкоплавкой глины с повышенным содержанием органики или в кармическую массу вводили выгорающую добавку, например мелко измельченный уголь (размером не более 1 мм).

2. Установлено, что выгорающая добавка не только повышает пористость изделий, но также способствует обжигу внутри изделия и равномерному спеканию керамики. В процессе обжига по мере диффузии кислорода зона выгорания непрерывно перемещается внутрь изделия, при этом повышает местную температуру, поэтому выгорание органики в керамических материалах имеет зональный характер.

3. Выявлено, что выгорающая добавка создает восстановительную среду в обжигаемом керамическом кирпиче, что способствует железистым оксидам (содержание в образце  $Fe_2O_3 = 7,93$  – повышенное) переходить из окисного состояния в закисные, которые обладают большой реакционной способностью. Реакционная способность инициирует образование железистых стекол, которые (в зависимости от вязкости) частично закрывают поры и упрочняют керамический черепок.

4. Установлено, что повышенное содержание в керамическом кирпиче оксидов щелочей ( $R_2O > 3,5\%$ ) способствуют в интервале температур 950–1000 °С образованию жидкой фазы, которая, возможно, затекает в мелкие поры и тем самым снижает пористость изделия.

5. Выявлено, что в керамическом кирпиче в основном встречаются чаще всего поры трех видов – щелевидные, изометрические и поры овальной формы, что подтверждается и проведенными исследованиями. Изометрические поры встречаются в виде «каналов». Исследования показывают, что в изучаемом кирпиче поры в основном овальной (округлой) формы.

6. Установлено, что неоднородность керамического материала, следовательно наличие пор, не способствуют повышению прочности и морозостойкости керамического кирпича, причем вредное влияние на механическую прочность вытянутых (щелевидных) пор приблизительно в 5 раз больше, чем округлых. Кроме этого, наличие щелевидных пор показывает, что процессы спекания не завершились.

7. Интегральные и дифференциальные порограммы исследуемых образцов, полученных методом ртутной порометрии, показали, что суммарный объем микропор размером от  $10^{-4}$  до  $10^{-8}$  м составляет  $0,157 \text{ см}^3/\text{г}$ . Дифференциальное распределение микропор в зависимости от их размера следующее, %:  $10^{-4}-10^{-5}$  – 27;  $10^{-5}-10^{-6}$  м – 24;  $10^{-6}-10^{-7}$  м – 24;  $10^{-7}-10^{-8}$  м – 25.

*Финансирование.* Исследование не имело спонсорской поддержки.

*Конфликт интересов.* Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Вклад авторов.* Вклад 100 %.

## Библиографический список

1. Дятлова Е.М., Климош Ю.А. Химическая технология керамики и огнеупоров. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2014. – 224 с.

2. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Relationship between phase and chemical compositions and the durability of ceramic material over 800 years in age from the fortress wall of Gerona (Spain) // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2021. – Vol 55, no. 4. – P. 754–759.



3. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Relationship of phase and chemical compositions of durable ceramic material from the fortification wall of the city of Thessaloniki (Greece) aged more than 1,000 years // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2021. – Vol. 61, no. 5. – P. 536–539.

4. Евсеев Л.Д. Долговечность облицовочных слоев наружных стен многоэтажных зданий с повышенным уровнем теплоизоляции // *Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвуз. сб. науч. тр.* – Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. – Вып. 3. – С. 3–17.

5. Малахова А.Н., Балакшин А.С. Дефекты наружных кирпичных стен зданий, достраиваемых после длительного перерыва // *Вестник МГСУ*. – 2011. – № 8. – С. 140–144.

6. Фасеева Г.Р., Салахов А.М., Хацринов А.И. Структура пор и сравнительные характеристики кирпича // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2010. – № 8. – С. 220–223.

7. Гальперина М.К., Егерев В.М. Взаимосвязь пористой пористо-капиллярной структуры и морозостойкости фасадных керамических плиток // *Труды НИИ стройкерамики*. – 1985. – Вып. 55. – С. 5–15.

8. Юсупов Э.С. *Словарь терминов архитектуры*. – СПб.: Фонд «Ленинградская галерея», 1994. – 416 с.

9. Формирование пористой структуры керамического материала из глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд / И.А. Тогжанов, С.Ж. Сайбулатов, В.З. Абдрахимов, А.Ш. Чердобаев // *Журнал прикладной химии*. – 1989. – Т. 25. – С. 874–875.

10. Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В. Возможности образования твердых растворов при обжиге керамических материалов // *Вестник СГАСУ*. – 2016. – № 2. – С. 43–47.

11. Оценка влияния состава шихты на прочностные характеристики керамического кирпича / А.В. Кудрякова, Я.И. Черняшкина, Е.С. Пикалов, Е.С. Ильина // *Успехи современного естествознания*. – 2016. – № 1. – С. 26–30.

12. Павлов В.Ф. *Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики*. – М.: Стройиздат, 1977. – 272 с.

13. Гузман И.Я. Некоторые принципы образования пористых керамических структур, свойства и применение // *Стекло и керамика*. – 2003. – № 9. – С. 28–31.

14. Андреева Ж.В., Захарова А.И. Пористая керамика с регулярной структурой // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2012. – № 6. – С. 11–14.

15. Гальперина М.К., Ерохина А.В. Кинетика изменения структуры пористости в процессе обжига глин различного минералогического состава // *Труды НИИ стройкерамики*. – 1981. – Вып. 45. – С. 3–18.

16. Влияние содержания выгорающих добавок на свойство пористой проницаемой керамики из электроплавильного корунда (ЭПК) с различными упрочняющими связками / А.В. Беляков, Е. Зо, У. Мо, Н.А. Попова, Йе Аунг Мин // *Техника и технология силикатов*. – 2017. – № 2. – С. 18–22.

17. Kornmann M. *Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties*. – Paris: Lasim, 2007. – 308 p.

18. Огородник И.В. Особенности производства эффективной стеновой керамики // *Строительные материалы и изделия*. – 2012. – № 3 (74). – С. 23–26.

## References

1. Dyatlova E.M., Klimosh Yu.A. Chemical technology of ceramics and refractories. Minsk, Belarusian State Technological University, 2014, 224 p.
2. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Relationship between phase and chemical compositions and the durability of ceramic material over 800 years in age from the fortress wall of Gerona (Spain). *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2021, vol. 55, no. 4, pp 754–759.
3. Abdrakhimova, E.S., Abdrakhimov, V.Z. Relationship of phase and chemical compositions of durable ceramic material from the fortification wall of the city of Thessaloniki (Greece) aged more than 1,000 years. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2021, vol. 61, no. 5, pp. 536–539.
4. Evseev L.D. Durability of facing layers of exterior walls of multi-storey buildings with an increased level of thermal insulation. *Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering. Interuniversity collection of scientific papers Improving energy efficiency of buildings and structures*, 2008, iss. 3, pp. 3–17.
5. Malakhova A.N., Balakshin A.S. Defects of external brick walls of buildings being completed after a long break. *Bulletin of MGSU*, 2011, no. 8, pp. 140–144.
6. Faseeva G.R., Salakhov A.M., Khatsrinov A.I. Pore structure and comparative characteristics of bricks. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2010, no. 8, pp. 220–223.
7. Galperina M.K., Egerev V.M. Interrelation of porous porous-capillary structure and frost resistance of facade ceramic tiles. *Trudy NII stroikeramiki*, 1985, iss. 55, pp. 5–15.
8. Yusupov, E.S. Dictionary of Architectural Terms. Saint Petersburg, Leningrad Gallery Fund, 1994, 416 p.
9. Togzhanov I.A., Saibulatov S.Zh., Abdrakhimov V.Z., Cherdobaev A.Sh. Formation of porous structure of ceramic material from clay part of gravity "tails" of zircon-ilmenite ores. *Journal of Applied Chemistry*, 1989, vol. 25, pp. 874–875.
10. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V. Possibilities of formation of solid solutions during firing of ceramic materials. *Bulletin of the SSAU*, 2016, no. 2, pp. 43–47.
11. Kudryakova A.V., Chernyashkina Ya.I., Pikalov E.S., Ilyina E.S. Evaluation of the influence of the charge composition on the strength characteristics of ceramic bricks. *Successes of modern Natural Science*, 2016, no. 1, pp. 26–30.
12. Pavlov V.F. Physico-chemical bases of firing of construction ceramics products. Moscow, Stroyizdat, 1977, 272 p.
13. Guzman I.Ya. Some principles of formation of porous ceramic structures, properties and application. *Glass and ceramics*, 2003, no. 9, pp. 28–31.
14. Andreeva Zh.V., Zakharova A.I. Porous ceramics with a regular structure. *Advances in chemistry and chemical technology*, 2012, no. 6, pp. 11–14.
15. Galperina M.K., Erokhina A.V. Kinetics of porosity structure changes during firing of clays of various mineralogical composition. *Trudy NII stroikeramiki*, 1981, iss. 45, pp. 3–18.
16. Belyakov A.V., Zo E, Mo U, Popova N.A., Ye Aung Min The effect of the content of burn-out additives on the property of porous permeable ceramics made of electro-melting corundum (EPC) with various strengthening ligaments. *Technique and Technology silicates*, 2017, no. 2, pp. 18–22.
17. Kornmann Michel. Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties. Paris, Lasim, 2007, 308 p.
18. Ogorodnik I.V. Features of the production of effective wall ceramics. *Building materials and products*, 2012, no. 3 (74), pp. 23–26.