

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

В. А. Солонина

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

POSSIBILITIES OF USING INDUSTRIAL WASTE TO PRODUCE STRUCTURAL CERAMICS

Valentina A. Solonina

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена возможность применения отхода в виде шлака металлургического завода «Электросталь Тюмени». Шлак в тонкомолотом состоянии предлагается вводить в состав сырьевой шихты для получения стеновой керамики. Приведенные экспериментальные данные демонстрируют действие шлака одновременно в качестве отошающей добавки и добавки-плавня, что позволяет снизить число пластичности глины Кыштырлинского месторождения г. Тюмени и температуру ее спекания. Полученные результаты свидетельствуют о повышении прочности керамического черепка на 23,8 %. Для улучшения теплотехнических характеристик керамических изделий дополнительно в состав сырьевой смеси вводится выгорающая добавка – древесная мука. Прочность керамического черепка с металлургическим шлаком и выгорающей добавкой на 63,4 % превосходит прочность образцов с выгорающей добавкой при температуре обжига 950 °С.

Abstract. The article considers the possibility of using a waste in the form of slag from the metallurgic plant "Electrostal of Tyumen". A fine-grained slag is offered to be introduced into the composition of a raw charge for making the wall ceramics. The presented experimental data demonstrate the effect of slag as a leaner additive and flux at the same time, which allows reducing the plasticity index of clay in Kyshtyrlynskoye deposit in Tyumen and the temperature of its sintering. The results show an increase in the strength of ceramic shard by 23.8 %. A combustible additive (wood flour) is introduced in addition to the composition of the raw mix to improve the heat engineering characteristics of ceramic products. The strength of the ceramic shards with metallurgic slag and combustible additive is 63.4 % more than strength of samples with combustible additive at firing temperature 950 °C.

Ключевые слова: глинистое сырье, керамический кирпич, металлургический шлак, выгорающая добавка, отощающая добавка, прочность при сжатии, огневая усадка, водопоглощение

Key words: clayey raw material, ceramic bricks, metallurgical slag, combustible additive, leaner additive, compressive strength, fire shrinkage, water absorption

Для цитирования: Солонина, В. А. Возможности использования промышленных отходов для получения строительной керамики / В. А. Солонина. – DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-73-81. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 4 (102). – С. 73–81.

For citation: Solonina, V. A. (2022). Possibilities of using industrial waste to produce structural ceramics. Architecture, Construction, Transport, (4(102)), pp. 73-81 (In Russian). DOI 10.31660/2782-232X-2022-4-73-81.

Введение

Интенсивное развитие производств различных отраслей по добыче и переработке сырья приводит к образованию крупнотоннажных отходов и, как следствие, увеличению процента отчуждаемых территорий с целью складирования таких отходов, что оказывает неблагоприятное воздействие на экологию [1, 2].

Согласно данным Росприроднадзора, систематизированные по виду экономической деятельности вторичные отходы занимают первое место в общем объеме образующихся отходов. Значительная доля промышленных отходов в России приходится на металлургические шлаки и шламы, золы и шлаки теплоэлектростанций, работающих на твердом топливе.

Распоряжением Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года»¹ задан вектор использования отходов металлургической отрасли.

Согласно данным ведущих геологов, уже в ближайшие 20–30 лет может возникнуть значительная нехватка природных материалов. Вовлечение вторичного сырья в качестве их частичной замены позволит сократить масштабы потребления природного сырья и снизить экологическую нагрузку [3].

Исследования ученых в направлении утилизации промышленных отходов при производстве керамических материалов с достижением высоких физико-механических характеристик подтверждают возможность их использования в составе шихты [4–10].

В соответствии с ГОСТ 530-2012² к керамическим стеновым материалам предъявляются требования по показателям прочности, морозостойкости, водопоглощения, плотности. Получить изделия с заданными характеристиками возможно только при соблюдении всех технологических этапов производства, начиная с подбора сырьевых компонентов с определенными качественными параметрами и заканчивая режимами сушки и обжига сырца.

¹ Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года : Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р. – Текст : электронный // Правительство России : официальный сайт. – URL: <http://static.government.ru/media/files/RnBfAw072e3tmmukU2lrh1L11HaHeG0q.pdf> (дата обращения: 10.09.2022).

² ГОСТ 530-2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия = Ceramic brick and stone. General specifications: межгосударственный стандарт : издание официальное : дата введения 2013-07-01 / разработан Ассоциацией производителей керамических материалов, Обществом с ограниченной ответственностью «ВНИИСТРОМ «Научный центр керамики». – Текст : электронный // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации : сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100260> (дата обращения: 23.08.2022).

Учитывая, что минеральные новообразования керамики формируются в результате физико-химических реакций, протекающих в процессе обжига, большое внимание при подборе промышленных отходов следует уделять химическому составу [11].

Металлургические шлаки в качестве компонента сырьевой шихты могут использоваться как отощающая добавка или как добавка-плавень. Их основные фазы содержат 3d-катионы, которые обладают армирующим свойством за счет образования контактных переходных зон на границе раздела фаз. Такие фазы при формовании сырца повышают коэффициент внутреннего трения и связывают отдельные слои массы, при сушке это препятствует появлению трещин. При обжиге они образуют контактные переходные зоны по границе раздела *зерно отощителя – глиняная матрица*, тем самым армируя матрицу. Таким образом, свойства готовых изделий зависят от количества и качества контактных переходных зон, а значит, изначально формируя контактные зоны по данной границе, можно получать заданные физико-механические показатели готового материала [12–15].

Для стеновых строительных материалов, в том числе керамических, актуальным вопросом остаются показатели теплопроводности. Наиболее затратным сегментом экономики РФ является теплообеспечение зданий и сооружений. Затраты на данное направление составляют около 20 % вырабатываемых в России энергоресурсов. Одним из частных решений данной проблемы может стать применение поризованной керамики в ограждающих конструкциях.

Эффективным способом повышения пористости керамических стеновых материалов является введение в глиняную массу выгорающих добавок. Они будут способствовать равномерному спеканию, а также регулировать температуру обжига [16].

В ходе выполнения исследовательской работы была поставлена цель – получить поризованный керамический стеновой материал с повышенными прочностными и теплоизоляционными характеристиками.

Материалы и методы исследования

В качестве основного сырьевого компонента для изготовления образцов применялась глина Кыштырлинского месторождения Тюменской области. По технологическим характеристикам глина относится к группе среднедисперсных, является среднепластичной и высокочувствительной к процессам сушки и обжига. Данная глина применяется для производства кирпича только в смеси с отощающими добавками.

Глина по данным химического состава относится к группе полуокислых (таблица 1).

В качестве компонентов сырьевой шихты апробировано применение кварцевого песка с модулем крупности 1,18 и предварительно молотого металлургического шлака (таблица 2) с размером частиц от 2,5 мм до 100 мкм. Шлак является отходом технологического цикла производства на металлургическом заводе «Электросталь Тюмени».

С целью формирования поровой структуры керамического черепка в состав смеси вводи-

Таблица 1

Химический состав глины, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO+MgO	SO ₃	FeO+Fe ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	ППП
57,03	19,89	2,99	1,21	9,4	3,05	6,43

Таблица 2

Химический состав шлака, %

CaO	SiO ₂	CaO/SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO
57,03	19,89	2,99	1,21	9,4	3,05	6,43

Составы сырьевой шихты

Состав	Глина, %	Песок, %	Шлак, %	Формовочная влажность, %
1	70	30	–	24
2	70	25	5	33
3	70	20	10	33
4	70	15	15	32
5	70	10	20	31,8

лась древесная мука хвойных пород с размером частиц менее 0,9 мм.

Для характеристик плотности и прочности образцов керамики использовались стандартные методики, пористость диагностировалась по кинетике водопоглощения. Коэффициент теплопроводности оценивался расчетным методом по формуле В. П. Некрасова в зависимости от относительной плотности получаемых образцов.

Результаты

На начальном этапе исследовалось влияние металлургического шлака на физико-механические свойства керамического черепка. Шлак вводился в дозировках до 20 % при условии соблюдения постоянной доли суммарных отощающих компонентов в сырьевой смеси (таблица 3). Образцы формовались в виде пластинок размером 50 × 50 × 8 мм.

Сушка образцов производилась при температуре 45 °С до постоянной массы. Обжиг осуществлялся в лабораторной печи в различных температурных диапазонах. После обжига оценивалась огневая усадка керамического черепка (рис. 1). Для оценки полученной структуры образцы испытывались на водопоглощение (рис. 2).

Показатели водопоглощения у полученных образцов находятся в пределах от 9 до 17 %. С увеличением температуры обжига в интервале от 900 до 1080 °С структура черепка уплотняется, о чем свидетельствует снижение значений водопоглощения. При этом меньшими значениями характеризуются образцы с высоким содержанием шлака. Введение металлургического шлака в состав сырьевой шихты способствует интенсивно-

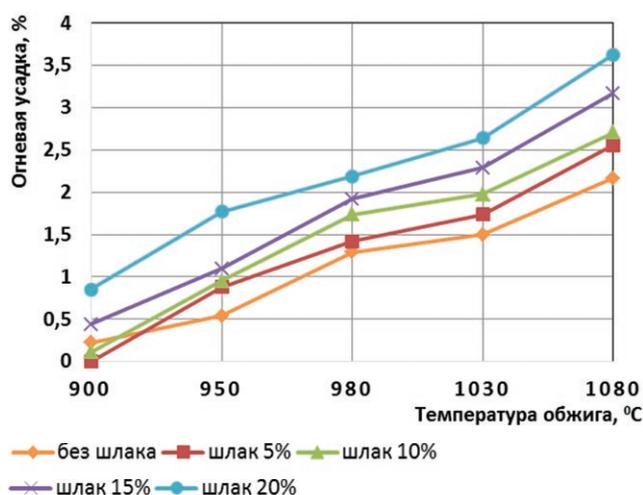


Рис. 1. Огневая усадка керамического черепка

му образованию пиропластичной жидкой фазы, связывающей отдельные кристаллические зерна в единое целое и способствующей спеканию керамического черепка.

Прочностные показатели определялись у состава без шлака (состав № 1) и с максимальным содержанием шлака – 20 % (состав № 5) на образцах-

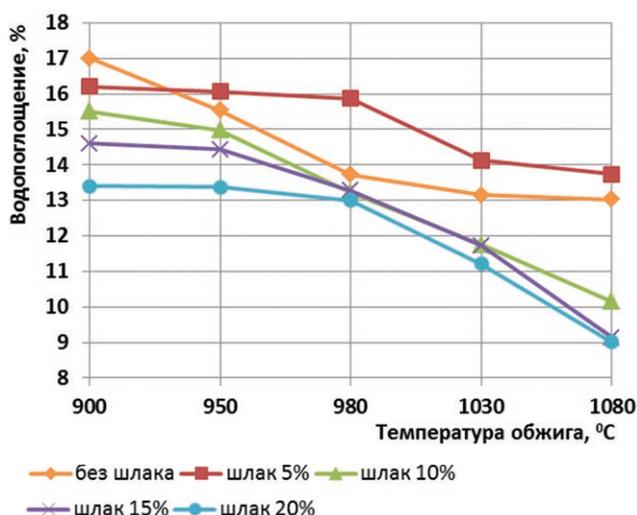


Рис. 2. Показатели водопоглощения образцов

цилиндрах, полученных при температуре 980 °С. Введение металлургического шлака в состав глиняной шихты позволяет увеличить прочность при сжатии керамического черепка на 23,8 % (с 16,4 до 20,3 МПа).

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения металлургического шлака в качестве плавня. Добавка способствует образованию жидкой фазы, которая, распределяясь между твердыми частицами после кристаллизации, образует прочную матричную структуру и тем самым способствует повышению плотности керамического черепка [12, 13].

При рассмотрении металлургического шлака в качестве добавки необходимо отметить его большую предпочтительность по сравнению с кварцевым песком. Кварцевый песок, как инертный материал, не взаимодействует с глиняной матрицей и способствует устойчивости при обжиге. Но вследствие полиморфных превращений изменение его плотности вызывает рыхление черепка, особенно в процессе охлаждения, что снижает прочность готового материала.

Одним из распространенных видов выгорающей добавки для формирования пористой структуры керамики является древесный опил. На практике использование данного вида добавок в производстве ограничено в связи с рядом технологических трудностей: неравномерное распределение частиц в объеме сырьевой массы;

набухание зерен опила при изготовлении смеси, а при сушке – неравномерная усадка сырца и, как следствие, образование трещин.

Введение древесной муки позволяет формировать в керамике более однородную пористую структуру. Тонкий размерный ряд частиц муки обладает меньшими деформациями при набухании и сушке.

Для исследования влияния древесной муки (ДМ) на физико-механические характеристики керамического черепка формировались образцы четырех составов (таблица 4).

Таблица 4

Составы керамических масс

Сырьевые компоненты, %	Состав			
	1	2	3	4
Глина	70	68	66	64
Кварцевый песок	30	29	28	27
Древесная мука	–	3	6	9

Полученные при испытании образцов-цилиндров результаты представлены на графиках (рис. 3, 4).

Введение древесной муки в состав глиняной шихты позволяет снизить плотность керамического черепка и, соответственно, коэффициент теплопроводности. Наблюдается линейная зависимость: с увеличением содержания выгорающей добавки коэффициент теплопроводности снижается, но при положительных теплофизических свойствах ухудшается прочность черепка.

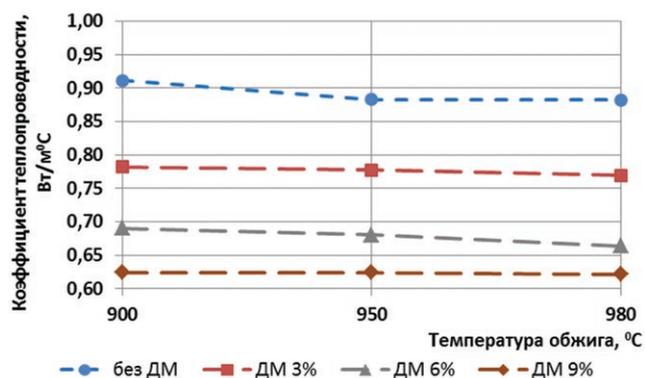


Рис. 3. Коэффициент теплопроводности образцов

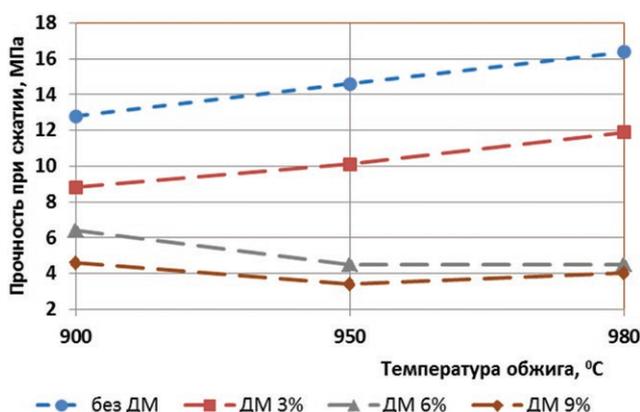


Рис. 4. Прочность при сжатии образцов

Для оценки совместного влияния добавок металлургического шлака и древесной муки готовились образцы по трем составам (таблица 5).

Таблица 5

Составы сырьевой шихты

Сырьевые компоненты, %	Состав		
	1	2	3
Глина	70	67	64
Кварцевый песок	10	10	10
Шлак	20	20	20
Древесная мука	–	3	6

Физико-механические характеристики керамики определялись на образцах-цилиндрах. С увеличением количества древесной муки в составе сырьевой смеси значения коэффициента теплопроводности образцов снижались (рис. 5).

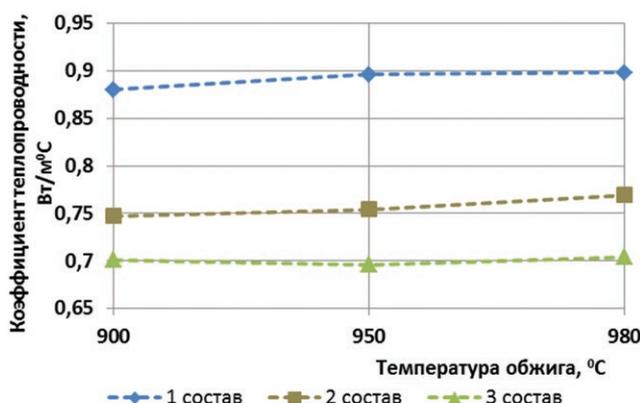


Рис. 5. Коэффициент теплопроводности образцов

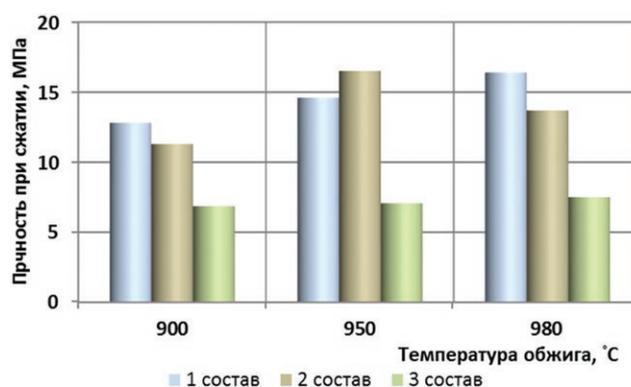


Рис. 6. Результаты испытания образцов на прочность

Полученные при испытании образцов на прочность результаты (рис. 6) указывают, что оптимальное содержание древесной муки в составе шихты составляет 3 %. Во втором составе наблюдается значительный прирост прочности (16,5 МПа) при температуре 950 °C, что свидетельствует об оптимальном подборе температуры обжига для данного состава.

Выводы

Введение металлургического шлака в состав сырьевой шихты в количестве до 20 % способствует увеличению значения огневой усадки глиняного сырца более чем в 1,5 раза в диапазоне температур обжига 900–1080 °C. Уплотнение структуры керамического черепка подтверждено снижением результатов водопоглощения на 21,2–30,8 %, при этом зафиксирован прирост прочности на 23,8 % у образцов, обжигаемых при температуре 980 °C.

Введение дополнительного сырьевого компонента древесной муки в качестве выгорающей добавки способствует формированию однородной мелкопористой структуры керамического черепка и, соответственно, снижению коэффициента теплопроводности до 28 %. Прочность керамического черепка с металлургическим шлаком и выгорающей добавкой на 63,4 % превосходит прочность образцов с выгорающей добавкой при температуре обжига 950 °C.

Получен оптимальный состав глиняной шихты: глина – 67 %; шлак – 20 %; кварцевый песок – 10 %; древесная мука – 3 %.

Применение отхода в виде металлургического шлака завода «Электросталь Тюмени» в производстве стеновых керамических материалов позволяет не только значительно расши-

рить сырьевую базу, но и может способствовать решению проблем охраны окружающей среды и улучшению экологической обстановки в регионе.

Библиографический список

1. Боженов, П. И. Комплексное использование минерального сырья и экология : учебное пособие. – Москва : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 1994. – 264 с. – Текст : непосредственный.
2. Чантурия, В. А. Современные направления в области создания ресурсосберегающих технологий и охраны окружающей среды при переработке минерального сырья / В. А. Чантурия, Н. Н. Чаплыгин, В. Е. Вигдергауз. – Текст : непосредственный // Горный журнал. – 2007. – № 2. – С. 91–96.
3. Боженов, П. И. Строительная керамика из побочных продуктов промышленности / Л. И. Боженов, И. В. Глибина, Б. А. Григорьев. – Москва : Стройиздат, 1986. – 136 с. – Текст : непосредственный.
4. Смольник, Х. Г. Структура и характеристика шлаков / Х. Г. Смольник. – Текст : непосредственный // VII Международный конгресс по химии цемента, Париж, 1980 : доклады. – Москва, 1981. – С. 3–17.
5. Абдрахимова, Е. С. Использование отходов черной металлургии в производстве керамического кирпича / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов. – Текст : непосредственный // Экология производства. – 2013. – № 3. – С. 52–55.
6. Верещагин, В. И. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов / В. И. Верещагин, А. Е. Бурученко, И. В. Кашук – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2000. – № 7. – С. 20–23.
7. Свойства керамических стеновых материалов при введении различных выгорающих компонентов / И. В. Пищ, В. А. Бирюк, Ю. А. Климош [и др.]. – Текст : непосредственный // Стекло и керамика. – 2015. – № 2. – С. 19–23.
8. Фоменко, А. И. Расширение сырьевой базы для строительной керамики / А. И. Фоменко, А. Г. Каптюшина, В. С. Грызлов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2015. – № 12. – С. 25–27.
9. Рассказова, В. Ф. Отходы промышленности для получения керамических стеновых материалов / В. Ф. Рассказова, А. В. Рассказова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 1992. – № 2. – С. 52–53.
10. Довженко, И. Г. Исследование влияния металлургических шлаков на сушильные свойства керамических масс для производства лицевого кирпича / И. Г. Довженко. – Текст : непосредственный // Стекло и керамика. – 2013. – № 12. – С. 24–27.
11. Рабухин, А. И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений : учебник / А. И. Рабухин, В. Г. Савельев. – Москва : Инфра-М, 2004. – 302 с. – Текст : непосредственный.
12. Столбоушкин, А. Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья / А. Ю. Столбоушкин. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 10–15.
13. Столбоушкин, А. Ю. Стеновые керамические материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени докт. техн. наук / А. Ю. Столбоушкин ; Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, Новосибирск, 2014. – 365 с.
14. Павлов, В. Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов / В. Ф. Павлов. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2003. – № 8. – С. 28–30.

15. Комохов, П. Г. Управление прочностью керамических материалов путем формирования контактной зоны между глинистой матрицей и отошителем / П. Г. Комохов, Л. Л. Масленникова, А. Х. Махмуд. – Текст : непосредственный // Строительные материалы. – 2003. – № 12. – С. 44–45.
16. Дмитриев, К. С. Пористая керамика: современное состояние и перспективы / К. С. Дмитриев. – Текст : непосредственный // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 7. – С. 152–154.

References

1. Bozhenov, P. I. (1994). Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya i ekologiya. Moscow, Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov Publ., 264 p. (In Russian).
2. Chanturiya, V. A., Chaplygin, N. N., & Vigdergauz, V. E. (2007). Up-to-date directions in the field of development of resource-saving technologies and environment protection in processing of mineral raw materials. Gornyi Zhurnal, (2), pp. 91-96. (In Russian).
3. Bozhenov, P. I., Glibina, I. V., & Grigor'ev, B. A. (1986). Stroitel'naya keramika iz pobochnykh produktov promyshlennosti. Moscow, Stroyizdat Publ., 136 p. (In Russian).
4. Smol'nik, Kh. G. (1981). Struktura i kharakteristika shlakov. VII Mezhdunarodnyy kongress po khimii tsementa, Parizh, 1980. Moscow, pp. 3-17. (In Russian).
5. Abdrakhimova, E. S., & Abdrakhimov, V. Z. (2013). Ispol'zovanie otkhodov chernoy metallurgii v proizvodstve keramicheskogo kirpicha. Ekologiya proizvodstva, (3), pp. 52-55. (In Russian).
6. Vereshchagin, V. I., Buruchenko, A. E., & Kashchuk, I. V. (2000). Vozmozhnosti ispol'zovaniya vtorichnogo syr'ya dlya polucheniya stroitel'noy keramiki i sitallov. Stroitel'nye materialy, (7), pp. 20-23. (In Russian).
7. Pishch, I. V., Biryuk, V. A., Klimosh, Yu. A., Popov, R. Yu., & Shidlovskiy, A. V. (2015). Svoystva keramicheskikh stenovykh materialov pri vvedenii razlichnykh vygorayushchikh komponentov. Glass and Ceramics, (2), pp. 19-23. (In Russian).
8. Fomenko, A. I., Kaptyushina, A. G., & Gryzlov, V. S. (2015). Expansion of raw material resources base for construction ceramics. Stroitel'nye materialy (Construction materials), (12), pp. 25-27. (In Russian).
9. Rasskazova, V. F., & Rasskazova, A. V. (1992). Otkhody promyshlennosti dlya polucheniya keramicheskikh stenovykh materialov. Stroitel'nye materialy (Construction materials), (2), pp. 52-53. (In Russian).
10. Dovzhenko, I. G. (2013). Issledovanie vliyaniya metallurgicheskikh shlakov na sushil'nye svoystva keramicheskikh mass dlya proizvodstva litsevogo kirpicha. Glass and Ceramics, (12), pp. 24-27. (In Russian).
11. Rabukhin, A. I., & Savel'ev, V. G. (2004). Fizicheskaya khimiya tugoplavkikh nemetallicheskih i silikatnykh soedineniy. Moscow, Infra-M Publ., 302 p. (In Russian).
12. Stolboushkin, A. Yu. (2011). Teoreticheskie osnovy formirovaniya keramicheskikh matrichnykh kompozitov na osnove tekhnogenogo i prirodnogo syr'ya. Construction materials, (2), pp. 10-15. (In Russian).
13. Stolboushkin, A. Yu. (2014). Stenovye keramicheskie materialy matrichnoy struktury na osnove nespekayushchegosya maloplastichnogo tekhnogenogo i prirodnogo syr'ya. Diss. doct. tekhn. nauk, Novosibirsk, 365 p. (In Russian).
14. Pavlov, V. F. (2003). Sposob vovlecheniya v proizvodstvo stroitel'nykh materialov promyshlennykh otkhodov. Stroitel'nye materialy (Construction materials), (8), pp. 28-30 (In Russian).
15. Komokhov, P. G., Maslennikova, L. L., & Makhmud, A. Kh. (2003). Upravlenie prochnost'yu keramicheskikh materialov putem formirovaniya kontaktnoy zony mezhdou glinistoy matritsey i otoshchitelem. Stroitel'nye materialy (Construction materials), (12), pp. 44-45. (In Russian).
16. Dmitriev, K. S. (2016). Poristaya keramika: sovremennoe sostoyanie i perspektivy. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya, (7), pp. 152-154. (In Russian).

Сведения об авторе

Солонина Валентина Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: soloninava@tyuiu.ru

Information about the author

Valentina A. Solonina, Candidate in Engineering, Associate Professor at the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, e-mail: soloninava@tyuiu.ru