

УДК 691.4:67.08

ФАКТОРЫ ПОРИСТОСТИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. Н.^{1*}, д. т. н., проф.,
ГРИШКО А. Н.^{2*}, к. т. н., доц.,
КУШНЕРОВА Л. А.³, к. т. н., доц.,
МОРОЗ Л. В.⁴, к. т. н., доц.,
БЕГУН А. И.⁵, к. т. н., доц.

^{1*} кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

^{2*} кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

³ кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: lily300184@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-0759-4553

⁴ кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

⁵ кафедра эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Ворошилова 25, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(0562) 713-51-37

Аннотация. Цель. Создание оптимальной пористости керамического кирпича за счет модификации техногенными минеральными системами. **Методика.** Исследование микро- и макропористости было выполнено на ртутном порозиметре Паскаль 140 и 440 Протек в Германии. **Результаты.** В результате проведения исследований установлено, что для состава на основе суглинка, железосодержащих отходов, ила Центральной станции аэрации (ЦСА) безопасная пористость составляет 50,18 % по отношению к общей пористости. Для керамического кирпича на основе отходов Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК), ила ЦСА и железосодержащих отходов безопасная пористость составляет 78,11 %. **Научная новизна.** Установлено, что увеличение содержания ила ЦСА, более оптимального приводит к снижению количества безопасных пор. Для трехкомпонентного состава на основе суглинка, ила и железосодержащих отходов общая пористость составляет 30 %. Полная замена суглинка на отходы ВГМК, ил ЦСА и железосодержащие отходы приводит к повышению безопасной пористости по сравнению с составом на основе суглинистого сырья. При снижении содержания ила, то есть при повышении содержания отходов ВГМК, повышается безопасная пористость. Общая пористость образца обожженного при температуре 850 °С составляет 25,61 %. **Практическая значимость.** По результатам проведенных испытаний керамического кирпича получен кирпич марок 100 и 200, морозостойкостью 25 и 35 циклов.

Ключевые слова: пористость; керамический кирпич; суглинок; отходы; минеральное сырье; безопасные поры

ФАКТОРИ ШПАРУВАТОСТІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ НА ОСНОВІ ТЕХНОГЕННОЇ СИРОВИНИ

ДЕРЕВ'ЯНКО В. М.^{1*}, д. т. н., проф.,
ГРИШКО Г. М.^{2*}, к. т. н., доц.
КУШНЕРОВА Л. О.³, к. т. н., доц.
МОРОЗ Л. В.⁴, к. т. н., доц.,
БЕГУН А. І.⁵, к. т. н., доц.

^{1*} кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

^{2*} кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37, e-mail: gryshko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

³ кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: lily300184@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-0759-4553

⁴ кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(0562) 47-16-22, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

⁵ кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, вул. Ворошилова 25, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 713-51-37

Анотація. Мета. Створення оптимальної шпаруватості керамічної цегли за рахунок модифікації техногенними мінеральними системами. **Методика.** Дослідження мікро- і макропористості було виконане на ртутному порозиметрі Паскаль 140 і 440 Протек в Німеччині. **Результати.** В результаті проведення досліджень встановлено, що для складу на основі суглинку, залізвмісних відходів, мулу центральної станції аерації (ЦСА) безпечна шпаруватість складає 50,18 % у відношенні до загальної шпаруватості. Для керамічної цегли на основі відходів Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ВГМК), мулу ЦСА і , залізвмісних відходів безпечна шпаруватість складає 78,11 %. **Наукова новизна.** Встановлено, що збільшення вмісту мулу ЦСА, більше оптимального призводить до зниження кількості безпечних шпар. Для трьохкомпонентного складу на основі суглинку, мулу і залізвмісних відходів загальна шпаруватість складає 30 %. Повна заміна суглинку на відходи ВГМК, мул ЦСА і залізвмісні відходи призводить до збільшення безпечної шпаруватості в порівнянні зі складом на основі суглинистої сировини. При зниженні вмісту мулу, тобто при збільшенні вмісту відходів ВГМК, підвищується безпечна шпаруватість. Загальна шпаруватість зразка випаленого при температурі 850°C складає 25,61 %. **Практична значимість.** За результатами проведених випробувань ефективної керамічної цегли одержано цеглу марки 100 та 200, морозостійкістю 25 і 35 циклів.

Ключові слова: шпаруватість; керамічна цегла; суглинок; відходи; мінеральні системи; безпечні шпори

POROSITY FACTORS OF FIRED BRICK BASED ON TECHNOGENIC RAW MATERIALS

DEREVIANKO V.N.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,

HRYSKO H.M.^{2*}, *Ph. D., Assoc. Prof.*,

KUSHNEROVA L.O.³, *Ph. D., Assoc. Prof.*,

MOROZ L.V.⁴, *Ph. D., Assoc. Prof.*,

BEGUN A.I.⁵, *Ph. D., Assoc. Prof.*

^{1*} department of Technology of building materials, products and structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", ul. Chernyshevskogo 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38(0562) 47-16-22, e-mail: derev@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4131-0155

^{2*} department of operation of irrigation and drainage systems and construction technology, Dnepropetrovsk State Agrarian-Economic University, ul. Voroshilov 25, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel.+38(0562) 713-51-37, e-mail: grysko_anna@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7046-1177

³ department of Technology of building materials, products and structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", ul. Chernyshevskogo 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel.. +38(0562) 47-16-22, e-mail: lily300184@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0003-0759-4553

⁴ department of Technology of building materials, products and structures, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", ul. Chernyshevskogo 24-a, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel.. +38(0562) 47-16-22, e-mail: linysek-slv@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3150-7472

⁵ department of operation of irrigation and drainage systems and construction technology, Dnepropetrovsk State Agrarian-Economic University, ul. Voroshilov 25, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel.+38(0562) 713-51-37

Annotation. Purpose. To obtain optimum porosity of fired brick through the modification with technogenic mineral systems. **Methodology.** A study of micro- and macroporosity was carried out in Germany through the use of a mercury porosimeter Pascal 140 and 440 Protec. **Findings.** Studies established that for obtaining a composition based on loam, ferrous wastes, AND sludge from the Central Aeration Station (CAS) safe porosity is 50,18 % of total porosity. For fired brick based on wastes from Volnogorsk Mining and Metallurgical Combine (VMMC), sludge from the CAS and ferrous wastes porosity is 78,11 %. **Originality.** It has been found that an increase in the content of better CAS sludge causes a decrease in the number of safe pores. For a ternary composition based on loam, sludge and ferrous wastes total porosity is 30 %. Complete substitution of loam with VMMC wastes, CAS sludge and ferrous wastes leads to a better safe porosity compared to a composition based on loamy raw materials. At reducing sludge content, i.e. increasing VMMC waste percentage safe porosity increases. Total porosity of a sample fired at a temperature of 850°C is 25,61 %. **Practical value.** Based on the conducted fired brick tests results, 100 and 200 grade bricks with frost resistance of 25 and 35 cycles have been obtained.

Keywords: Porosity; Fired Brick; Loam; Wastes; Mineral Raw Materials; Safe Pores

Введение

Известно, что для керамического кирпича важным показателем долговечности является морозостойкость, которая связана с его пористостью и способностью противостоять растягивающим усилиям замерзшей в порах воды, а также с прочностью стенок пор [1-5].

Поэтому для получения изделий с повышенной морозостойкостью должна быть решена проблема создания структуры с рациональной пористостью и достаточным количеством замкнутых пор.

Анализ публикаций

На процессы формирования структуры керамического кирпича влияет первоначальная структура сырца, которая зависит от добавок, формирующих пористость при высоких температурах. К таким добавкам относятся: карбонатсодержащие и топливосодержащие отходы, хвосты обогащения, сталеплавильные шлаки и др.

А. А. Наумовым [6] проводились исследования по повышению морозостойкости путем введения карбонатсодержащих отходов, образующихся в процессе производства минеральных удобрений, которые содержат 90 % CaCO₃. Минеральная добавка вводилась в количестве 5 % двумя способами: с предварительной пластической подготовкой глиномассы, последующей грануляцией и подсушкой гранул, а также непосредственно в чистое глинистое сырье [6]. Введение добавки с пластической подготовкой массы приводит к увеличению прочности при сжатии и изгибе, а также морозостойкости обожженных образцов до 100 циклов, по сравнению с образцами из чистого глинистого сырья [6].

По данным В. Н. Бурмистрова применение топливосодержащих добавок – зол ТЭС и хвостов обогащения позволяет уменьшить расход кондиционного топлива, также позволяет улучшить прочность и морозостойкость кирпича [7].

В своих исследованиях д.т.н. А. П. Зубехин, И. Г. Довженко и др. [8, 9] занимались повышением качества керамического кирпича на базе низкосортного глинистого сырья с применением вторичных сырьевых материалов электрометаллургического производства (сталеплавильных шлаков). Были использованы легкоплавкие кислые суглинки совместно со сталеплавильными шлаками (СШ), полученными на различных переделах электрометаллургического производства (СШ-1 и СШ-2). Перед формованием производился помол гранулированного шлака и просеивание через сито №09. Наибольшую прочность при сжатии (42,2 – 47 МПа) и изгибе (1,2 – 1,3 МПа), а также морозостойкость (47 циклов) имеют образцы на основе Маркинского суглинка и шлака СШ-2 в количестве 20 – 25 % [8].

В работах под руководством В. З. Абдрахимова [10] проводились исследования по влиянию

металлургического шлака на пористость керамического кирпича. Исследования показали, что ввод металлургического шлака в составы керамических масс сокращает количество «опасных» пор при температуре обжига 1050°C с 75 до 50 % [10].

В исследованиях А. Ю. Столбоушкина готовился порошок из опудренных гранул, где шламистая часть отходов обогащения железных руд и углеобогащения активно смешивалась в сухом состоянии в грануляторе с добавлением стеклобоя и части суглинка. Затем прессование, сушка и обжиг изделий осуществлялись в туннельной печи при температуре 1000°C в течении 42 часов. В результате чего был получен кирпич с маркой по прочности М 150, класс по средней плотности составляет 1,4 и показатели морозостойкости F50 (85 % отходы углеобогащения; 15 % суглинок) [11].

Одним из факторов высокой морозостойкости и долговечности конструкций является структура пористости керамического черепка, так как именно соотношение количества безопасных пор (менее 0,1 мкм) и опасных пор (0,1-200 мкм) определяет сопротивление стенового материала попеременному замораживанию и оттаиванию [4, 5] и являются актуальными.

Цель

Создание оптимальной пористости керамического кирпича, модифицированного техногенными минеральными системами.

Задачи

Определить влияние соотношения модифицирующих техногенных минеральных систем на оптимальную пористость, структуру и свойства керамического кирпича.

Методика и результаты

Методика

Исследование микро- и макропористости было выполнено в Германии (IKGB TU Bergakademie Freiberg) на ртутном порозиметре Паскаль 140 и 440, Протек.

Методика обеспечивает надежную информацию о распределении пор по размерам, объем порового пространства. Она основана на вторжение не смачивающей жидкой ртути в пористую систему с приложением давления. Максимальное давление ртути 400. Поверхностное натяжение ртути 480 дин/см. Плотность ртути при температуре 22 °C составляет 13,5414 г/см³. Используя уравнение Вашбурна (1), может быть вычислено соответствующее значение размера пор.

$$p = \frac{-2\gamma \cos \Theta}{r} \quad (1)$$

r - радиус поры;

γ - поверхностное натяжение ртути;

Θ - угол контакта;

p – давление.

Результаты

Для получения необходимой оптимальной пористости и морозостойкости изменяли содержание компонентов и определяли структуру керамического кирпича с оптимальными показателями прочности при различных температурах [1].

В ходе проведения исследований было определено распределение пор по размерам в

образце, общую пористость, содержание «опасных» (0,1-200 мкм) и «безопасных» (менее 0,1 мкм) пор.

Первоначально исследовали керамический кирпич, полученный по технологии жесткого формования, состоящий из: суглинка (25 % которого диспергировано совместно с 5 % железосодержащими отходами), ила ЦСА и железосодержащих отходов ПАО Интерпайп Днепропетровск «Втормет». Получен керамический кирпич марки 100, средней плотностью 1450 – 1550 кг/м³.

Распределение пор по размерам в образце, обожженном при температуре 870°C, состоящем из суглинистого вяжущего, железосодержащих отходов, ила ЦСА приведено на рисунке 1.

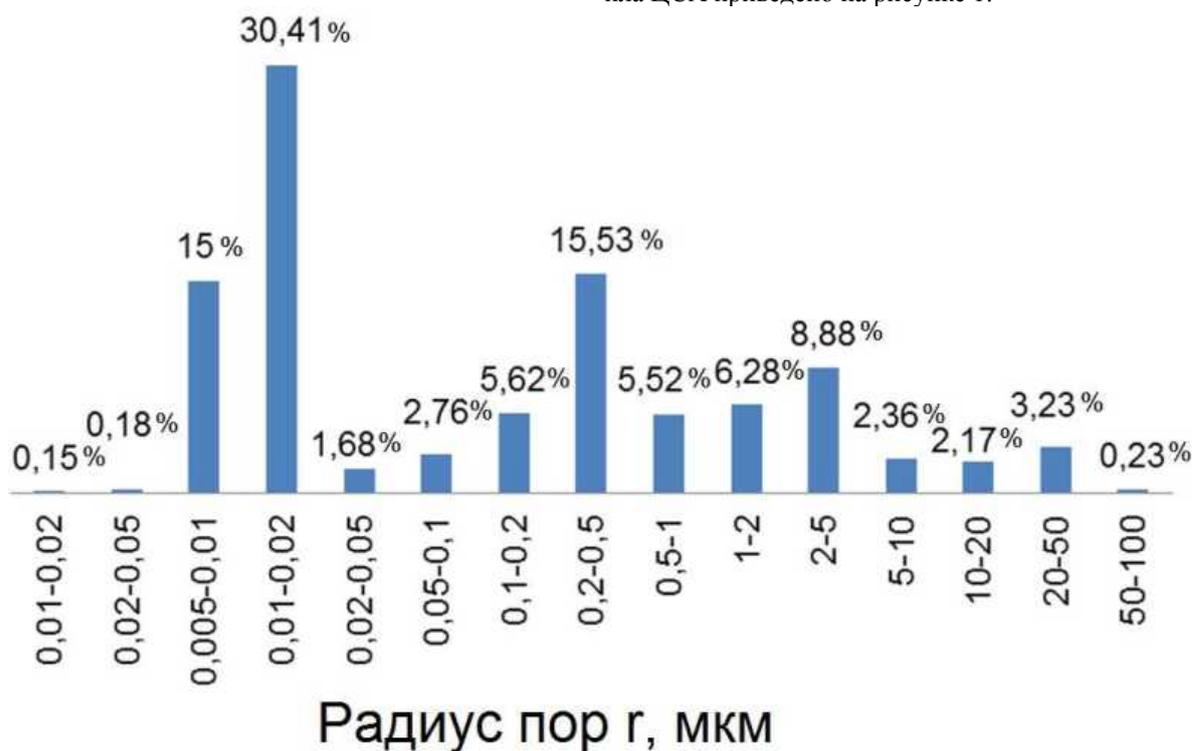


Рис. 1. Распределение пор по размерам в образце, обожженном при температуре 870°C и состоящем из 85 % суглинистого вяжущего, 25% которого диспергировалось совместно с 5 % железосодержащими отходами с последующим добавлением 10 % ила ЦСА / Fig. 1. Pore size distribution in a sample fired at a temperature of 870°C and consisting of 85 % of loamy binder, 25 % of which was dispersed together with 5 % of ferrous wastes with further addition of 10 % of CAS sludge

Количество безопасных пор при данном соотношении компонентов для трехкомпонентной смеси (рис. 1) составило 50,18 %, количество опасных пор – 49,82 % по отношению к общей пористости. С увеличением количества вводимого ила, более 10 % происходит увеличение опасной пористости с 49,82 до 60 % при общей пористости 30 % и понижение прочностных показателей. При увеличении количества железосодержащих отходов при постоянном содержании ила ЦСА до 10 % происходит возрастание количества безопасных пор с 50,18 % по 62 %. Однако при этом увеличивается средняя плотность. Так как общая пористость возрастает с 30 % до 40 % при увеличении

содержанию ила ЦСА более 10 %, а увеличение содержания железосодержащих отходов приводит к увеличению средней плотности керамического кирпича с 1550 до 1750 кг/м³, оптимальным количеством вводимых компонентов, обеспечивающих безопасную пористость, и достаточную морозостойкость является: суглинка – 85 % (25 % диспергировано, совместно с 5 % железосодержащими отходами), ила ЦСА – 10 %.

Далее для повышения количества безопасных пор, морозостойкости и прочности, и снижения общей пористости керамического кирпича, было полностью заменено суглинистое сырье на песчано-глинистую смесь, которая образуются при

переработке ильменитовых и циркониевых руд в титаново-циркониевый концентрат ВГМК, ил ЦСА, железосодержащие отходы ПАО Интерпайп Днепропетровск «Втормет».

В результате чего получен керамический кирпич марки 200, средней плотностью 1350-1400 кг/м³. Продолжительность режима обжига сокращена на 20 % [7-8].

Применение ильменитовой руды ВГМК с добавлением в качестве выгорающей добавки ила ЦСА и структурообразующей добавки – железосодержащих отходов позволяет получить при обжиге прочность при сжатии до 21,1 МПа [1].

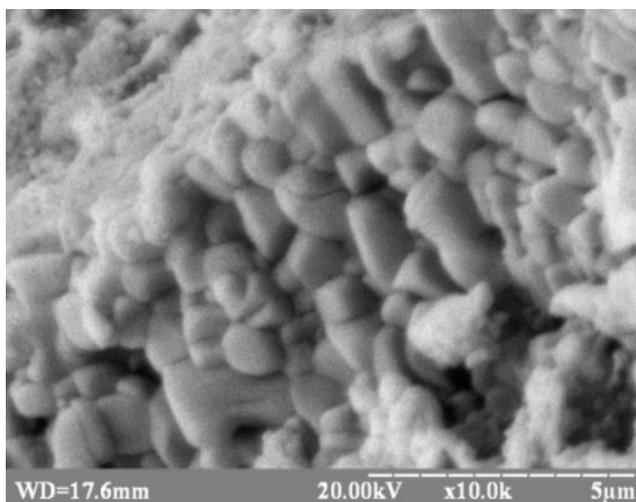
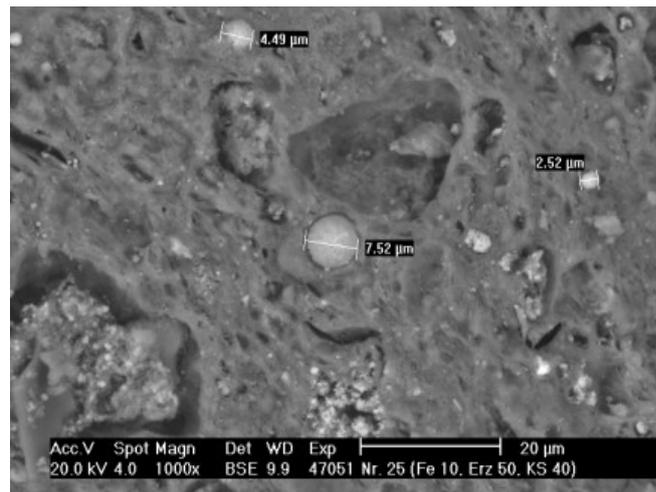
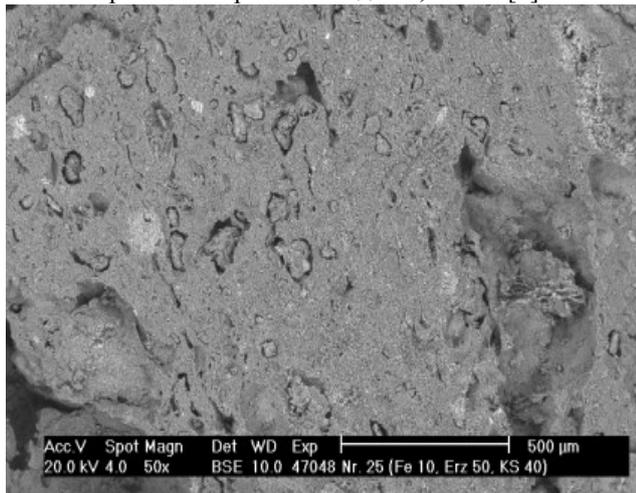


Рис. 2. Макро- и микроструктура материала, обожженного при температуре 850°C, состоящего из: отходов обогащения ильменитовой руды ВГМК – 50 %; ила ЦСА – 40 %; железосодержащих отходов – 10 % / Fig. 2. Macro- and microstructure of the material, burnt at a temperature of 850°C, consisting of: VMMS ilmenite ore processing wastes – 50 %; CAS sludge – 40 %; ferrous-containing wastes – 10 %

Для определения влияния температуры обжига и соотношения компонентов на количество безопасных пор были проведены исследования пористости образцов при полной замене суглинистого сырья на вторичные продукты обогащения ильменитовой руды ВГМК с добавлением 40 % ила ЦСА и 10 % железосодержащих отходов.

Установлено, что оптимальное содержание ила ЦСА составляет 40 %. При повышении содержания ила ЦСА более 40 % происходит снижения количества безопасных пор с 78,11 % до 50 % по отношению к общей пористости 25,61 %. При снижении количества вводимого ила менее 40 %

и повышении содержания отходов ВГМК более 65-70 % происходит увеличение безопасной пористости до 82-87 % (рис. 3), но при этом также увеличивается и средняя плотность. В результате чего происходит переход полученного после обжига кирпича из класса эффективного к условноэффективному.

С увеличением температуры обжига изделий до 850°C происходит увеличение количества безопасных пор с 63,17 % до 78,11 % по отношению к общей пористости.

Средняя плотность образца, оптимального состава, обожженного при температуре 800°C составляет 1330 кг/м³, при температуре 850°C -

1350 кг/м³. Истинная плотность – 2110 кг/м³. Общая пористость составляет 26,82 %, образца обожженного при температуре 850°C - 25,61 % [7-8].

Результаты исследований подтвердили, что средний размер пор составляет 0,02; 0,05; 0,2; 0,5 мкм. Незначительное количество опасных и резервных пор подтверждено данными ртутной

порометрии. Образование нанопор в керамическом кирпиче на основе отходов ВГМК, ила ЦСА и железосодержащих отходов связано с дисперсностью исходного сырья, а подплавление частиц тонких фракций сырьевых смесей, что обеспечивает плотную закрытую упаковку, необходимую морозостойкость и высокие прочностные показатели.

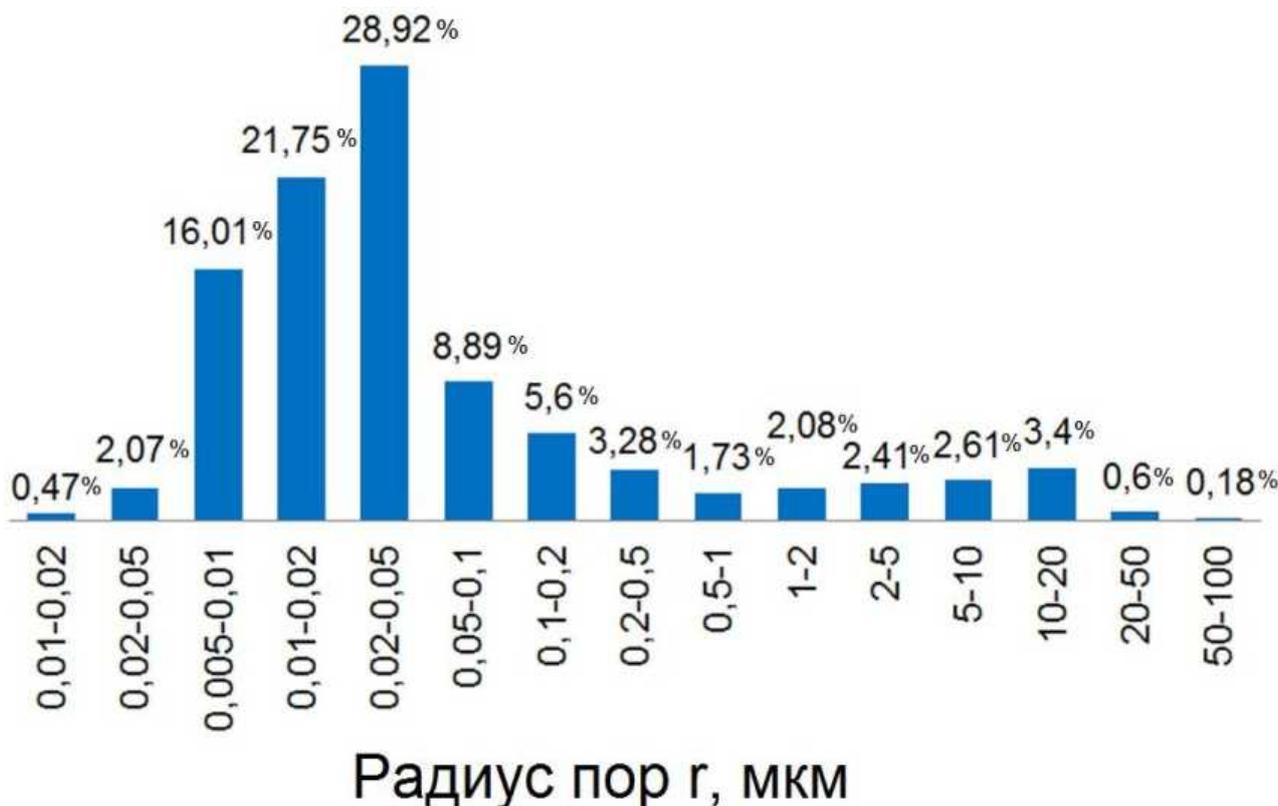


Рис. 3. Распределение пор по размерам в образце, обожженного при температуре 850°C при полной замене суглинистого сырья на вторичные продукты обогащения ильменитовой руды ВГМК с добавлением 40 % ила ЦСА и 10 % железосодержащих отходов / Fig. 3. Pore size distribution in a sample fired at a temperature of 850°C with complete substitution of natural loamy raw with of ilmenite ore processing by-products and addition of 40 % of CAS sludge and 10 % of ferrous wastes

Научная новизна и практическая ценность

Научная новизна

Установлено, что для трехкомпонентного состава на основе суглинка, ила и железосодержащих отходов, количество безопасных пор составляет 50,18 %. Общая пористость составляет 30 %. Увеличение ила ЦСА более 10 % приводит к снижению количества безопасных пор до 40 %.

Установлено, что полная замена суглинка на отходы ВГМК, ил ЦСА и железосодержащие отходы приводит к повышению безопасной пористости до 78,11 %, по сравнению с составом на основе суглинистого сырья (50,18 %). Повышение безопасной пористости, морозостойкости и прочности при сжатии связано с дисперсностью исходного сырья и наличием железосодержащих отходов, что приводит к образованию следующих

минералов, упрочняющих структуру: мональбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) – 34,6 %; альбита кальциевого – 4,3 %; гематита – 8,7 %; геленита ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{AlSiO}_7)$) – 7,6 % [1]. При повышении ила более 40 % безопасная пористость составляет 50 %. При снижении ила менее 40 %, то есть при повышении содержания отходов ВГМК более 65-70 % повышается безопасная пористость до 82 – 87 % при общей пористости 21 %.

Установлено, что большее количество коллоидных кремнеземных частиц в образцах, изготовленных из тонкодисперсного техногенного сырья, определенное методом рентгенофазового анализа, а также частиц размером 0,4-1 мкм и коллоидных частиц гематита, определенное методом электронного микроскопического анализа, приводит к большому количеству и площади контактов в

единице объема образца, а следовательно, более высокой прочностью и морозостойкостью.

Практическая ценность

По результатам проведенных испытаний разработанного керамического кирпича получен кирпич марок 100 и 200, морозостойкостью 25 и 35. Экономика природного сырья составляет от 50 до 100 %.

Выводы

В результате проведения исследований установлено, что для состава на основе суглинка (25 % которого диспергировалось совместно с 5 % железосодержащими отходами) с последующим добавлением 10 % ила ЦСА безопасная пористость составляет 50,18 %, при общей пористости 30 %. При

увеличении содержания ила более 10 % происходит снижение количества безопасных пор на 10,18 %. Увеличение количества железосодержащих отходов приводит к возрастанию безопасной пористости на 11,82 %. При этом увеличивается средняя плотность.

Для керамического кирпича на основе отходов ВГМК, ила и железосодержащих отходов безопасная пористость составляет 78,11 %. С увеличением содержания ила ЦСА более 40 % происходит снижения количества безопасных пор на 28,11 %. Снижение же содержания ила менее 40 % и возрастание содержания отходов ВГМК приводит к возрастанию на 3 – 9 % безопасной пористости.

Установлено, что в результате увеличения температуры обжига керамического кирпича с 800°C до 850°C происходит увеличение на 15 % количества безопасных пор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дерев'янюк В. М. Зависимость температуры обжига суглинка от содержания органических и щелочезелезосодержащих систем / В. М. Дерев'янюк, Г. М. Гришко // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2015. – Вип. 58. – С. 71–78.
2. Приходько А. П. Получение керамических материалов на основе техногенного сырья / А. П. Приходько, Н. С. Сторчай, Г. М. Гришко, Ю. Н. Вечер // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы международной научно-технической конференции. – Минск, 2012. – Ч. 1. – С. 64-68.
3. Абдрахимова Е. С. Влияние фазового состава на морозостойкость керамического кирпича / Е. С. Абдрахимова // Известия вузов. Строительство. - 2008. - № 4. – С. 28-30.
4. Химическая технология керамики и огнеупоров / [Будников П. П., Балкевич В. Л., Бережной А. С. и др.]; под ред. П. П. Будникова, Д. Н. Полубояринова. – М. : Изд лит-ры по строительству, 1972. – 551 с.
5. Дир У. А. Породообразующие минералы в 5 томах / Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. – М. : Мир, 1965. – 1960 с.
6. Наумов А. А. Увеличение морозостойкости кирпича полусухого прессования минеральной модифицирующей добавки / А. А. Наумов, А. Н. Юндин // Известия вузов. Строительство. - 2011. - № 8-9. - С. 27-31.
7. Бурмистров В. Н. Повышение эффективности производства керамического кирпича. Достижения строительного материаловедения / В. Н. Бурмистров, Г. В. Ведерников // : Сб. науч. ст., посвященный 100-летию со дня рождения П. И. Боженова. – СПб. : Изд-во ОМ-Пресс, 2004. – С. 140.
8. Зубехин А. П. Повышение качества керамического кирпича с применением основных сталеплавных шлаков / А. П. Зубехин, И. Г. Довженко // Строительные материалы. - 2011. – № 4. – С. 57-59.
9. Зубехин А. П. Спектроскопические и кристаллохимические основы белизны и цветности силикатных материалов / А. П. Зубехин, С. П. Голованова, Н. Д. Яценко и др. // Известия Вузов. Сев.-Кавк. регион. техн. науки. - 2007. - № 5. - С. 40–43.
10. Абдрахимов В. З. Влияние железосодержащего шлака на структуру пористости керамического кирпича / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, Е. П. Долгий // Известия вузов. Строительство. – 2006. – № 1. – С. 36-39
11. Столбоушкин А. Ю. Получение морозостойкого керамического кирпича полусухого прессования из промышленных отходов / А. Ю. Столбоушкин, А. И. Иванов, Г. И. Стороженко, С. И. Уразов // Строительные материалы. - 2011. - № 12. - С. 4-7.

REFERENCES

1. Derevianko V.M., Hryshko H.M. *Zavisimost temperatury obzhiga suglinka ot soderzhaniya organo- i shelochezhelezosoderzhashih sistem* [Dependence of Loam Firing Temperature on the Composition of Systems Containing Alkali And Organic Systems]. *Vіsник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. [Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2015, Issue No. 58, pp. 71–78. (in Ukrainian).
2. Prikhodko A.P., Stotrchai N.S., Hryshko H.M., Vecher Yu.N. *Poluchenie keramicheskikh materialov na osnove tehnogenogo syr'ya* [Production of Ceramic Materials Based on Technogenic Materials]. *Noveyshie dostizheniya v oblasti importozameschenie v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitelnykh materialov: materialyi mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* – [Latest Achievements in Import Substitution in the Chemical Industry and in the Manufacture of Building Materials: International Scientific and Technical Conference information package]. Minsk, 2012, Ch. 1, pp. 64-68.

3. Abdrakhimova Ye.S. *Vliyanie fazovogo sostava na morozostoykost keramicheskogo kirpicha* [Effect of the Phase Composition on the Frost Resistance of Ceramic Bricks]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. [Izvestiya Vuzov. Construction]. 2008, no. 4, pp. 28-30. (in Russian).
4. Budnikov P.P., Balkevich V.L., Berezhnoy A.S., etc. *Himicheskaya tehnologiya keramiki i ogneuporov*. [Chemical Technology of Ceramics and Refractories]. M. : Publishing House of Literature on Construction, 1972, 551 p.
5. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. *Porodoobrazuyuschie mineraly v 5 tomah*. [Rock Forming Minerals in 5 Volumes]. M. : Mir, 1965, 1960 p.
6. Naumov A.A., Yundin A.N. *Uvelichenie morozostoykosti kirpicha polusuhogo pressovaniya mineralnoy modifitsiruyushey dobavki*. [Improvement of Frost Resistance of Semidry Pressed Bricks with a Mineral Modifying Additive]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. [Izvestiya Vuzov. Construction]. 2011, no 8-9, pp. 27-31. (in Russian).
7. Burmistrov V.N., Vedernikov G.V. *Povyishenie effektivnosti proizvodstva keramicheskogo kirpicha. Dostizheniya stroitelnogo materialovedeniya*. [Improving Fired Brick Production Efficiency. Achievements of Construction Materials Science]. *Sb. nauch. st., posvyaschennyiy 100-letiyu so dnya rozhdeniya P. I. Bozhenova*. [Collection of Scientific Articles Dedicated to the 100th Anniversary of P.I. Bozhenov's Birth]. SPb. Izd-vo OM-Press, 2004. pp. 140. (in Russian).
8. Zubekhin A.P., Dovzhenko I.G. *Povyishenie kachestva keramicheskogo kirpicha s primeneniem osnovnykh staleplavnykh shlakov*. [Improving Fired Brick Quality by Use of Basic Steelmaking Slags]. *Stroitelnyye materialy*. [Construction Materials]. 2011, no 4, pp. 57-59. (in Russian).
9. Zubekhin A.P., Golovanova S.P., Yatsenko N.D., etc. *Spektroskopicheskie i kristallohimicheskie osnovy belizny i tsvetnosti silikatnykh materialov*. [Spectroscopic and Crystallochemical Bases of Silicate Materials Whiteness and Color Value]. *Izvestiya Vuzov. Sev.-Kavk. region. tehn. nauki*. [Izvestiya Vuzov. North Cauc. Region. Tech. Science]. 2007, no 5, pp. 40–43. (in Russian).
10. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova Ye.S., Dolgiy Ye.P. *Vliyanie zhelezosoderzhashego shlaka na strukturu poristosti keramicheskogo kirpicha*. [Effect of Ferrous Slag on Fired Brick Porosity Structure]. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*. [Izvestiya Vuzov. Construction]. 2006, no 1, pp. 36-39. (in Russian).
11. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Storozhenko G.I., Urazov S.I. *Poluchenie morozostoykogo keramicheskogo kirpicha polusuhogo pressovaniya iz promyshlennykh othodov*. [Production of Frost Resistant Semidry Pressed Bricks from Industrial Waste]. *Stroitelnyye materialy*. [Construction Materials]. 2011, no 12, pp. 4-7. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-ром техн. наук, В.И. Большаковым и д-ром техн. наук, Д.В. Лаухиным (Украина)