

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 2. С. 185–193.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (2): 185–193.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.316:691.51:658.567.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-185-193

EDN: RLNWVI

СИЛИКАТНЫЕ АВТОКЛАВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНОГО АНГИДРИТОВОГО СЫРЬЯ

Любовь Александровна Аниканова

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В статье рассматриваются вопросы использования вторичного ангидритового сырья (фторангидрита) в качестве добавки при синтезе известково-кремнеземистого вяжущего, применяемого для производства силикатных материалов автоклавной обработки, что позволяет экономить природное сырье и решать экологические задачи. Показана возможность получения силикатного кирпича с требуемыми нормативными характеристиками по прочности, плотности, водопоглощению.

Цель работы – обоснование возможности утилизации вторичного ангидритового сырья для производства силикатных изделий, разработка способов подготовки исходных материалов, составов и режимов переработки сырья в готовые изделия.

При этом решались следующие задачи: выбор и исследование основных материалов, способов их подготовки для производства силикатных изделий, обоснование технологических приемов и оценка параметров качества разработанных материалов с требуемыми свойствами.

Материалы и методы. В работе использован фторангидрит после стадии тепловой обработки, кварцевый песок (ГОСТ 22551–2019), воздушная строительная известь (ГОСТ 9179–2018). Выбор способов подготовки сырьевых материалов обоснован нормативными требованиями к сырью при подготовке вяжущего и сырьевой массы для производства силикатных изделий. Оценка параметров качества проводилась в соответствии с требованиями ГОСТ 379–2015.

Результаты исследований. Установлена возможность утилизации фторангидрита при синтезе известково-кремнеземистого вяжущего вещества, используемого для получения силикатного кирпича при автоклавной обработке. В результате исследования по представленной технологии были получены образцы силикатного кирпича со следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность – 1750–1900 кг/м³, прочность при сжатии – 10–12,5 МПа, водопоглощение – 16–17 %. Полученные образцы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к силикатному кирпичу, по прочности, плотности, водопоглощению и соответствуют минимальным маркам М100, М125.

Практическая значимость. Представлены исследования силикатных стеновых материалов с использованием вторичного сырья с требуемыми свойствами. Установлены технологические режимы автоклавирования, определены основные эксплуатационные характеристики силикатного кирпича. Предложенные способы подготовки сырья и технологические режимы производства силикатных стеновых материалов позволяют решать экологические задачи и экономить природное известняковое сырье.

Новизна. Установлены особенности производства силикатного кирпича с применением вторичного ангидритового сырья и зависимости, позволяющие регулировать состав и свойства силикатных материалов.

Ключевые слова: методология тестирования, известково-кремнеземистое вяжущее, способы подготовки сырьевой смеси, кварцевый песок, модифицированный фторангидрит, силикатный кирпич

Для цитирования: Аниканова Л.А. Силикатные автоклавные материалы с использованием вторичного ангидритового сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 2. С. 185–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-185-193. EDN: RLNWVI

ORIGINAL ARTICLE

SILICATE BRICK PRODUCTION USING ANHYDRITE RAW MATERIAL

Ljubov' A. Anikanova

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The aim of this work is to substantiate recycling of anhydrite raw materials for the production of silicate products and the development of methods for preparing source materials, compositions and process modes.

Methodology/approach: Selection and research of basic materials, methods of their preparation for the production of silicate products; justification of process methods and assessment of quality parameters of materials with the required properties.

Research findings: The possibility of utilizing acid fluoride during the synthesis of calcareous-siliceous binder used to produce silicate bricks during autoclave processing. The obtained sand-lime brick samples possess the following physical and mechanical properties: 1750 to 1900 kg/m³ average density, 10 to 12.5 MPa compressive strength, 16 or 17 % water absorption. The samples meet the requirements for sand-lime bricks, namely strength, density, water absorption and correspond to grades 100 and 125.

Practical implications: The process modes of autoclaving are detected and the main operational characteristics of sand-lime brick are determined. Methods proposed for preparing raw materials and process conditions of silicate wall materials allow solving environmental problems and saving natural limestone raw materials.

Novelty: Sand-lime brick production is based on anhydrite raw materials; suggested dependencies make it possible to control the composition and properties of silicate materials.

Keywords: testing methodology, lime-silica binder, raw mixture, quartz sand, acid fluoride, sand-lime brick

For citation: Anikanova L.A. Silicate brick production using anhydrite raw material. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (2): 185–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-2-185-193. EDN: RLNWVI

Введение

В настоящее время в России возрастают объемы производства строительных стеновых материалов с применением вторичного сырья, что существенно сокращает использование природного сырья, снижает стоимость готовых изделий и позволяет решать экологические вопросы.

К числу востребованных стеновых изделий относятся автоклавные силикатные материалы, производство которых связано с минимальным расходом топлива, электроэнергии, небольшой длительностью технологического

цикла. Так, расход топливно-энергетических ресурсов на производство силикатного кирпича в 2 раза ниже по сравнению с аналогичными изделиями при производстве керамики, а использование данного материала для строительства широкого спектра объектов и возможность повторного применения в производственном цикле с привлечением вторичного сырья позволяют отнести такие материалы к востребованным для современного строительства.

В России в настоящее время получила широкое распространение традиционная технология с использованием известково-кремнеземистого вяжущего и песка. Производство обладает высокой степенью автоматизации и возможностью применения различных сырьевых материалов, в том числе отходов промышленности [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В качестве отходов в основном используют силикатную составляющую – золошлаковое вторичное сырье, в качестве известковой составляющей – различные виды извести. Предварительно проведенные исследования и анализ литературных данных позволили предложить вторичное ангидритовое сырье в качестве добавки для получения известково-кремнеземистого вяжущего.

В качестве альтернативного сырья можно применять фторангидрит – побочный продукт химических предприятий городов Ангарск, Ачинск, Северск, Полевской, Пермь, Кирово-Чепецк, складированный в отвалах ежегодно в объеме свыше полутора миллиона тонн [7, 8, 9].

Химический и гранулометрический состав вторичного сырья нестабилен, поэтому автором разработана методология тестирования и диагностики фторангидритового сырья (рис. 1), которая позволяет систематизировать научные данные о его составе, свойствах с целью направленного использования в технологиях производства строительных материалов, в том числе для производства силикатных изделий.



Рис. 1. Методология тестирования фторангидрита для производства строительных материалов
Fig. 1. Methodology for testing fluorohydrate for constructional material production

В зависимости от механизма участия в процессах структурообразования и основных способов воздействия применять данное сырье можно в различных технологиях строительных материалов. В зависимости от способа подготовки (рис. 2) возможно использование вторичного минерального сырья для

производства вяжущих веществ, стеновых материалов с пористой и плотной структурой, отделочных материалов.



Рис. 2. Область применения кислого фторангидрита

Fig. 2. Application area of acidic fluorohydrate

Правильный выбор исходного сырья и разработка инновационных технологических процессов изготовления строительных материалов вносят заметный вклад в решение проблемы ресурсо- и энергосбережения в строительной отрасли России [10, 11, 12].

В ранее представленных работах изучены процессы, протекающие при обжиге фторангидритового сырья [13, 14]. Отмечено, что спекание фторангидрита начинается при температуре 740 °C, а при более высоких температурах происходит разложение сырья, сопровождающееся образованием оксида кальция, являющегося сырьевым компонентом для производства силикатного кирпича.

Материалы и методы

В работе использованы материалы, содержащие известковый компонент (обожженный при 950 °C кислый фторангидрит), воздушная строительная известь (ГОСТ 9179–2018), песок (ГОСТ 8736–93). Для обжига применена муфельная печь, время изотермической выдержки – 2 ч. Получение вяжущего осуществлялось совместным помолом сырьевых компонентов, представленных воздушной известью, фторангидритом и кварцевым песком в течение 4 ч, в шаровой вращающейся мельнице ШЛМ-5. Формование лабораторных образцов происходило в металлических формах с геометрическими размерами 50×125×15 мм при давлении 25 МПа.

Результаты исследований

Силикатный кирпич представляет собой конгломерат на основе известково-кремнеземистого камня, синтезируемого в процессе автоклавной термообра-

ботки. Основными составляющими сырьевой смеси, из которых формуются изделия, служат известковый и кремнеземистый компоненты. Они являются источником CaO и SiO₂, активно вступающими в химическое взаимодействие при термовлажностной обработке образца. Основную роль в процессе синтеза силикатного кирпича, в последующем формировании его физико-химических и физико-механических свойств играют технологические особенности его производства, которые включают следующие аспекты: способы подготовки сырьевых компонентов и известково-кремнеземистого вяжущего, шихты на их основе; изготовление образцов, режимы термовлажностной обработки (температура, время изотермической выдержки, давление) с использованием автоклава.

Подготовка вяжущего вещества осуществлялась по нескольким технологическим этапам, включающим обжиг фторангидрита, термообработка которого производилась в муфельной печи при температуре 900 °С. При этом скорость подъема температуры составила 4,5 °С/мин. Время изотермической выдержки – 2 ч. Охлаждение материала производилось постепенно в выключенной печи. Затем в течение 4 ч происходил совместный помол сырьевых компонентов (воздушной извести, фторангидрита и кварцевого песка) в соответствии с представленной методикой. Процентное соотношение сырьевых материалов с целью получения известково-кремнеземистого вяжущего варьировалось согласно данным табл. 1. Тонкость помола полученного вяжущего соответствовала удельной поверхности 2500–3000 см²/г.

Таблица 1

Ингредиентный состав сырьевой смеси для производства силикатного кирпича

Table 1

Raw mixture composition for silicate brick production

№ п/п	Вяжущее, %			Кварцевый песок, %	Вода, %
	Воздушная известь	Фторангидрит	Кварцевый песок		
1	20	–	20	60	10
2	15	5	20	60	10
3	10	10	20	60	10
4	5	15	20	60	10
5	25	–	25	50	10
6	18,75	6,25	25	50	10
7	12,5	12,5	25	50	10
8	6,25	18,75	25	50	10

Следующие технологические этапы производства силикатного кирпича включали приготовление шихты, представленной в виде смеси известково-кремнеземистого вяжущего и кварцевого песка (фракция 1,25–0,14), с последующим увлажнением заданным количеством воды и вылеживанием массы в течение 9 ч до полного гашения извести.

Полученные после формования образцы устанавливались в герметично закрывающийся автоклав, и осуществлялся процесс автоклавирования. Для высококачественной автоклавной обработки сырца были подобраны оптимальные технологические режимы изменения давления, которые даны в виде графика на рис. 3.

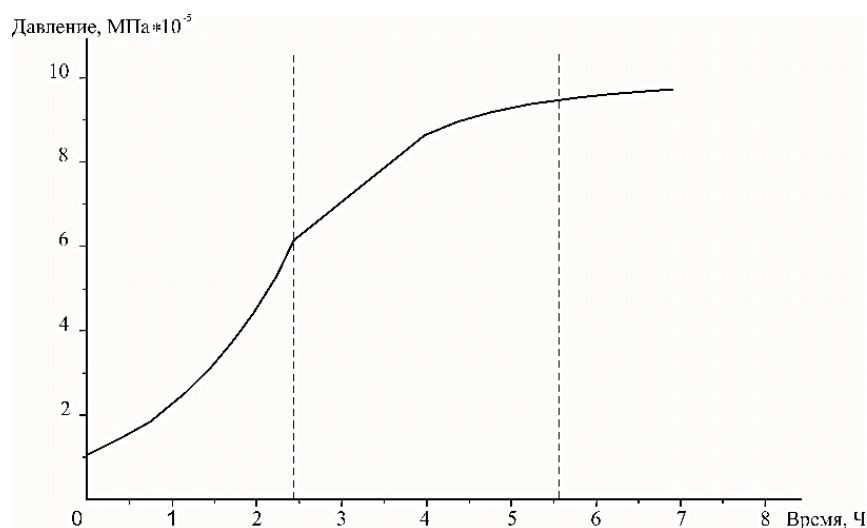


Рис. 3. Технологический режим автоклавирования

Fig. 3. Autoclaving process conditions

При проведении эксперимента в автоклаве производился постепенный вывод параметров давления и температуры в рабочий режим. Так, подъем давления за время 2,5 ч составил от 0 до $6 \cdot 10^{-5}$ МПа. В последующие 3 ч давление равномерно поднималось до $10 \cdot 10^{-5}$ МПа, при достижении которого в течение последующих 3,5 ч происходили изобарные процессы. Температура в процессе автоклавирования составляла 175–190 °С. По окончании изобарных процессов осуществлялся постепенный сброс давления в течение 2 ч.

После технологического процесса автоклавирования полученные образцы силикатного кирпича извлекались из автоклава, и дальнейший процесс набора прочности проходил в естественных условиях.

Прочность силикатного кирпича во время автоклавирования формировалась в результате следующих основных процессов: структурообразования, обусловленного синтезом гидросиликата кальция, и деструкции, обусловленной внутренними напряжениями. При этом в результате автоклавной обработки кварцевый песок, входивший в состав шихты, приобретает высокую активность, вступает в химическое взаимодействие с известью и образует низкоосновные гидросиликаты кальция, которые обеспечивают интенсивный набор прочности образцов [15]. Только применение высокой температуры и давления при запаривании в автоклаве позволяет реализовать процесс твердения извести и обеспечить в результате максимальные физико-механические свойства образцов силикатного кирпича.

Эксплуатационные характеристики силикатных изделий представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные эксплуатационные характеристики силикатного кирпича

Table 2

Main operation properties of silicate brick

№ п/п	Основные эксплуатационные характеристики силикатного кирпича (ГОСТ 379–2015)		
	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Водопоглощение, %
1	1750	7,5	17,0
2	1770	7,8	17,0
3	1780	8,0	16,9
4	1785	8,3	16,7
5	1790	8,5	12,5
6	1850	9,0	13,8
7	1870	12,5	14,5
8	1900	10,5	12,0

В результате исследования по представленной технологии были получены образцы силикатного кирпича со следующими физико-механическими характеристиками: средняя плотность – 1750–1900 кг/м³, прочность при сжатии – 10,0–12,5 МПа, водопоглощение – 12–17 %. Полученные образцы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к силикатному кирпичу, по прочности и соответствуют минимальным маркам 100, 125, а также по плотности, водопоглощению, полученные значения которых находятся в пределах требуемых 1750–1900 кг/м³ и менее 12 % соответственно.

Заключение

В результате исследования по представленной технологии были получены образцы силикатного кирпича со следующими физико-механическими характеристиками: класс по средней плотности – 1,8–2,0, прочность при сжатии – 7,5–12,5 МПа, водопоглощение – 12–17 %, марка по морозостойкости составляет F25–F35. Полученные образцы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к силикатному кирпичу, по прочности и соответствуют минимальным маркам M100, M125.

Таким образом, установлена возможность утилизации фторангидрита при синтезе известково-кремнеземистого вяжущего вещества, используемого для получения силикатного кирпича при автоклавной обработке.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. Москва : Стройиздат, 1982. 384 с.
2. Скрипникова Н.К., Юрьев И.Ю. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов // Вестник

- Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 2 (39). С. 245–249.
3. Кузнецов Л.В., Меньшикова Т.Н. Декоративный силикатный кирпич с добавкой шлама кислородно-конвертерного производства // Строительные материалы. 2007. № 10. С. 18–19.
 4. Лесовик В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 1994. № 7–8. С. 96–100.
 5. Семенов А.А. Анализ состояния российского рынка силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 4–5.
 6. Кузнецова Г.В. Запаривание силикатного кирпича в автоклаве // Строительные материалы. 2015. № 10. С. 8–18.
 7. Аниканова Л.А., Волкова О.В., Кудяков А.И., Курмангалиева А.И. Активированное композиционное фторангидритовое вяжущее // Строительные материалы. 2019. № 1–2. С. 36–42.
 8. Кудяков А.И., Аниканова Л.А., Редлих В.В. Строительные композиты на основе фторангидрита с регулируемой структурой // Архитектура и строительство. 2012. № 1 (34). С. 106–111.
 9. Аниканова Л.А., Кудяков А.И., Волкова О.В. Стеновые и отделочные материалы с использованием фторангидрита // Труды Братского государственного университета. Естественные и инженерные науки. 2015. Т. 1. С. 230–234.
 10. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья // Строительные материалы. 2008. № 11. С. 42–45.
 11. Кузнецова В.Г. Оптимизация расчетов составов известково-песчаной смеси для формирования силикатного кирпича // Строительные материалы. 2010. № 9. С. 20–23.
 12. Яковлев Г.И., Кодолов В.И. Жидкофазное спекание фторангидрита при синтезе гипсокремнических материалов // Химия и химическая технология. 1999. Т. 42. № 1. С. 97–101.
 13. Аниканова Л.А., Кудяков А.И., Никитина О.В. Влияние полимерсиликатной жидкости на водостойкость композиционных фторангидритовых вяжущих // Материалы Веймарской гипсовой конференции, 26–27 марта. Веймар, 2014. С. 183–190.
 14. Аниканова Л.А. Использование вторичного гипсосодержащего сырья для производства строительных материалов // Материалы VII Международной научно-практической конференции, 14–16 марта 2017 г. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2017. С. 31–34.
 15. Сулимова, Е.В., Лapidус М.А., Гаркави М.С. Вопросы твердения ангидритовых вяжущих // Строительные материалы. 1993. № 7. С. 12–17.

REFERENCES

1. Khavkin L.M. Sand-lime brick technology. Moscow: Stroiizdat, 1982. 384 p. (In Russian)
2. Skripnikova N.K., Yur'ev I.Yu. Sand-lime brick technology Integrated use of ash and slag waste from the Tomsk region to produce various types of building materials. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013; 2 (39): 245–249. (In Russian)
3. Kuznetsov L.V., Men'shikova T.N. Decorative sand-lime brick with oxygen-converter production sludge. *Stroitel'nye materialy*. 2007; 10: 18–19. (In Russian)
4. Lesovik V.S. Genetic basis of energy saving in the building materials industry. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 1994; 7–8: 96–100. (In Russian)
5. Semenov A.A. Market analysis of sand-lime brick in Russia. *Stroitel'nye materialy*. 2010; 9: 4–5. (In Russian)
6. Kuznetsova G.V. Steaming sand-lime brick in autoclave. *Stroitel'nye materialy*. 2015; 10: 8–18. (In Russian)
7. Anikanova A.L., Volkova O.V., Kudyakov A.I., Kurmangalieva A.I. Activated composite fluoride binder. *Stroitel'nye materialy*. 2019; 1–2: 36–42. (In Russian)
8. Kudyakov A.I., Anikanova L.A., Redlikh V.V. Composite binding acid fluoride materials for fencing. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012; 1 (34): 106–111. (In Russian)
9. Anikanova L.A., Kudyakov A.I., Volkova O.V. Wall and finishing materials using acid fluoride. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2015; 1: 230–234. (In Russian)

10. Volodchenko A.N., Lesovik V.S. Silicate autoclave materials using nanodispersed raw materials. *Stroitel'nye materialy*. 2008; (11): 42–45. (In Russian)
11. Kuznetsova G.V. Steaming sand-lime brick in autoclave. *Stroitel'nye materialy*. 2015; 10: 8–18. (In Russian)
12. Yakovlev G.I., Kodolov V.I. Liquid-phase sintering of acid fluoride in synthesis of gypsum-ceramic materials. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 1999; 42 (1): 97–101. (In Russian)
13. Anikanova L.A., Kudyakov A.I., Nikitina O.V. Influence of polymersilicate liquid on water resistance of composite fluorohydrate binders. In: *Proc. Weimar Gypsum Conference*, March 26–27. Weimar, 2014. Pp. 183–190.
14. Anikanova L.A. Recycled gypsum-containing raw materials in building material production. In: *Proc. 7th Int. Sci. Conf.*, Tomsk, 2017. Pp. 31–34. (In Russian)
15. Sulimova E.V., Lapidus M.A., Garkavi M.S. Issues of hardening of anhydrite binders. *Stroitel'nye materialy*. 1993; (7): 12–17. (In Russian)

Сведения об авторе

Аниканова Любовь Александровна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, alasmit@mail.ru

Author Details

Ljubov' A. Anikanova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, alasmit@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.03.2024
Одобрена после рецензирования 20.03.2024
Принята к публикации 21.03.2024

Submitted for publication 11.03.2024
Approved after review 20.03.2024
Accepted for publication 21.03.2024