



Е. Г. САФРОНОВ
В. З. АБДРАХИМОВ

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ И ФОСФОРНОГО ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ БЕНТОНитОВОЙ ГЛИНЫ

ECONOMIC AND PRACTICAL FEASIBILITY
OF USING ASH AND SLAG MIXTURE AND PHOSPHORIC SLAG
IN THE PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS BASED ON BENTONITE CLAY

Одной из глобальных проблем для окружающей среды является повышенное загрязнение экологических систем агрессивными отходами, поэтому поддержание экологии в соответствующем состоянии является наиважнейшим для всего человечества и для планеты в целом. Кроме того, одна из исключительно выраженных преград для процесса производства и наращивания ассортимента керамических изделий в XXI в. является исчерпание натуральных ресурсов: глинистого сырья, отощающих ингредиентов, плавней и добавок, создающих пористость. Ротация естественного сырья на крупнотоннажные отходы позволит заметно снизить стоимость изделий, например кирпича. Исследования выявили, что без внедрения отощителей в композиции из бентонитовых глин изготовить керамический кирпич утопично. Состав, включающий 35 % фосфорного шлака и 15 % золошлаковой смеси, идентифицируется как оптимальный для создания кирпича марки М125.

Ключевые слова: экономическая целесообразность, фосфорный шлак, золошлаковая смесь, межсланцевая глина, керамический кирпич

One of the large-scale international environmental barriers is the increased pollution of ecological systems by aggressive waste, therefore, maintaining the environment in an appropriate form is a cornerstone not only for all mankind, but also for the planet as a whole. In addition, one of the most pronounced obstacles to the production process and the expansion of the range of ceramic products in the 21st century is the exhaustion of natural resources: clay raw materials, thinning ingredients, fluxes, additives that create porosity, etc. The rotation of natural raw materials to large-scale waste will significantly reduce the cost of bricks. Studies have shown that it is utopian to produce ceramic bricks without the introduction of preservatives in bentonite clay compositions. The composition, which includes 35 % phosphorous slag and 15 % ash and slag mixture, is identified as optimal for the production of bricks of the M125 brand.

Keywords: economic feasibility, phosphoric slag, ash and slag mixture, inter-shale clay, ceramic brick

Введение

Экономическая целесообразность. При отстранении государства от субсидирования геологоразведочных работ принципиально важным в современных экономических условиях становится вопрос, связанный с избранием

качественного алюмосиликатного сырья для производства товаров массового потребления, к которым относятся стеновые материалы, например керамический кирпич [1]. Но с учетом того, что истощение первосортных естественных сырьевых ресурсов не позволяет решить вопрос массового производства керамическо-

го кирпича, необходимо в цепочку сырьевых материалов встраивать оборот отходов производств, который даст ощутимый социально-экономический эффект [2].

Применение отходов производств способствует ликвидации издержек не только на геологоразведочные работы, но и исключает строительство карьеров, что в конечном итоге снижает воздействие отрицательных антропогенных факторов на окружающую среду.

Рециклинг крупнотоннажных отходов в производство товаров широкого потребления, в частности керамического кирпича, значительно сократит потребность в минерально-сырьевых ресурсах, снизит негативные воздействия на природные ландшафты и т. д. Применение крупнотоннажных отходов в производстве керамического кирпича позволит решить одну из основных экономических задач – снижение себестоимости товара повышенного спроса – керамического кирпича, так как вторичное сырье для производства стеновой керамики в два-три раза дешевле, чем сырье естественное [3].

Практическая целесообразность. К одной из исключительно выраженных преград для процесса производства и наращивания ассортимента керамических изделий в XXI в. имеет отношение истощение натуральных ресурсов: глинистого сырья, отощающих ингредиентов, плавней, добавок, создающих пористость, и др. [4–6]. Необходимо ротация естественного сырья на крупнотоннажные отходы, масштабность которых достигла 2 млрд. т, а площадь участков преодолела 22000 га [7–9]. В работах [10, 11] заявлена генерация отходов горючих сланцев в товары массового потребления, например – стеновой керамический кирпич.

Стеновой керамический кирпич. Этот материал остается уже более 3 тыс. лет наиболее востребованным локальным стеновым материалом, который обеспечивает сбережение цемента, различных дефицитных металлов и сокращает дорожные перевозки. Керамический кирпич относится к строительным конструкционным материалам, обладающим превосходными эксплуатационными, экологическими и эстетическими характеристиками, что обеспечивает потребность его в современном строительстве. Для получения керамического кирпича используют соответствующие компоненты: в качестве связующей – глину с огнеупорностью ниже 1350 °С, отощитель, плавень (интенсификатор спекания) и выгорающие добавки.

Отощитель – совершенствует технологические характеристики глинистого связующего благодаря понижению пластичности, усадки и формирование механического прочного остова [12]. Применение отощителя предостав-

ляет возможность роста для формовочного отделения кирпичного производства, производительности, сократит время сушки, снизит количество брака.

Плавни (или интенсификаторы спекания) усиливают спекание глинистого сырья, понижают температуру спекания композиции (керамической шихты) и на 50–80 °С снижают температуру обжига керамического изделия. Следует отметить, что плавни сами должны иметь низкую температуру плавления, т. е. содержать повышенное количество оксидов щелочей или стеклофазу.

Выгорающие добавки создают пористость после их выгорания при обжиге, способствуют более равномерному обжигу внутри изделия и могут выполнять функции отощающей добавки (снижать пластичность). В качестве выгорающих добавок используют угольную мелочь из различных углей с теплотворной способностью 3200–3500 ккал/кг, наиболее дешевым из которых является бурый уголь, который чаще всего используется.

Постановка задачи. Истощение качественных традиционных природных ресурсных материалов для производства керамических материалов строительного направления создало необходимость формировать замену традиционного природного материала на сырье техногенного происхождения. Такой инструментарий используется передовыми странами еще и для безопасности окружающей среды.

Цель работы: а) определить составы исследуемых техногенных сырьевых материалов: химические – оксидный и поэлементный, минералогический и фракционный, а также технологические показатели; б) исследовать влияние фосфорного шлака и золошлаковой смеси на технологические, технические показатели керамического кирпича на основе бентонитовой глины.

Методика исследования. Для установления микроструктуры и поэлементных химических составов сырьевых компонентов – фосфорного шлака, золошлаковой смеси и бентонитовой глины, в предложенном исследовании использовался микроскоп фирмы Jeol (Япония). Для петрографической диагностики применяли: шлифы, прозрачные аншлифы, иммерсионные жидкости, микроскопы МИН-8 и МИН-7. Показатели стеновых материалов документировали по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические».

Сырьевые материалы

Бентонитовая глина была задействована в качестве связующей, фосфорный шлак в качестве отощителя и фрагментарно как плавень (за счет повышенного содержания стеклофазы), золошлаковая смесь фрагментарно как отощитель

и избирательно (за счет повышенной теплотворной способности) как выгорающая добавка.

Стержневые параметры и характеристики сырьевых материалов изложены: усреднённый оксидный химический – в табл. 1, поэлементный – в табл. 2, технологические свойства – в табл. 3, фракционный состав – в табл. 4, металлографический анализ представлен на рис. 1, минералогический – на рис. 2, микроструктура – на рис. 3.

Бентонитовая глина. Глина, диспергирующаяся в воде до коллоидного положения и состоящая полностью из глинистых минералов группы монтмориллонита, называется бентонитовой [13]. Для повышения формовочных свойств керамических композиций добавляются бентонитовые глины, состоящие из гидрофильных высокодисперсных частиц минерала монтмориллонита.

Монтмориллонит имеет слоистую структуру (см. рис. 3, а), в основе которой размещены трехслойные пакеты, сформированные тетраэдрическими и октаэдрическими слоями.

В настоящей работе использовалась бентонитовая глина Смышляевского место-

рождения Самарской области: высокопластичная (число пластичности более 25), легкоплавкая (см. табл. 3) высокодисперсная (см. табл. 4). Металлографический анализ глины показал наличие множества мелких включений, но встречаются и средние размеры – 5–10 мкм (см. рис. 1, а), минералогический состав представлен на рис. 2, а.

Фосфорный шлак – это отход производства фосфора. Формируется после обжига при температурах от 1300 до 1500 °С в герметизированной дуговой печи за счет химического процесса [19]. Технические и технологические показатели и свойства фосфорного шлака показаны в табл. 1–4 и на рис. 1–3, б. Металлографический анализ выявил в шлаке включения среднего размера от 8 до 15 мкм, но встречаются и размером до 55 мкм (см. рис. 1, б).

Минералогический состав фосфорного шлака обозначен в основном стеклофазой – (70 %, см. рис. 2) и кристаллическими составляющими – псевдволастонитом, кварцем и ларнитом.

Таблица 1. Усредненный химический оксидный состав сырьевых компонентов
Table 1. Average chemical oxide composition of raw materials

Компонент	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	R ₂ O	П.п.п.
Бентонитовая глина	58,89	14,43	7,2	4,8	2,7	-	3,4	7,85
Фосфорный шлак	43,42	3,81	1,04	46,58	2,48	1,8	0,87	-
Золошлаковая смесь	34,40	10,35	8,78	20,28	3,38	-	2,83	19,98

Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании; R₂O = K₂O + Na₂O

Таблица 2. Поэлементный химический состав сырьевых компонентов
Table 2. Element-wise chemical composition of raw materials

Компонент	Содержание элементов, мас. %									
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe	P
Бентонитовая глина	1,30	55,8	0,27	1,00	13,46	18,47	3,99	2,46	3,25	-
Фосфорный шлак	-	54,70	0,32	2,94	2,09	18,05	0,30	20,34	0,52	0,74
Золошлаковая смесь	7,44	47,96	0,81	1,93	5,65	16,9	1,53	12,2	5,58	-

Таблица 3. Технологические показатели сырьевых компонентов
Table 3. Technological indicators of raw materials components

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
Бентонитовая глина	1200	1180	1200	1230
Фосфорный шлак	-	1300	1320	1350
Золошлаковая смесь	2000	1300	1340	1380

Таблица 4. Фракционный состав сырьевых компонентов
Table 4. Fractional composition of raw materials

Компонент	Содержание фракций, %; размер частиц, мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
Бентонитовая глина	3	5	6	7	79
Фосфорный шлак	42	23	18	12	5
Золошлаковая смесь	16,84	33,41	32,49	12,68	4,58

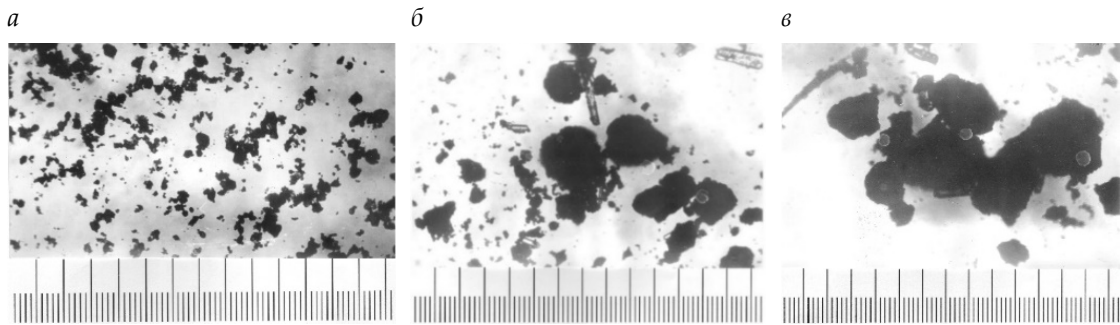


Рис. 1. Металлографический анализ сырьевых компонентов:
а – бентонитовая глины; б – фосфорный шлак; в – золошлаковая смесь
Fig. 1. Metallographic analysis of the raw material components:
a – bentonite clay; b – phosphorous slag; c – ash and slag mixture

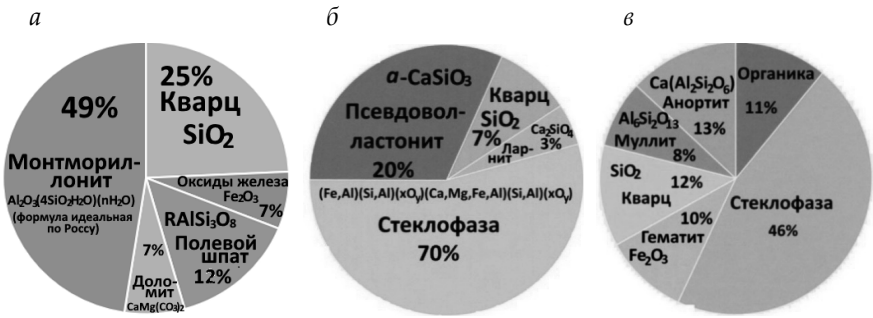


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов:
а – бентонитовая глина; б – фосфорный шлак; в – золошлаковая смесь
Fig. 2. Mineralogical composition of the raw material components:
a – bentonite clay; b – phosphorous slag; c – ash and slag mixture

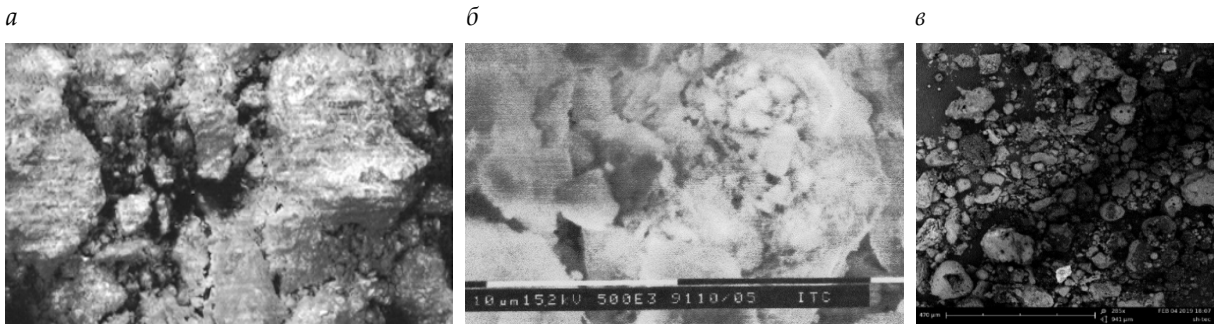


Рис. 3. Микроструктура сырьевых компонентов:
а – бентонитовая глина; б – фосфорный шлак; в – золошлаковая смесь
Fig. 3. Microstructure of the raw material components:
a – bentonite clay; b – phosphorous slag; c – ash and slag mixture

Золошлаковая смесь образуется от сжигания горючих сланцев. Горючие сланцы при сгорании порождают золошлаковые смеси, технические и технологические показатели и свойства которых показаны в табл. 1–4 и на рис. 1–3.

Технология получения керамического кирпича и его показатели

Для получения кирпича использовалась классическая технология, которая аналогична технологии, представленной в работах [1–2]. Сырьевые компоненты – бентонитовая глина, фосфорный шлак и золошлаковая смесь после просушки до влажности не более 5 % размельчались до прохода сквозь сито с размером ячейки 1 мм, затем компоненты согласно рецепту, представленному в табл. 5, тщательно размешивали, затем смачивали до 22–24 % (до получения пластического теста).

Из полученного теста пластическим формованием изготавливали образцы размером 250×120×65 мм (размер кирпича по ГОСТу), которые высушивались до влажности не более 5 % и обжигались в муфельной печи при температуре 1000 °С. Технические (физико-механические) показатели кирпича представлены в табл. 6.

На рис. 4 показан керамический кирпич, полученный из бентонитовой глины без применения отощителей и плавней при температуре 1000 °С.

Обсуждение результатов

Исследования показали, что невозможно получить керамический кирпич из бентонитовой



Рис. 4. Кирпич из глины Смышляевского месторождения, обожженный на Тольяттинском кирпичном заводе в туннельной печи при температуре 1000 °С
Fig. 4. Clay brick from the Smyshlyaevsky deposit, fired at the Tolyatti brick factory in a tunnel furnace at a temperature of 1000 °С

(монтмориillonитовой) глины без применения отощителей (см. рис. 4), а введение в керамические композиции 25 % отощителей позволяет получить кирпич марки не выше М75 (см. табл. 6).

Анализ, осуществленный по параметрам табл. 5 и 6, показал следующее: количественный рост в композиции фосфорного шлака и золошлаковой смеси до 45 % и соразмерное снижение бентонитовой глины до 55 % ориентируют изделие на рост его технических показателей. При пролонгации процента прирастания отощителей и соразмерного убавления глины регистрируется спад показателей.

Таблица 5. Составы керамических композиций и их пластичность
Table 5. Compositions of ceramic compositions and their plasticity

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
Монтмориillonитовая глина	75	70	65	55	50
Фосфорный шлак	20	20	25	30	30
Золошлаковая смесь	5	10	10	15	20
Пластичность, безразмерная величина	25	20	15	10	8

Таблица 6. Технические показатели кирпича
Table 6. Technical indicators of bricks

Показатель	Состав				
	1	2	3	4	5
Прочность при сжатии, МПа	9,3	12,2	13,1	13,3	12,5
Прочность при изгибе, МПа	2,0	2,6	2,8	3,1	2,8
Морозостойкость, циклы	18	24	26	32	27
Водопоглощение, %	14,4	13,1	12,8	12,4	12,7
Марка кирпича	М75	М100	М125	М125	М100

Минимизация числа пластичности с 25 до 8 взаимосвязана с наращиванием в композиции отощителей с 25 до 50 %. Такое наращивание (при 50 %) разрушительно воздействует на показатели образца, на поверхности которого проявляются после обжига трещины (видимо, за счет снижения склеивающей возможности бентонитовой глины) [14]. Следовательно, предлагаемым составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 30 % фосфорного шлака и 15 % золошлаковой смеси.

Выводы

1. Выявлена невозможность создания керамического кирпича из бентонитовой глины без реализации отощителей (см. рис. 4), а введение в керамические композиции 25 % отощителей позволяет получить кирпич марки не выше М75 (см. табл. 6).

2. Анализ, проведенный по техническим показателям, показал следующее: количественный рост в композиции фосфорного шлака и золошлаковой смеси до 45 % и соразмерное снижение бентонита до 55 % ориентируют изделие на рост его технических показателей. При пролонгации процента прирастания отощителей и соразмерного убавления глины регистрируется спад показателей.

3. Минимизация числа пластичности с 25 до 8 взаимосвязана с наращиванием в композиции отощителей с 25 до 50 %. Такое наращивание разрушительно воздействует на показатели образца, на поверхности которого проявляются после обжига трещины (видимо, за счет снижения склеивающей возможности бентонитовой глины). Следовательно, предлагаемым составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 30 % фосфорного шлака и 15 % золошлаковой смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлака и ферропыли Актыобинской области в производстве сейсмостойкого кирпича / Н.Ю. Нарыжная, Е.Г. Сафронов, Е.М. Силинская, В.З. Абдрахимов // Уголь. 2021. № 10. С. 33–37. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.

2. Экологическая целесообразность рециклинга золошлака в производстве стеновых материалов и оптимизация керамических масс по техническим показателям / Е.Г. Сафронов, С.М. Силинская, Н.Ю. Нарыжная, В.З. Абдрахимов // Уголь. 2021. № 6. С. 44–49. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.

3. Перспективы использования промышленных отходов для получения керамических строительных материалов / Д.В. Макаров, Р.Г. Мелконян, О.В. Суво-

рова, В.А. Кумарова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 5. С. 254–281.

4. Башорина О.В. Теоретико-методологические основы экологизации российской экономики // Журнал экономической теории. 2018. № 3. С. 243–247.

5. Абдрахимов В.З. Влияние золошлаковой смеси на технические показатели с использованием регрессивного анализа и фазовый состав керамического кирпича // Известия КГАСУ. 2024. № 2(68). С. 92–104. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.8.

6. Абдрахимов В.З. Влияние аргиллитоподобных отходов флотации углеобогащения на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия вузов. Строительство. 2025. № 1. С. 76–87. DOI: 10.32683/0536-1052-2025-793-1-76-87.

7. Астафьева О.Е. Применение золошлаковых отходов в промышленности строительных материалов // Уголь. 2024. № 2. С. 85–88. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88.

8. Задора П.А. Влияние золошлаковых отходов ТЭС на плотность и прочность керамического черепка // Путь в науку. Прикладные науки. Строительство. 2019. № 29. С. 173–174.

9. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-июнь 2020 года // Уголь. 2020. № 9. С. 35–47. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-35-47.

10. Горбачева Н.В. Угольная генерация в условиях нового индустриального развития // Мировая экономика и международные отношения. 2016. Т. 60, № 6. С. 42–51. DOI: 10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51.

11. Marsh P. The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production. New Haven, Yale University Press. 2012. 311 p.

12. Васильева В.Д. Топливо-энергетический комплекс России: проблемы и перспективы развития // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 2. С. 26–31.

13. Абдрахимов В.З. Получение керамических стеновых материалов на основе монтмориллонитовой глины и «хвостов» обогащения полиметаллических руд // Строительство и реконструкция. 2022. № 4. С. 132–138. DOI: 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138.

14. Абдрахимов В.З. Влияние фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия КГАСУ. 2024. № 3(69). С. 15–26. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.2.

REFERENCES

1. Naryzhnaya N.Yu., Safronov E.G., Silinskaya E.M., Abdrakhimov V.Z. Economic and practical expediency of using ash slag and ferropyl of Aktobe region in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol' [Coal]*, 2021, no. 10, pp. 33–37. (in Russian) DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37

2. Safronov E.G., Silinskaya E.M., Naryzhnaya N.Yu., Abdrakhimov V.Z. Ecological feasibility of ash and slag recycling in the production of wall materials

and optimization of ceramic masses according to technical indicators. *Ugol'* [Coal], 2021, no. 6, pp. 44–49. (in Russian) DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49

3. Makarov D.V., Melkonyan R.G., Suvorova O.V., Kumarova V.A. Prospects for the use of industrial waste for the production of ceramic building materials. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten'* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2016, no. 5, pp. 254–281. (in Russian)

4. Bashorina O.V. Theoretical and methodological foundations of greening the Russian economy. *Zhurnal jekonomicheskoy teorii* [Journal of Economic Theory], 2018, no. 3, pp. 243–247. (in Russian)

5. Abdrakhimov V.Z. Influence of ash and slag mixture on technical parameters using regression analysis and phase composition of ceramic bricks. *Izvestija KGASU* [News of KGASU], 2024, no. 2(68), pp. 92–104. (in Russian) DOI: 10.48612/NewsKSUAЕ/68.8

6. Abdrakhimov V.Z. Influence of argillite-like wastes of coal enrichment flotation on technical parameters and phase composition of ceramic bricks. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo* [News of Universities. Construction], 2025, no. 1, pp. 76–87. (in Russian) DOI: 10.32683/0536-1052-2025-793-1-76-87

7. Astafieva O.E. Use of ash and slag waste in the construction materials industry. *Ugol'* [Coal], 2024, no. 2, pp. 85–88. (in Russian) DOI: 10.18796/0041-5790-2024-2-85-88

8. Zadora P.A. Influence of ash-slag wastes of thermal power plants on the density and strength of ceramic shards. *Put' v nauku. Prikladnye nauki. Stroitel'stvo* [Path to science. Applied sciences. Construction], 2019, no. 29, pp. 173–174. (in Russian)

9. Tarazanov I.G., Gubanov D.A. Results of the coal industry in Russia for January-June 2020. *Ugol'* [Coal], 2020, no. 9, pp. 35–47. (in Russian) DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-35-47

10. Gorbacheva N.V. Coal generation in the context of new industrial development. *Mirovaja jekonomika i mezhdunarodnye otnoshenija* [World Economy and International Relations], 2016, vol. 60, no. 6, pp. 42–51. (in Russian) DOI: 10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51

11. Marsh P. The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production. New Haven, Yale University Press. 2012. 311 p.

12. Vasilyeva V.D. Fuel and energy complex of Russia: problems and development prospects. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki* [Scientific Review. Pedagogical Sciences], 2019, no. 2, pp. 26–31. (in Russian)

13. Abdrakhimov V.Z. Production of ceramic wall materials based on montmorillonite clay and “tailings” of polymetallic ore beneficiation. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija* [Construction and Reconstruction], 2022, no. 4, pp. 132–138. (in Russian) DOI: 10.33979/2073-7416-2022-102-4-132-138

14. Abdrakhimov V.Z. Influence of phosphorus slag on technical parameters and phase composition of ceramic bricks. *Izvestija KGASU* [News of KGASU], 2024, no. 3(69), pp. 15–26. (in Russian) DOI: 10.48612/NewsKSUAЕ/69.2

Об авторах:

САФРОНОВ Евгений Геннадьевич

кандидат экономических наук, доцент,
доцент кафедры экономики промышленности
и производственного менеджмента
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

АБДРАХИМОВ Владимир Закирович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры землеустройства и экологии
Самарский государственный экономический
университет
443090, Россия, г. Самара, ул. Советской Армии, 141
E-mail: 3375892@mail.ru

SAFRONOV Evgeny G.

PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Industrial Economics
and Production Management Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya st., 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

ABDRAKHIMOV Vladimir Z.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Professor of the Land Management and Ecology Chair
Samara State University of Economics
443090, Russia, Samara, Soviet Army st., 141
E-mail: 3375892@mail.ru

Для цитирования: Сафронов Е.Г., Абдрахимов В.З. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлаковой смеси и фосфорного шлака в производстве керамического кирпича на основе бентонитовой глины // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 3. С. 61–67. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.08. For citation: Safronov E.G., Abdrakhimov V.Z. Economic and practical feasibility of using ash and slag mixture and phosphoric slag in the production of ceramic bricks based on bentonite clay. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 61–67. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.08.

Принята: 05.06.2025 г.