



Влияние золошлаковых отходов на технические показатели керамического кирпича на основе отхода цветной металлургии без применения природного традиционного сырья

А.В. Балановская¹, Е.С. Абдрахимова²✉

¹Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

²Самарский университет (Национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королёва), Самара, Россия

Аннотация. В статье представлен рециклинг глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, являющейся техногенным сырьем цветной металлургии, и использование ее в качестве глинистой связующей. Также в статье рассматриваются золошлаковые отходы в роли отощителя и выгорающей добавки для получения керамического кирпича без применения традиционных естественных материалов. Для анализа поэлементного химического состава и микроструктуры сырьевых компонентов использовался растровый электронный микроскоп JSM 6390A фирмы Jeol. Петрографические исследования сырьевых компонентов анализировались с использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопом МИН-8 и МИН-7. В роли связующей, для процесса производства керамического кирпича, использовалась глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, которая является техногенным сырьем цветной металлургии, а в качестве отощителя и выгорающей добавки золошлаковые отходы. В статье также представлена классическая технология производства кирпича: измельчение, перемешивание, пластическое формование, сушка и обжиг кирпича. Выявлено, что возрастание важнейших показателей керамического кирпича происходит при внедрении в составы керамических масс до 20 % золошлаковых отходов. Установлено, что увеличение содержания золошлаковых отходов с 10 до 30 % снижает пластичность шихты с 22 до 9. Оно способствует образованию трещин на поверхности кирпича при его формовании, поэтому оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 20 % золошлаковых отходов.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд, керамический кирпич, технические показатели

Для цитирования: Балановская А.В., Абдрахимова Е.С. Влияние золошлаковых отходов на технические показатели керамического кирпича на основе отхода цветной металлургии без применения природного традиционного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 1. С. 44–53. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-44-53>. EDN: AKHVHQ.

Original article

Influence of ash and slag waste on the technical properties of ceramic bricks made from non-ferrous metallurgical waste without the use of conventional natural raw materials

Anna V. Balanovskaya¹, Elena S. Abdrakhimova²✉

¹Samara State University of Economics, Samara, Russia

²Samara University (National Research University named after Academician S.P. Korolev), Samara, Russia

Abstract. This paper examines the recycling of the clay part of the gravity tailings of zircon-ilmenite ores, which is a man-made raw material for non-ferrous metallurgy, as well as its use as a clay binder. Additionally, ash and slag waste as a leaner and burnout additive for obtaining ceramic bricks without the use

© Балановская А.В., Абдрахимова Е.С., 2025

of traditional natural materials are studied. A Jeol JSM 6390A scanning electron microscope was used to analyze the elemental chemical composition and microstructure of the raw materials. Petrographic studies of the raw materials were analyzed using immersion liquids, transparent sections, and polished sections under a MIN-8 and MIN-7 microscope. The clay part of the tailings of zircon-ilmenite ores was used as a binder for the ceramic brick production process, and ash and slag waste were used as a leaner and burnout additive. The classic technology of brick production is considered including crushing, mixing, plastic molding, drying, and firing of bricks. A growth of the most important indicators of ceramic bricks was found when introducing up to 20% of ash and slag waste into the compositions of ceramic masses. Moreover, the plasticity of the batch reduces from 22 to 9 with an increase in the content of ash and slag waste from 10% to 30%. As it contributes to the formation of cracks on the surface of the brick during its molding, 20% of ash and slag waste is concluded to be the optimal composition for M125 bricks.

Keywords: ash and slag waste, clay part of the gravity "tails" of zircon-ilmenite ores, ceramic bricks, technical indicators

For citation: Balanovskaya A.V., Abdрахимова E.S. Influence of ash and slag waste on the technical properties of ceramic bricks made from non-ferrous metallurgical waste without the use of conventional natural raw materials. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(1): 44-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-1-44-53>. EDN: AKHVHQ.

ВВЕДЕНИЕ

Уголь оценивается как максимально используемый и широкодоступный вид топлива, а его резервов, усредненных в мировом масштабе, хватит более чем на 100 лет. Россия находится на втором месте по установленным резервам угля, причем данное топливо может использоваться еще 400 лет [1].

За счет экспоненциального приращения потребления электроэнергии и тепла, по анализу и мониторингу Международного экономического агентства, до 2035 г. процент потребления угля только возрастет, т. к. в генерации электроэнергии он удерживает доминирование, в результате чего образуются в больших количествах золошлаковые отходы (ЗШО).

Необходимо установить разницу между твердыми коммунальными отходами (утвержденный термин мусора от жителей) и отходами производства – техногенным сырьем [2]. ЗШО является конгломератом золы и шлака – это минеральная часть несгоревшего угля, т. е. его остаток в виде камней.

При длительном содержании ЗШО в золоотвалах естественные источники, такие как дождевые и талые течения (потоки), ветровые порывы, бури, ураганы, бураны, вихри и т. д. провоцируют выдувание и размывание (распространение) техногенного сырья.

По этой причине не только атмосфера, почва и водоемы, но и подземные воды загрязняются элементами токсичного происхождения, пылью, мельчайшими частицами, тяжелыми вредными металлами и хлористыми соединениями.

Вопросам рециклинга ЗШО ведущие государства уделяют не только больше внимания,

но и денежных средств, по сравнению с Россией. Рециклинг или утилизация ЗШО в России составляет 12 %, в Германии и Франции оценивается в 70 %, а в Финляндии – 90 %, что допускает исключение золоотвалов [3].

Рекордный сегмент, формируемый и утилизируемый ЗШО, находится в Китае, причем заметные скорости увеличения ЗШО не оказали влияния на процент утилизации, который находится в пределах 70 %. По образованию ЗШО второе место занимает Индия. В Индии утилизируется ЗШО в интервале 65–70 % [4–6]. Анализ и мониторинг по выигрышной деятельности рециклинга ЗШО отмечены в Китае, Австралии, США, Индии и Японии [4, 7]. Максимальное количество перерабатываемых ЗШО в Китае отмечается в строительной отрасли – 89–91 %. Под воздействием металлургических производств масштабные площади становятся промзонами, которые охватывают районы не только с повышенным количеством населения, но и сельскохозяйственные угодья, зоны с водными бассейнами, территории, рассчитанные для строительства зданий для жилья и сооружений для различных производств [8–11]. Следовательно, обостряется экологическая ситуация для промышленно-урбанизированных территорий. Специфичность металлургических производств способствует негативным контактам отходов производств не только с окружающей средой, но и еще с состоянием здоровья населения, присутствующего на данной территории. Масштабное содержание крупнотоннажных отходов производств металлургии способствует загрязнению почвы, близлежащих водоемов и отравлению экологических систем [12, 13]. По уровню

загрязнения окружающей среды металлургические предприятия следуют сразу за топливно-энергетическим комплексом. Стоит отметить, что в металлургической промышленности первенство захватила цветная металлургия [13–14].

По данным некоторых экологов и исследователей, зародившаяся экологическая опасность классифицируется как дефицит редуцентов, которые относятся к группе «мусорщиков». Эти «мусорщики», из-за радикального увеличения объема техногенного сырья, уже не в состоянии ликвидировать (или разложить) такой контингент отходов на микросоставляющие [13]. Образовавшиеся отходы производств не имеют полного сходства по химическому составу с природными естественными материалами, поэтому ощущается нехватка бактерий (микроорганизмов), редуцентов, для разложения отходов [14–16]. Комплексное материаловедение предусматривает формирование безотходных технологий, регламентирующих повторное использование отходов производств по изготовлению для населения необходимой продукции. Рециклинг отходов производств в производство различных товаров сэкономит субсидирование на геологоразведочные работы и функционирование карьера. В итоге предложенного рециклинга освобождаются пространства от негативного влияния антропогенных мутантов. Истощение доминирующих для производства керамического кирпича сырьевых компонентов показало, что необходима ротация естественного природного сырья на техногенное сырье. Она позволит не только производить различную продукцию, но и будет способствовать охране экологических систем. Следовательно, цель работы заключается в рециклинге глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ), являющейся техногенным сырьем цветной металлургии, и ее использование в качестве глинистой связующей, и ЗШО – в роли отощителя и выгорающей добавки для получения керамического кирпича без применения традиционных естественных материалов.

МЕТОДЫ

В настоящей работе для анализа поэлементного химического состава и микроструктуры сырьевых компонентов был использован один из современных растровых электронных микроскопов JSM 6390A фирмы Jeol (Япония). Петрографические исследования сырьевых компонентов анализировались с использованием иммерсионных жидкостей, прозрачных шлифов и аншлифов под микроскопом МИН-8 и МИН-7.

На микроскопе МИН-8М, при увеличении в 200 раз размера частиц ГЦИ и ЗШО, был проведен анализ с помощью металлографического метода.

Частицы, после растворения в спирте, наносились на стекло и фотографировались. Для того, чтобы определить более точно размеры частиц, было заснято несколько участков объекта.

Используя шкалу объекта микрометра (1 дел. = 0,001 мм), можно определить средний размер частиц отходов.

Базовые химико-физические показатели и технологические свойства ГЦИ и ЗШО, такие как фракционный состав, пластичность, усадка, водопоглощение, прочность и т. д., определялись и анализировались по лабораторным практикумам и другим работам [17, 18].

Технические показатели керамического кирпича определялись по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия».

В роли связующей, для процесса производство керамического кирпича, использовалась ГЦИ, которая является техногенным сырьем цветной металлургии, а в качестве отощителя и выгорающей добавки – ЗШО.

Химические составы, оксидный и поэлементный, используемых техногенных сырьевых материалов, представлены в табл. 1 и 2, фракционный в табл. 3.

Технологические свойства рассмотрены в табл. 4. На рис. 1. представлено электронное фото, минералогический состав на рис. 2, а металлографический на рис. 3.

Таблица 1. Усредненный оксидный химический состав техногенного сырья
Table 1. Average oxide chemical composition of technogenic raw materials

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	ППП
ГЦИ	59,59	22,43	6,74	1,28	1,54	1,58	7,04
ЗШО	46,04	16,18	9,12	4,68	1,23	3,54	19,21

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

Таблица 2. Поэлементный химический состав техногенного сырья
Table 2. Element-by-element chemical composition of man-made raw materials

Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
ГЦИ	2,18	51,26	0,26	0,54	15,45	24,8	0,32	0,2	4,87
ЗШО	7,80	50,21	1,05	0,91	12,3	18,2	0,92	3,05	6,12

Таблица 3. Фракционный состав техногенного сырья
Table 3. Fractional composition of technogenic raw materials

Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
ГЦИ	0,8	8,1	12,1	21,0	58
ЗШО	15,2	34,1	34,7	11,48	4,51

Таблица 4. Технологические показатели техногенного сырья
Table 4. Technological indicators of technogenic raw materials

Техногенное сырье	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °C		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
ГЦИ	450	1490	1520	1580
ЗШО	1600	1270	1300	1390

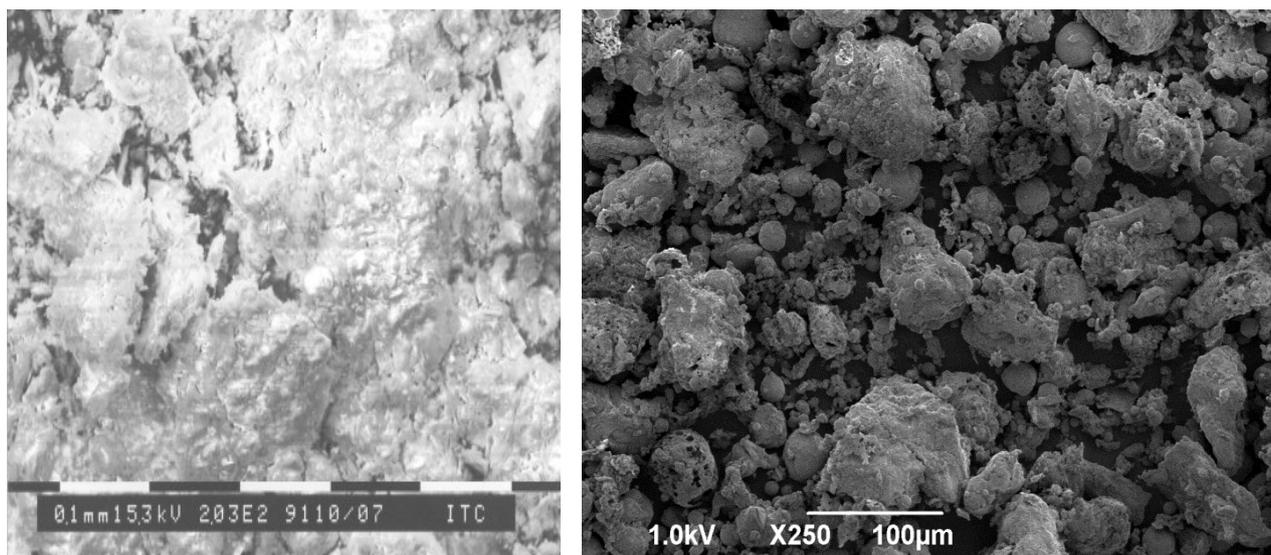


Рис. 1. Микроструктура сырьевых материалов: а – ГЦИ; б – ЗШО.
 Увеличение: а – $\times 1000$; б – $\times 250$
Fig. 1. Microstructure of raw materials: а – GCI; б – ZCO.
 Magnification: а – $\times 1000$; б – $\times 250$

Глинистая часть «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд (ГЦИ) представляет собой тугоплавкую глину, которая имеет сложный минеральный состав, включающий, в отличие от традиционных тугоплавких глин, до десяти минералов, и имеет повышенное содержание оксида железа (Fe_2O_3 более 5 %). Караоткельское месторождение циркон-ильменитовых руд находится в Восточном Казахстане в 250

км от г. Усть-Каменогорска. По оценке геологов, запасы ГЦИ составляют 230–240 млн. т, что значительно превышает запасы используемых в настоящее время Веселовского, Артемовского, Нижне-Увельского (Россия) и Целиноградского (Казахстан) месторождений. ГЦИ получается после дезинтеграции и грохочения руды в виде суспензии влажностью 37–45 % [19–22].

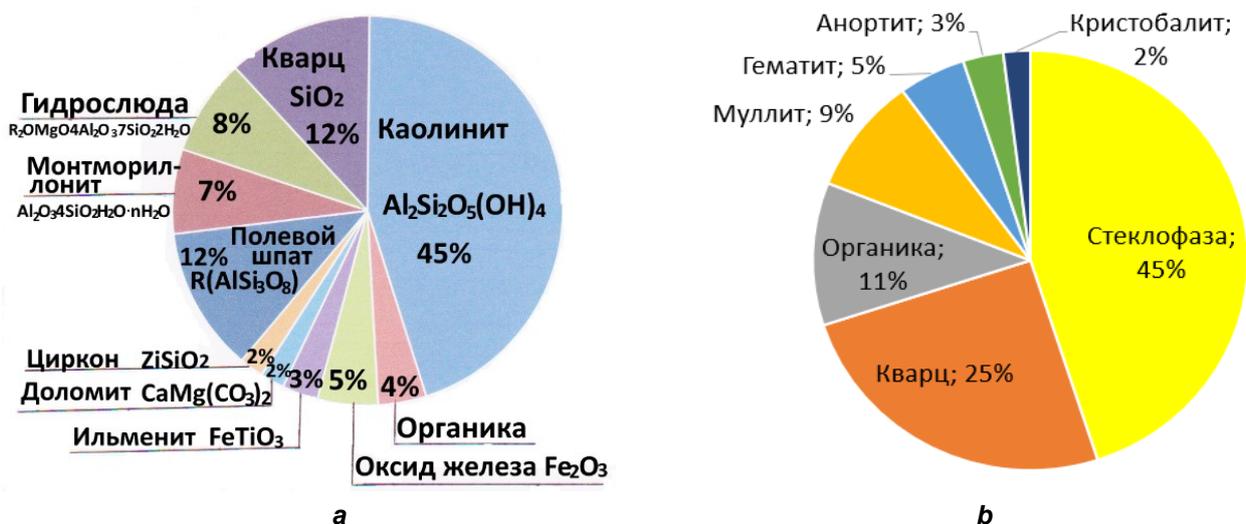


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых материалов: а – ГЦИ; б – ЗШО
 Fig. 2. Mineralogical composition of raw materials: a – GCI; b – ZCO

ГЦИ зарождается в виде гомогенной суспензии микрогравитационным способом с влажностью 37–45 %, плотность 2,36–2,42 г/см³ после грохочения и дезинтеграции добываемой руды, данное техногенное сырье достаточно хорошо проанализировано в работах [19–22]. Исследуемый глинистый компонент – полуокисное глинистое сырье (по содержанию Al_2O_3) с повышенным содержанием красящих оксидов (Fe_2O_3 более 3 %).

ГЦИ относится к дисперсному сырью (содержание частиц размером <0,001 мм 58 %), по пластичности – к среднепластичному (число пластичности 21–23), по чувствительности к сушке – к среднечувствительному, по огнеупорности – к тугоплавкому (огнеупорность 1580 °С), по спекаемости – сильноспекающееся сырье с интервалом спекания 120–150 °С. Металлографический анализ ГЦИ представлен на рис. 3.

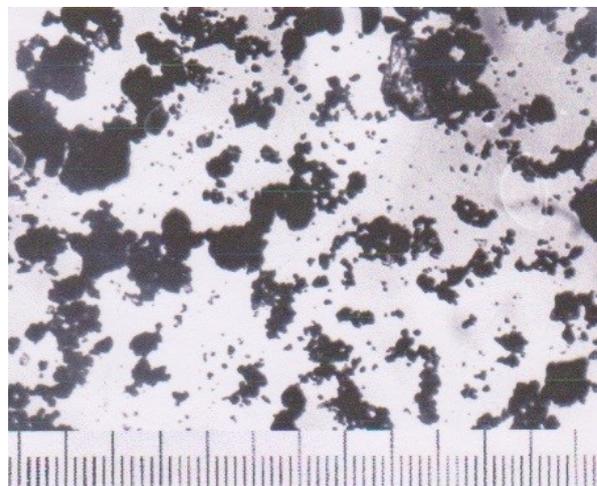
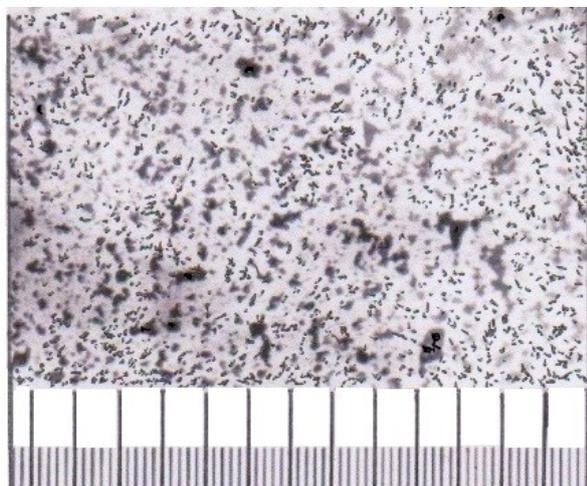


Рис. 3. Металлографический анализ: а – ГЦИ; б – ЗШО
 Fig. 3. Metallographic analysis: a – GCI; b – ZSHO

В качестве отощителя и выгорающей добавки использовался золошлаковый отход АО «Актобе ТЭЦ», химический состав которого представлен в таблицах и на рисунках.

Согласно металлографическому анализу, в образцах к среднему размеру можно отнести

частицы от 8 до 15 мкм, но встречаются и размером до 55 мкм. ЗШО достаточно хорошо проанализирован в работах [22–24]. ГЦИ и ЗШО после снижения влаги (атмосферной, карьерной и т. д.) до 5 % перемалывались до прохождения сквозь сито при размере ячейки 1 мм.

Размельченные компоненты (до размера менее 1 мм), согласно рецепту, представленному в табл. 5, тщательно перемешивались. После тщательного перемешивания композиция (шихта) смачивалась до влажности 21–23 % (с учетом количества в составах глинистого компонента). Из гомогенизированной тестообразной консистенции пластическим изготовлением произведены образцы (с учетом

требования ГОСТа размером 250×120×65 см), которые в сушильном шкафу доводили до влажности не более 5 %.

Полученный полуфабрикат подвергался термообработке при 1000 °С и выдержки в течение одного часа.

В табл. 6 приведены технические (физико-механические) показатели керамического кирпича.

Таблица 5. Составы, пластичность шихты и показатели после сушки полуфабрикатов

Table 5. Compositions, plasticity of the charge and indicators after drying of semi-finished products

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
ГЦИ	100	90	85	80	70
ЗШО	–	10	15	20	30
Пластичность, безразмерная величина	22	19	15	11	9
Усадка высушенного образца, %	6,5	6,1	5,6	4,9	4,5

Таблица 6. Технические показатели кирпича

Table 6. Technical indicators of bricks

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
Прочности при сжатии, МПа	11,5	12,2	13,8	14,7	12,4
Прочности при изгибе, МПа	2,3	2,6	3,0	3,4	2,9
Морозостойкость, циклы	21	25	31	39	27
Водопоглощение, %	14,7	13,2	12,0	11,4	12,5
Марочность кирпича	M100	M100	M125	M125	M100

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На кирпичных заводах обжиг кирпича производится в интервале 950–1050 °С с учетом состава изделия. Эксперименты показали, что керамический кирпич, изготовленный только из ГЦИ и без применения отощителей, будет соответствовать марке М100. Информация, полученная из табл. 5 и 6, продемонстрировала, что увеличение количества ЗШО в керамической массе до 20 % и пропорционально снижение глинистой составляющей до 80 %, благоприятствует увеличению технических показателей. Последующее повышение ЗШО (более 20 %) и уменьшение глинистого связующего способствует снижению технических показателей. Но рост ЗШО с 10 до 30 % заметно понизит число пластичности с 22 до 9, в результате чего при формовании кирпича на его поверхности появятся трещины, т. к. будет недостаточная связующая способность. Рациональным конгломератом, состоящим из техногенного сырья, для производства кирпича не ниже марки 125, целесообразно использовать состав, включающий 20 % ЗШО, следовательно, таким может служить состав № 4 (табл. 6). Согласно требованиям ГОСТ 9169-2021 «Глинистое сырье.

Классификация», глины и отощители, имеющие в своем составе избыточное количество оксида железа ($Fe_2O_3 > 3\%$), воспринимаются как сырье с повышенным количеством красящихся оксидов. Количество оксида железа в ГЦИ более 5 % ($Fe_2O_3 = 6,74\%$), а в ЗШО более 9 % ($Fe_2O_3 = 9,12\%$), поэтому в керамическом кирпиче с использованием такого техногенного сырья образуется гематит [26–28]. Гематит, как показал анализ этих работ, идентифицируется как стержневой железистый минерал, который содействует росту в интервале температур 1000–1050 °С железистого стекла, которое упрочняет керамический кирпич.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ показателей кирпича, без употребления ЗШО, соответствует только марке изделия М100.

2. Зафиксировано, что возрастание важнейших показателей керамического кирпича связано с внедрением в составы керамических масс до 20 % ЗШО, и наоборот, рост содержания ЗШО в керамической массе уже начинает снижать эти показатели.

3. Выявлено, что увеличение содержания ЗШО с 10 до 30 % снижает пластичность шихты (керамической массы) с 22 до 9. Такое снижение способствует образованию трещин на поверхности кирпича при его формовании (низкая связующая способность), поэтому оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 20 % ЗШО.

4. Установлено, что количество оксида железа в ГЦИ более 5 % ($Fe_2O_3 = 6,74\%$), а в ЗШО более 9 % ($Fe_2O_3 = 9,12\%$), поэтому в керамическом кирпиче образуется гематит, который

идентифицируется как стержневой железистый минерал, который содействует росту в интервале температур 1000–1050 °С железистого стекла, которое упрочняет кирпич.

5. Выявлено, что использование крупнотоннажных отходов в производстве керамических материалов строительного направления, без употребления натурального ресурсного сырья, указывает на рециклирование техногенного сырья, экологическую защиту окружающей среды и увеличение потребительской основы для комплектования производства керамического кирпича.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Горбачева Н.В. Угольная генерация в условиях нового индустриального развития // *Мировая экономика и международные отношения*. 2016. Т. 60. № 6. С. 42–51. <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51>. EDN: WFGGCH.
2. Абдрахимов В.З. Влияние фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // *Известия КГАСУ*. 2024. № 3 (69). С. 15–26. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/69.2>. EDN: DKLSYS.
3. Игумина В.А., Карючина А.Е., Ровенских А.С. Анализ способов утилизации золошлаковых отходов // *Исследования молодых ученых. Материалы VI Международной научной конференции* (г. Казань, 20–23 января 2020 г.). Казань, 2020. С. 21–24. EDN: OLAKXT.
4. Золотова И.Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твердого топлива угольных ТЭС // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 7. С. 123–128. EDN: TGKIVS.
5. Shu-Hua Ma, Min-Di Xu, Qiqige, Xiao-Hui Wang, Xiao Zhou Challenges and Developments in the Utilization of Fly Ash in China // *International Journal of Environmental Science and Development*. 2017. Vol. 8. Iss. 11. P. 781–785. <http://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.11.1057>.
6. Sharma V., Akhai S. Trends in Utilization of Coal Fly Ash in India: A Review // *Journal of Engineering Design & Analysis*. 2019. Vol. 2. Iss. 1. P. 12–16.
7. Jian Ding, Shuhua Ma, Shirley Shen, Zongli Xie, Shili Zheng, Yi Zhang Research and Industrialization Progress of Recovering Alumina from Fly Ash: A Concise Review // *Waste Management*. 2017. Vol. 60. P. 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.009>.
8. Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов металлургии в производстве кислотоупоров без применения традиционного природного сырья // *Региональная архитектура и строительство*. 2024. № 4 (61). С. 54–62. https://doi.org/10.54734/20722958_2024_4_54. EDN: AGKFNG.
9. Patel A., Enman J., Gulkova A., Guntoro P.I., Dutkiewicz A., Ghorbani Y. [et al.] Integrating Biometallurgical Recovery of Metals with Biogenic Synthesis of Nanoparticle // *Chemosphere*. 2021. Vol. 263. P. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128306>.
10. Yakun Zhang, Zhensheng Xiong, Liming Yang, Zhong Ren, Penghui Shao, Hui Shi [et al.] Successful Isolation of a Tolerant Co-Flocculating Microalgae Towards Highly Efficient Nitrogen Removal in Harsh Rare Earth Element Tailings (Rees) Wastewater // *Water Research*. 2019. Vol. 166. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115076>.
11. Politaeva N.A., Smyatskaya Y.A., Dolbnya I.V., Sobgaida D.S. Microalgae Biotechnology Multiple Use of Chlorella Sorokiniana // *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals* (Saint-Petersburg, 27–29 November 2019). Saint-Petersburg, 2021. P. 252–261. EDN: HWSSRN.
12. Абдрахимов Д.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Влияние некоторых отходов производств цветной металлургии на физические и механические свойства кирпича // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. 2004. № 2. С. 4–9. EDN: RRYGOV.
13. Пасмурцева Н.Н. Основные тенденции и проблемы инновационного развития металлургической промышленности Российской Федерации // *Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования*. 2018. Т. 4. № 4. С. 219–231. <https://doi.org/10.21684/2411-7897-2018-4-4-219-231>. EDN: POTJEN.

14. Коряков В.Е., Шишкина А.А., Шишкина П.А. Влияние предприятий металлургической промышленности на окружающую среду и здоровье человека // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 7. С. 275–278. EDN: IQASOD.
15. Кальнер В.Д. Экологически ориентированная среда обитания – интегральный критерий качества жизни // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 11. С. 50–54. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-50-54>. EDN: SKTJEY.
16. Кряжев А.М., Гусев Т.В., Тихонова И.О., Очеретенко Д.П., Алмгрен Р. Целлюлозно-бумажное производство: устойчивое развитие и формирование экономики замкнутого цикла // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24. № 11. С. 48–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>. EDN: UPPFVO.
17. Женжурист И.А. Структура, свойства и технологии керамических материалов. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. 47 с.
18. Абдрахимов В.З., Абдрахимов А.В., Вдовина Е.В., Абдрахимова Е.С. Технология производства керамических изделий. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. 98 с. EDN: HPMKVN.
19. Abdrakhimov V.Z. Influence of Ash and Slag on the Characteristics of Heat Insulation Based on Metallurgical Waste // Coke and Chemistry. 2023. Vol. 66. P. 310–315. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700874>.
20. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Effect of an Alkaline Etching Sludge on the Technical Parameters and Phase Composition of Composite Acid-Resistant Ceramic // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2023. Vol. 57. P. 675–681. <https://doi.org/10.1134/S0040579523040024>.
21. Абдрахимов В.З. Рециклинг отходов металлургии без применения природных традиционных материалов в производство кислотоупорных материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2023. Т. 21. № 2. С. 21–28. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>. EDN: YSJML.
22. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические методы исследования минерального состава и структуры пористости глинистой части «хвостов» гравитации циркон-ильменитовых руд // Новые огнеупоры. 2011. № 1. С. 10–16. EDN: BIKIZF.
23. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Влияние золошлакового материала «АО Актобе ТЭЦ» на предельное напряжение сдвига // Уголь. 2020. № 3. С. 76–81. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-3-76-81>. EDN: MTBFNA.
24. Абдрахимов В.З., Ильина Т.А. Использование золошлакового материала в производстве пористого заполнителя способствует развитию «зеленой» экономики и транспортно-логической инфраструктуре // Уголь. 2019. № 11. С. 59–63. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-59-63>. EDN: RTIMWJ.
25. Нарыжная Н.Ю., Сафронов Е.Г., Силянская С.М., Абдрахимов В.З. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлакового материала и ферропыли Актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. 2021. № 10. С. 33–37. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>. EDN: UPMPUA.
26. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М: Стройиздат, 1977. 272 с.
27. Абдрахимов В.З. Исследование методом ЯГР-спектроскопии оксидов железа и фазового состава в керамическом кирпиче на основе отходов ТЭК // Кокс и химия. 2023. № 12. С. 29–35. https://doi.org/10.52351/00232815_2023_12_29. EDN: CZTFZH.
28. Абдразимов В.З. Рециклинг металлургического железосодержащего шлака в производстве керамического кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. № 1. С. 41–50. <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/67.5>. EDN: HGLFIE.

REFERENCES

1. Gorbacheva N.V. Coal-Fired Power in The New Industrial Development. *World Economy and International Relations*. 2016;60(6):42-51. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2016-60-6-42-51>. EDN: WFGGCX.
2. Abdrakhimov V.Z. The Effect of Phosphoric Slag On the Technical Parameters and Phase Composition of Ceramic Bricks. *News KSUAE*. 2024;3(69):15-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/69.2>. EDN: DKLSYS.
3. Iguminova V.A., Karyuchina A.E., Rovenskikh A.S. Analysis of Methods for Disposal of Ash and Slag Waste. In: *Issledovaniya molodykh uchenykh. Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Research of young scientists. Proceedings of the VI International Scientific Conference*. 20–23 January 2020, Kazan. Kazan; 2020. p. 21–24. (In Russ.). EDN: OLAKXT.

4. Zolotova I.Yu. Benchmarking Best Practices of Coal Combustion Product Utilization. *Innovatsii i investitsii*. 2020;7:123-128. (In Russ.). EDN: TGKIVS.
5. Shu-Hua Ma, Min-Di Xu, Qiqige, Xiao-Hui Wang, Xiao Zhou Challenges and Developments in the Utilization of Fly Ash in China. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2017;8(11):781-785. <http://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.11.1057>.
6. Sharma V., Akhai S. Trends in Utilization of Coal Fly Ash in India: A Review. *Journal of Engineering Design & Analysis*. 2019;2(1):12-16.
7. Jian Ding, Shuhua Ma, Shirley Shen, Zongli Xie, Shili Zheng, Yi Zhang Research and Industrialization Progress of Recovering Alumina from Fly Ash: A Concise Review. *Waste Management*. 2017;60:375-387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.06.009>.
8. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Waste in The Production of Acid Resistance Without the Use of Traditional Natural Raw Materials. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2024;4(61):54-62. (In Russ.). https://doi.org/10.54734/20722958_2024_4_54. EDN: AGKFNG.
9. Patel A., Enman J., Gulkova A., Guntoro P.I., Dutkiewicz A., Ghorbani Y. [et al.] Integrating Biometallurgical Recovery of Metals with Biogenic Synthesis of Nanoparticle. *Chemosphere*. 2021;263:1-23. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128306>.
10. Yakun Zhang, Zhensheng Xiong, Liming Yang, Zhong Ren, Penghui Shao, Hui Shi [et al.] Successful Isolation of a Tolerant Co-Flocculating Microalgae Towards Highly Efficient Nitrogen Removal in Harsh Rare Earth Element Tailings (Rees) Wastewater. *Water Research*. 2019;166:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115076>.
11. Politaeva N.A., Smyatskaya Y.A., Dolbnya I.V., Sobgaida D.S. Microalgae Biotechnology Multiple Use of Chlorella Sorokiniana. In: *Advances in Raw Material Industries for Sustainable Development Goals*. 27–29 November 2019, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg; 2021. P. 252–261. EDN: HWSSRN.
12. Abdrakhimov D.V., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The Influence of Some Wastes from Non-Ferrous Metallurgy Production On the Physical and Mechanical Properties of Bricks. *Izvestiya. Non-Ferrous Metallurgy*. 2004;2:4-9. (In Russ.). EDN: RRYGOV.
13. Pasmurtseva N.N. Main Tendencies and Problems of Innovative Development of the Metallurgical Industry in The Russian Federation. *Tyumen State University Herald. Social, Economic, and Law Research*. 2018;4(4):219-231. (In Russ.). <https://doi.org/10.21684/2411-7897-2018-4-4-219-231>. EDN: POTJEN.
14. Koryakov A.E., Shishkina A.A., Shishkina P.A. Influence of Metallurgical Industries On Ecology. *Izvestiya Tula State University*. 2019;7:275-278. (In Russ.). EDN: IQASOD.
15. Kal'ner V.D. An Ecologically Oriented Human Environment Is an Integral Criterion for The Quality of Life. *Ecology and Industry of Russia*. 2019;23(11):50-54. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-11-50-54>. EDN: CKTJEY.
16. Kryazhev A.M., Guseva T.V., Tikhonova I.O., Ocheretenko D.P., Almgren R. Responsible Pulp and Paper Production: Sustainable Development Goals and Circular Economics. *Ecology and Industry of Russia*. 2020;24(11):48-53. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-11-48-53>. EDN: UPFFVO.
17. Zhenzhurist I.A. *Structure, Properties and Technologies of Ceramic Materials*. Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2021. 47 p. (In Russ.).
18. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov A.V., Vdovina E.V., Abdrakhimova E.S. *Technology of Production of Ceramic Products*. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2007. 98 p. (In Russ.). EDN: HPMKVN.
19. Abdrakhimov V.Z. Influence of Ash and Slag on the Characteristics of Heat Insulation Based on Metallurgical Waste. *Coke and Chemistry*. 2023;66:310-315. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700874>.
20. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Effect of an Alkaline Etching Sludge on the Technical Parameters and Phase Composition of Composite Acid-Resistant Ceramic. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2023;57:675-681. <https://doi.org/10.1134/S0040579523040024>.
21. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Waste Without the Use of Natural Traditional Materials in The Production of Acid-Resistant Materials. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2023;21(2):21-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2023-21-2-21-28>. EDN: YSJML.
22. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Physicochemical Methods for Studying the Mineral Composition and Pore Structure for The Argillaceous Part Zircon-Ilmenite Ore Gravitation Tailings. *Novye ognepury*. 2011;1:10-16. (In Russ.). EDN: BIKIZF.
23. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. Effect of Ash and Slag Material from "Aktobe Thermal Power Plant" Jsc On Ultimate Shear Stress During Brick Drying. *Ugol'*. 2020;3:76-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-3-76-81>. EDN: MTBFNA.
24. Abdrakhimov V.Z., Ilyina T.A. The Use of Ash and Slag Material in The Production of Porous Aggregate Contributes to The Development of "Green" Economy and Transport and Logical Infrastructure. *Ugol'*. 2019;11:59-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-11-59-63>. EDN: RTIMWJ.

25. Narizhnaya N.Yu., Safronov E.G., Silinskaya S.M., Abdrakhimov V.Z. Economic and Practical Feasibility of Using Ash and Feropyl of the Aktobe Region in The Production of Earthquake-Resistant Bricks. *Ugol'*. 2021;10:33-37. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>. EDN: UPMPUA.
26. Pavlov V.F. *Physicochemical Principles of Firing Building Ceramics*. Moscow: Stroyizdat, 1977. 272 p. (In Russ.).
27. Abdrakhimov V.Z. Investigation by Jagr Spectroscopy of Iron Oxides and Phase Composition in Ceramic Bricks Based On Fuel and Energy Waste. *Koks i khimiya*. 2023;12:29-35. (In Russ.). https://doi.org/10.52351/00232815_2023_12_29. EDN: CZTFZH.
28. Abdrakhimov V.Z. Recycling of Metallurgical Iron-Containing in The Production of Ceramic Bricks Based On Hydrosfluidic Low-Melting Clay with an Admixture of Montmorillonite. *News KSUAE*. 2024;1:41–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/67.5>. EDN: HGLFIE.

Информация об авторах

Балановская Анна Вячеславовна,
к.э.н., доцент, начальник отдела планирования
и контроля цифровой трансформации,
Самарский государственный экономический
университет,
443090, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141,
Россия,
e-mail: balanovskay@mail.ru
Author ID: 267934

Абдрахимова Елена Сергеевна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры химии,
Самарский университет
(Национальный исследовательский университет
им. акад. С.П. Королёва),
443086, г. Самара, Московское шоссе, 34,
Россия,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
Author ID: 252634

Information about the authors

Anna V. Balanovskaya,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor,
Head of the Department of Planning and Control
of Digital Transformation,
Samara State University of Economics,
141 Soviet Army St., Samara 443090,
Russia,
e-mail: balanovskay@mail.ru
Author ID: 267934

Elena S. Abdrakhimova,
Cand. Sci (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Chemistry,
Samara University (National Research University
named after Academician S.P. Korolev,
34 Moskovskoye Sh., Samara 443090, Russia,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
Author ID: 252634

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 14.11.2024.
Одобрена после рецензирования 12.12.2024.
Принята к публикации 16.12.2024.

Information about the article

The article was submitted 14.11.2024.
Approved after reviewing 12.12.2024.
Accepted for publication 16.12.2024.