

УДК 666.712

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

*Н.К. СКРИПНИКОВА, О.А. КУНЦ, А.Б. УЛМАСОВ,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКОЛЬНЫХ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОБЛИЦОВОЧНОЙ КЕРАМИКИ

Объектом исследования являются лабораторные образцы облицовочного керамического кирпича, изготовленные из отходов стекольной и металлургической промышленности.

Целью исследования является получение облицовочной керамики с использованием отходов стекольной и металлургической промышленности.

Для определения качества лабораторных образцов проводились физико-механические исследования согласно ГОСТ 530–2012: на прочность при сжатии, плотность и водопоглощение.

В результате проведенных исследований установлено, что для получения лабораторных образцов облицовочной керамики необходимо использовать шихту, состоящую из 40 % глины и 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С. Были подобраны технологические режимы получения лабораторных образцов, которые позволили получить образцы облицовочной керамики со следующими показателями: плотности – 2064 кг/м<sup>3</sup>, прочности при сжатии – 42,24 МПа, полученные образцы отличаются замкнутым порообразованием.

**Ключевые слова:** глина; облицовочная керамика; стеклобой; шламовые отходы; плотность; водопоглощение; прочность при сжатии.

**Для цитирования:** Скрипникова Н.К., Кунц О.А., Улмасов А.Б. Использование стекольных и металлургических отходов при производстве облицовочной керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 165–171.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

*N.K. SKRIPNIKOVA, O.A. KUNZ, A. B. ULMASOV,  
Tomsk State University of Architecture and Building*

## GLASS AND METALLURGICAL WASTES IN FACING CERAMICS PRODUCTION

**Purpose:** The aim of this work is facing ceramic brick production using glass and metallurgical wastes. **Methodology:** Compressive strength, density, water absorption testing. **Findings:** The facing ceramic specimens are obtained at a 1050 °C baking temperature by using a mixture consisting of 40 % clay and 60 % broken glass. The operating modes for the laboratory specimen fabrication are selected such that they possess 2064 kg/m<sup>3</sup> density and 42.24 MPa compressive strength. The specimens are characterized by the formation of close pores.

**Keywords:** clay; facing ceramics; broken glass; sludge waste; density; water absorption; compressive strength.

**For citation:** Skripnikova N.K., Kunts O.A., Ulmasov A.B. Ispol'zovanie stekol'nykh i metallurgicheskikh otkhodov pri proizvodstve oblitsovochnoi keramiki [Glass and metallurgical wastes in facing ceramics production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 6. Pp. 165–171.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-165-171

На сегодняшний день керамические облицовочные изделия являются актуальным строительным материалом, т. к. полностью отвечают требованиям долговечности, обладают высокими архитектурно-художественными свойствами и благодаря их эксплуатационным параметрам служат одним из основных видов отделочных материалов [1]. Керамика по своей природе поистине уникальна: керамическим изделиям можно придавать всевозможную форму, а их лицевой поверхности – разнообразный фактурный вид, покрывая глазурями, ангобами и другими способами декорирования. Ведь с давних времен в обиход вошло керамическое изобразительное искусство, которое постоянно совершенствуется и развивается [2, 3]. Керамика является одним из лучших строительных материалов с точки зрения эстетики фасада, а также основным используемым строительным материалов практически во всех конструктивных элементах зданий и сооружений [4]. Активное применение облицовочных изделий из керамики для отделки зданий обеспечивает не только привлекательный внешний вид, но и эффективную защиту от загрязнений, различных агрессивных веществ и негативных факторов окружающей среды (снега, дождя, ультрафиолетового излучения и т. п.) [5, 6].

Для получения качественной керамики нужно соответствующее сырье, которое должно иметь определенные технологические характеристики.

Решение задачи в плане обеспечения предприятий качественным сырьем возможно реализовать при помощи использования отходов, таких как стеклобой и шламовые отходы металлургического производства. Это позволяет поднять вопрос актуальности использования облицовочной керамики [7–9].

Данное решение предполагает разработку эффективных технологий за счет комплексного использования сырья, что одновременно приведет к ликвидации отвалов отходов, кроме этого, позволит предотвращать негативное воздействия на окружающую среду, а также развивать экологически безопасные энергоэффективные технологии [10–12].

Целью исследования является получение облицовочной керамики с использованием отходов стекольной и металлургической промышленности.

Для выполнения поставленной цели были решены задачи: исследование отходов и оценка их пригодности; подбор составов керамических изделий и технологических режимов; определение физико-механических характеристик лабораторных керамических образцов. Для получения керамических образцов необходимо использовать определенные материалы, которые обладают более низкой температурой стеклообразования и в результате обжига будут давать самоглазующийся эффект.

В качестве основы шихты для получения лабораторных образцов облицовочной керамики использовались суглинки томского месторождения, стекольные отходы и шламовые отходы металлургического производства. В табл. 1 представлен компонентный состав шихты для получения лабораторных образцов облицовочной керамики.

Из табл. 1 следует, что компонентный состав лабораторных образцов менялся: глина – от 100 до 40 %, стеклобой – от 10 до 60 %, шламовые отходы – от 10 до 20 %. При проведении экспериментов использовались фракции глины, стеклобоя и шлама, предварительно измельченные до размера частиц не более 400–600 мкм и высушенные до постоянной массы.

Таблица 1

**Компонентные составы лабораторных образцов, масс. %**

№ образца	Количество сырьевых материалов, масс. %		
	Глина	Стеклобой	Шламовые отходы
1	100	–	–
2	90	10	–
3	80	10	10
4	70	10	20
5	70	20	10
6	60	30	10
7	70	30	–
8	50	50	–
9	40	60	–
10	40	60	–

Все компоненты шихты в заданных соотношениях перемешивались в сухом виде до гомогенного состояния с последующим увлажнением массы до 10 масс. % воды. Из полученной массы при удельном давлении прессования 12–14 МПа формовали образцы облицовочной керамики размером 5×5×2,5, затем отправляли в сушильную камеру. Далее полученные образцы обжигали при разной температуре 850–1050 °С.

Для определения качества лабораторных образцов проводились физико-механические исследования согласно ГОСТ 530–2012: на прочность при сжатии ( $R_{сж}$ , МПа), на плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) и водопоглощение ( $W$ , %).

Представленные результаты физико-механических показателей в зависимости от компонентного состава шихты приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Физико-механические показатели лабораторных образцов, полученных в зависимости от компонентного состава шихты**

№ образца	Составы, %			Прочность при сжатии $R_{сж}$ , МПа	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение $W$ , %
	Глина	Стеклобой	Шлам			
1	100	–	–	32,14	2133	10
2	90	10	–	27,57	2142	11
3	80	10	10	25,94	1984	11
4	70	10	20	20,89	2009	11
5	70	20	10	21,6	1969	10
6	60	30	10	29,64	2088	10
7	70	30	–	18,97	2088	11
8	50	50	–	39,59	1963	5
9	40	60	–	41,66	1964	3
10	40	60	–	42,24	2064	0

На основе результатов, представленных в табл. 2, следует, что прочность при сжатии с увеличением содержания стекла и температуры обжига от 850 до 1050 °С увеличивается на 33 %. Исходя из представленных данных плотность полученных образцов с увеличением количества стекла в составе шихты уменьшается от 2142 до 1963 кг/м<sup>3</sup>, однако при содержании и отсутствии шламовых отходов плотность находится в одном пределе. Это говорит о том, что данные виды отходов являются плавнями, которые способствуют образованию стекольного расплава при более низких температурах обжига.

Водопоглощение полученных образцов снижается и, как видно из табл. 2, следует, что при содержании 40 % глины, 60 % стеклобоя и температуре обжига 1050 °С водопоглощение составляет 0 %.

Данные образцы имеют высокие значения плотности, прочности при сжатии и низкое водопоглощение, что позволяет получать плотный и прочный материал.

Представлены лабораторные образцы керамического кирпича на рис. 1, из которого следует, что образец на рис. 1, *а* отличается от образца на рис. 1, *б* тем, что у данных образцов разная температура обжига. Что касается внешнего вида и качества поверхности образца, изображенного на рис. 1, *в*, то с помощью микроскопа M1400 PLUS можно увидеть, что из полученных составов 40%-й глины и 60%-го стеклобоя при температуре обжига 1050 °С были получены лабораторные образцы со стекловидной поверхностью.

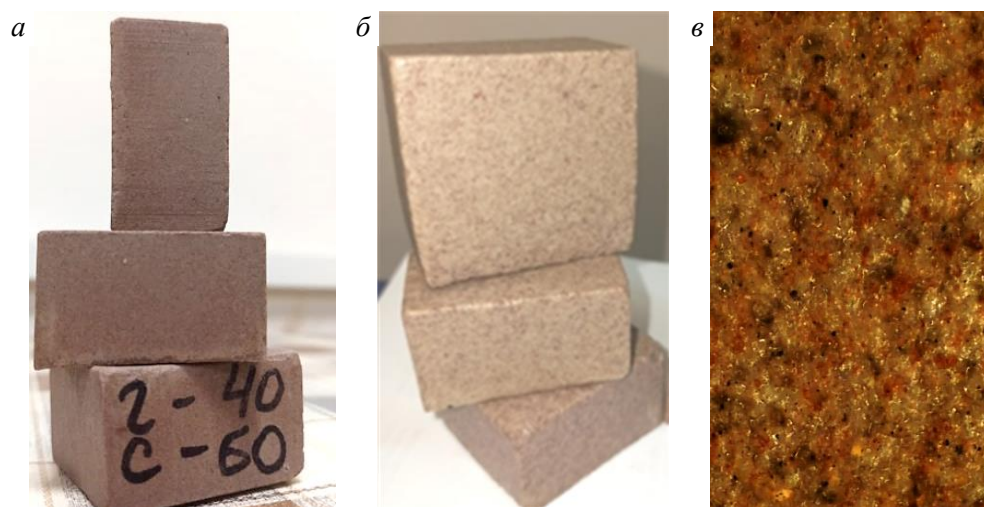
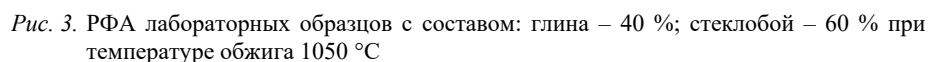
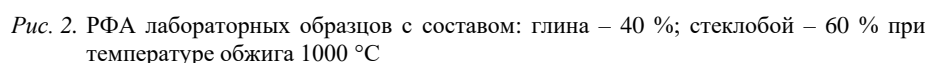


Рис. 1. Полученные лабораторные образцы керамического кирпича:

*а* – лабораторный образец состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя, обжиг при 1000 °С; *б* – лабораторный образец состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя, обжиг при 1050 °С; *в* – стекловидная поверхность керамического кирпича состава: 40 % глины, 60 % стеклобоя

С целью исследований фазовых превращений, протекающих при обжиге сырьевой смеси, был проведен рентгенофазовый анализ (РФА), результаты которого представлены на рис. 2 и 3.



Так, в составе образца, имеющего 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1000 °С, изображенного на рис. 2, преобладают пики кварца ( $d = 3,354; 1,544; 1,189; 1,546$  нм). Присутствуют пики анортита ( $d = 4,60; 3,43; 3,204; 2,52; 2,12; 1,485; 1,384$  нм). По рентгенограмме, представленной на рис. 3, в составе образца, имеющего 40 % глины, 60 % стеклобоя, при температуре обжига 1050 °С, преобладают пики анортита ( $d = 4,0897; 3,2204; 3,0396; 2,4967; 2,0956; 1,7570$  нм), присутствуют пики кварца ( $d = 3,3556$  нм).

Исходя из рентгенограмм следует, что наибольшее количество анортитовой фазы имеют образцы, содержащие в составе 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1000 °С. Состав образцов с 40 % глины, 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С имеет несколько меньше дифрак-

ционных максимумов, характерных для анортита, и по сравнению с предыдущим составом характеризуется большим количеством аморфной фазы. Это связано с тем, что при температуре 1050 °С образуется большее количество жидкой фазы, которая при охлаждении переходит в стеклофазу. В результате наблюдается остекловывание поверхности образцов.

Таким образом, установлено, что используемый состав 40 % глины и 60 % стеклобоя при температуре обжига 1050 °С позволяет получить лабораторные образцы плотностью 2064 кг/м<sup>3</sup>, прочностью при сжатии 42,24 Мпа. Полученные лабораторные образцы отличаются замкнутым порообразованием.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронцов В.М., Немец И.И. Стекло и керамика в архитектуре. Белгород : БГТУ, 2010. 106 с. ISBN 978-5-361-00116-3.
2. Виткалова И.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Применение трепела в производстве фасадной керамики, получаемой с использованием стеклобоя // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12-1 (90). С. 83–86.
3. Юрьев И.Ю., Скрипникова Н.К., Волокитин Г.Г., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Стеновые керамические изделия с использованием алюмосиликатных отходов ТЭС. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2018. 136 с. ISBN 978-5-93057-847-8.
4. Gurieva V.A., Ilyina A.A. Production waste as a component of raw materials for construction ceramics // Key Engineering Materials. 2020. 839 KEM, P. 184–188.
5. Montaev S.A., Adilova N.B., Montaeva N.S., Dosov K.Z., Taudaeva A.A. Study of raw materials with the aim of obtaining ceramic filler and heat-insulating and structural wall ceramics // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development. 2019. 9 (5). IMPERDOCT. 2019. 94. P. 1057–1064.
6. Власов В.А., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Стеновые керамические материалы с использованием техногенного железосодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. С. 33–37.
7. Салахов А.М. Современные керамические материалы. Казань : КФУ, 2016. 407 с. ISBN 978-5-906962-43-0.
8. Shang W., Peng Z., Huang Y., Li G., Jiang T. and etc. Production of glass-ceramics from metallurgical slags // Journal of Cleaner Production. 2021. 317. 128220.
9. Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Торлова А.С. Утилизация стеклобоя в производстве облицовочной керамики с эффектом самоглазурования // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 11-1 (89). С. 62–66.
10. Власов В.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Тогидний М.Л. Керамические стеновые материалы на основе некондиционного сырья. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2020. 144 с. ISBN 978-5-93057-948-2.
11. Шахова В.Н., Березовская А.В., Пикалов Е.С. Разработка облицовочного керамического материала с эффектом самоглазурования на основе малопластичной глины // Стекло и керамика. 2019. № 1. С. 13–18.
12. Скрипникова Н.К., Власов В.А., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В. Исследование возможности использования углеродсодержащего техногенного сырья при производстве керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 6. С. 115–121.

#### REFERENCES

1. Vorontsov, V.M., German I.I. Steklo i keramika v arkhitekture [Glass and ceramics in architecture]. Belgorod: BSTU, 2010. 106 p. (rus)
2. Vitkalova I.A., Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. Primenenie trepela v proizvodstve fasadnoi keramiki, poluchaemoi s ispol'zovaniem stekloboya [Tripoli powder in facing ceram-

- ics production based on broken glass]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2019. No. 12-1 (90). Pp. 83–86. (rus)
3. Yuriev I.Yu., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Stenovye keramicheskie izdeliya s ispol'zovaniem alyumosilikatnykh otkhodov TES [Wall ceramic products based on aluminosilicate waste from thermal power plants]. Tomsk: TSUAB, 2018. 136 p. (rus)
  4. Gurieva V.A., Ilyina A.A. Production waste as a component of raw materials for construction ceramics. *Key Engineering Materials*. 2020. V. 839. Pp. 184–188.
  5. Montaev S.A., Adilova N.B., Montaeva N.S., Dosov K.Z., Taudaeva A.A. Study of raw materials with the aim of obtaining ceramic filler and heat-insulating and structural wall ceramics. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2019. V. 9. No. 5. Pp. 1057–1064.
  6. Vlasov V.A., Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Gafarov R.E. Osobennosti formirovaniya strukturno-fazovogo sostava mikrosfer na osnove materialov alyumosilikatnoi gruppy [Structure and phase composition of aluminosilicate-based microspheres]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 4. Pp. 33–37. (rus)
  7. Salakhov A.M. Sovremennye keramicheskie materialy [Modern ceramic materials]. Kazan: Kazan Federal University, 2016. 407 p. (rus)
  8. Shang W., Peng Z., Huang Y., Li G., Jiang T., et al. Production of glass-ceramics from metallurgical slags. *Journal of Cleaner Production*. 2021. V. 317. 128220.
  9. Vitkalova I.A., Pikalov E.S., Torlova A.S. Utilizatsiya stekloboya v proizvodstve oblitsovochnoi keramiki s efektom samoglazurovaniya [Utilization of broken glass in the production of facing ceramics with self-glazing effect]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2019. No. 11–1 (89). Pp. 62–66. (rus)
  10. Vlasov V.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Semenovs M.A., Volokitin G.G., Togidny M.L. Keramicheskie stenovye materialy na osnove nekonditsionnogo syr'ya [Ceramic wall materials based on substandard raw materials]. Tomsk: TSUAB, 2020. 144 p. (rus)
  11. Shakhova V.N., Berezovskaya A.V., Pikalov E.S. Razrabotka oblitsovochnogo keramicheskogo materiala s efektom samoglazurovaniya na osnove maloplastichnoi gliny [Facing ceramic material with self-glazing effect based on low-plasticity clay]. *Steklo i keramika*. 2019. No. 1. Pp. 13–18. (rus)
  12. Skripnikova N.K., Vlasov V.A., Semenovskiy M.A., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya uglestoderzhashchego tekhnogen'nogo syr'ya pri proizvodstve keramicheskikh izdelii [Carboncontaining technogenic raw materials in ceramic product production]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 115–121. (rus)

#### Сведения об авторах

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

Куницын Олеся Анатольевна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Kunts.98@mail.ru

Улмасов Ахрорбек Боходиржон угли, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, akhrorbek001@mail.ru

#### Authors Details

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

Olesya A. Kunts, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Kunts.98@mail.ru

Akhrorbek B. Ulmasov, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, akhrorbek001@mail.ru