



Получение керамического стенового материала на основе горелых пород и фосфорного шлака без применения природного традиционного сырья

В.З. Абдрахимов

Самарский государственный экономический университет, Самара, Россия

Аннотация. Цель работы заключается в квалификации сырья по основным оценочным характеристикам – межсланцевая глина в качестве пластичной связующей, золошлаковая смесь в роли выгорающей добавки, а фосфорной шлак – отощитель для производства керамических стеновых материалов, без привлечения естественного натурального сырья. Для диагностирования отходов на микроструктуру поэлементный химический состав привлекался электронный микроскоп JSM 6390A фирмы Jeol (Япония). При петрографическом диагностировании сырья применялись иммерсионные жидкости, прозрачные шлифы, аншлифы, и микроскопы МИН-8 и МИН-7. В качестве сырьевых материалов были использованы отходы сланцеперерабатывающих предприятий и от сжигания сланцев – межсланцевая глина, золошлаковая смесь и фосфорный шлак. Эксперименты подтвердили, что керамический стеновой материал без вовлечения отощителей в композицию только из единственной межсланцевой глины классифицироваться изделием марки М100 не может. Экспериментально доказано, что оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, содержащий 18 % фосфорного шлака и 7 % золошлаковой смеси. Дальнейшее увеличение количества фосфорного шлака, золошлаковой смеси и соответственно уменьшение глинистой связующей приводит к снижению технических показателей. Квалифицированная утилизация или рециклинг многотоннажного техногенного сырья топливно-энергетического комплекса одно из самых востребуемых решений экологической проблемы.

Ключевые слова: фосфорный шлак, золошлаковая смесь, межсланцевая глина, керамический стеновой материал

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Получение керамического стенового материала на основе горелых пород и фосфорного шлака без применения природного традиционного сырья // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 3. С. 400–408. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-400-408>. EDN: DIEVDX.

Original article

Production of ceramic wall material based on burnt rocks and phosphoric slag without the use of natural traditional raw materials

Vladimir Z. Abdrakhimov

Samara State University of Economics, Samara, Russia

Abstract. The purpose of the work is to qualify the raw materials according to the main evaluation characteristics – shale clay as a plastic binder, ash and slag mixture as a burning additive, and phosphoric slag as a detergent for the production of ceramic wall materials, without using natural natural raw materials. An electron microscope JSM 6390A from Jeol (Japan) was used to diagnose waste for a microstructure of element-by-element chemical composition. In the petrographic diagnosis of raw materials, immersion liquids, transparent slips, full slips, and MIN-8 and MIN-7 microscopes were used. The raw materials used were waste from shale processing plants and from the burning of shale - shale clay, ash and slag mixture and phosphorous slag. Experiments have confirmed that ceramic wall material cannot be classified as an M100 product without the involvement of solvents in the composition of only a single shale clay. It has been experimentally proven that the optimal composition for obtaining M125

grade bricks is a composition containing 18% phosphorous slag and 7% ash and slag mixture. A further increase in the amount of phosphorous slag, ash and slag mixture and, consequently, a decrease in the clay binder leads to a decrease in technical performance. Qualified utilization or recycling of high-tonnage man-made raw materials of the fuel and energy complex is one of the most demanded solutions to the environmental problem.

Keywords: phosphoric slag, ash and slag mixture, inter-shale clay, ceramic wall material

For citation: Abdrakhimov V.Z. Production of ceramic wall material based on burnt rocks and phosphoric slag without the use of natural traditional raw materials. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(3):400-408. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-3-400-408> EDN: DIEVDX.

ВВЕДЕНИЕ

Общие экологические проблемы

Экологическая политика устанавливается государством с помощью комплекса мероприятий, сводов указов и законов, предложений, расчетов намерений, принципов, привязанных к факторам воздействия на экологические системы человечеством в зависимости от его жизнедеятельности касательно экологических параметров, которые будут влиять на осуществление позитивных или безвредных конкретных задач.

Интервенция антропогенных отходов промышленными предприятиями в окружающую среду спровоцировало аккумуляцию большого количества крупнотоннажного техногенного сырья на поверхности планеты, скопление которого негативно влияет на здоровье людей, почву, а водный бассейн подвергается заражению, в результате чего страдают растительный, водный и животный мир [1–3]. Промышленные отходы появляются в процессе выпуска любой продукции, хранятся в отвалах (хвостохранилищах, шламоохранилищах и пр.), тлетворно влияют на окружающую среду и экологию [4–6].

К опасным отходам следует отнести такие, которые содержатся на полигонах, отвалах, шламо- и хвостохранилищах, наносящие внушительный урон покрову из гумуса, воздушному и водному бассейнам. Масштабные территории в результате их изъятия под отходы подвергаются засолению и химической минерализации. Отходы производств зачастую, чтобы отличить от бытовых отходов, называют техногенным сырьем, которое непременно нужно утилизировать. Применяемая технология утилизации, чтобы избежать негативного влияния отходов на здоровье людей, должна учитывать агрегатное состояние техногенного сырья и его класс опасности [7–9]. Наиболее губительным техногенным сырьем для окружающей природной среды являются продукты, образовавшиеся в результате сжигания

угля, горючих сланцев – золошлаковые смеси, которые относятся крупнотоннажному техногенному сырью [5, 8, 9].

Утилизация, вторичное использование и рекуперация золошлакового материала в России пока не превышает 10 % от ежегодной выработки. В Индии такая утилизация уже превысила 50 %, в Финляндии и Великобритании более 60 %, а в Германии такое техногенное сырье полностью утилизируется [3–5, 8, 9].

Одной из глобальных экологических проблем является загрязнение природной окружающей среды техногенным сырьем, поэтому сохранение в надлежащем виде экологии становится базисной ценностью как для всего человечества, так и для планеты Земля в целом [10, 11]. В работе [12] было указано, что из более 60 техногенных сырьевых материалов предприятиями отправляется на захоронение – 23,5 %, переработку – 33,2 %, обезвреживание – 16,5 %, причем из этих работ непосредственно на предприятие производят всего 3,4 %. Следует отметить, что более 70 % техногенного сырья обезвреживается вне предприятия изготовителя.

Более того, живущее в текущее время человечество обязано принимать во внимание растущее количество крупнотоннажных отходов.

Сырьевая ситуация

Непосредственно очевидной преградой для процесса генерации и экспансии роста номенклатуры многообразных стеновых керамических материалов в XXI в. имеет прямое отношение убыль глинистых низкоплавких связующих, компонентов, предназначенных для отощения и выгорания и т. д. [13–16]. Ротация естественного сырья только на крупнотоннажные отходы топливно-энергетического комплекса (ТЭК), объемы которых сравнялись с 2 млрд т, а захлапленная территория достигла 22 000 га, в генерацию крупного потребителя сырья – стеновые материалы, понизит

деструктивные действия техногенного сырья на окружающую природную среду [17–19]. Работы [20, 21] наглядно проэкспонировали прагматичность генерации отходов горючих сланцев в керамические стеновые материалы массового потребления.

Стеновой керамический кирпич

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

В первую очередь на качество кирпича влияют химические составы техногенного сырья. Рассматриваемые оксидные химические составы техногенного сырья в настоящей работе наглядно подчеркивают, что составы их минеральной части преимущественно содержат SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , MgO , R_2O , которые тождественны составам природных глинистых материалов и отощителей, применяемых в керамических материалах строительного направления, а с повышенным содержанием потерей при прокаливании, которые в большей мере отражают содержание органики, целесообразно использовать это сырье в качестве выгорающих добавок. Оксид алюминия (Al_2O_3) в процессе создания керамического материала совершенствует его целостность, исключает деформации (благодаря сокращения усадки), наращивает прочностные показатели и морозостойкость после термообработки в интервале от 1000 до 1050 °С (температура обжига керамических стеновых материалов).

Присутствующие в техногенном сырье ТЭК оксиды кальция (CaO) и магния (MgO) при наличии плавней, для создания даже незначительного количества стеклофазы, могут причисляться к интенсификаторам спекания (флюсующий ингредиент сырья), что позитивно содействует формированию структуры.

Отощитель совершенствует технологические характеристики глинистого связующего благодаря понижению пластичности, усадки и формированию механического прочного остова [22]. Применение отощителя предоставит

возможность росту для формовочного оборудования производительности, понизит время сушки, снизит количества брака.

Плавни (или интенсификаторы спекания) усиливают спекания глины, понижают температуру спекания керамической шихты (композиции) и понижают температуру обжига керамического материала. Следует отметить, что плавни сами должны иметь низкую температуру спекания, т. е. содержать оксиды 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 более 3200–3500 ккал/кг, наиболее дешевым из них является бурый уголь, который чаще всего и используется.

Истощение качественных традиционных природных ресурсных материалов для производства изделий керамических материалов строительного направления указало на необходимость сформировать замену традиционного природного материала на сырье техногенного происхождения.

Применение отходов производств в производстве керамических строительных материалов способствует безопасности для окружающей среды.

Целью работы была классификация по основным оценочным характеристикам в качестве сырья горелых пород: межсланцевая глина в качестве пластичной связующей, золашлаковая смесь – в роли выгорающей добавки, а фосфорной шлак как отощитель для производства керамических стеновых материалов, без привлечения естественного натурального сырья.

МЕТОДЫ

Для диагностирования техногенного сырья на микроструктуру поэлементный химический состав определялся электронным микроскопом JSM 6390A фирмы Jeol (Япония), для петрографических исследований применялись иммерсионные жидкости, прозрачные шлифы, аншлифы, микроскопы МИН-8 и МИН-7, а для установления размера частиц был проведен металлографический анализ на микроскопе МИН-8М с увеличением в 200 раз. Показатели стеновых материалов фиксировали согласно ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие условия».

В качестве сырьевых компонентов были межсланцевая глина, фосфорный шлак и золашлаковая смесь. Базовые показатели и

свойства техногенного сырья приведены в таблицах (химические составы, усредненный оксидный, приведен 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 и микроструктура на рис. 3.

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	ППП
1. Межсланцевая глина	45,40	13,87	5,60	11,3	2,3	–	3,5	18,03
2. Фосфорный шлак	43,42	3,81	1,04	46,58	2,48	1,8	0,87	–
3. Золошлаковая смесь	34,40	10,35	8,78	20,28	3,38	–	2,83	19,98

Примечание: ППП – потери при прокаливании $R_2O = K_2O + Na_2O$

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
1. Межсланцевая глина	5,73	52,85	0,46	1,04	7,20	18,66	1,75	10,53	3,35	–
2. Фосфорный шлак	–	54,70	0,32	2,94	2,09	18,05	0,30	20,34	0,52	0,74
3. 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

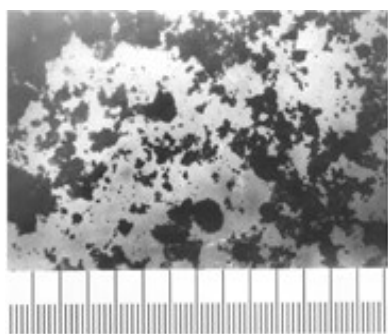
Table 3. Technological indicators of raw materials components

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °C		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавленное состояние
1. Межсланцевая глина	1200	1270	1310	1350
2. Фосфорный шлак	–	1300	1320	1350
3. Золошлаковая смесь	2000	1300	1340	1380

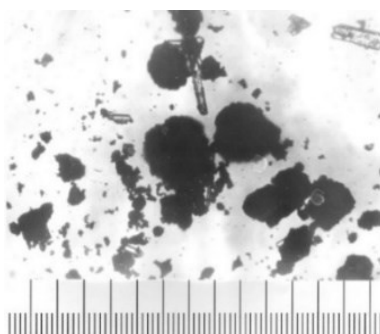
Таблица 4. Фракционный состав сырьевых компонентов

Table 4. Fractional composition of raw materials

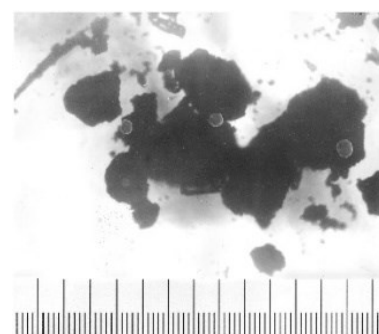
Компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,063	0,063–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
1. Межсланцевая глина	7	10	13	15	55
2. Фосфорный шлак	42	23	18	12	5
3. Золошлаковая смесь	16,84	33,41	32,49	12,68	4,58



a



b



c

Рис. 1. Металлографический анализ сырьевых компонентов:
a – межсланцевой глины; b – фосфорный шлак; c – золошлаковая смесь
Fig. 1. Metallographic analysis of the raw material components:
a – shale clay; b – phosphoric slag; c – ash and slag mixture

Межсланцевая глина образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на шахтах) г. Сызрани (Самарская область) и является отходом горючих сланцев. Использование межсланцевой глины

в качестве связующего засвидетельствовано в работах [3, 9, 10]. Технические и технологические параметры обозначены в таблицах и на рисунках. Межсланцевая глина черного цвета, размеры частичек в основном менее 10 мкм.

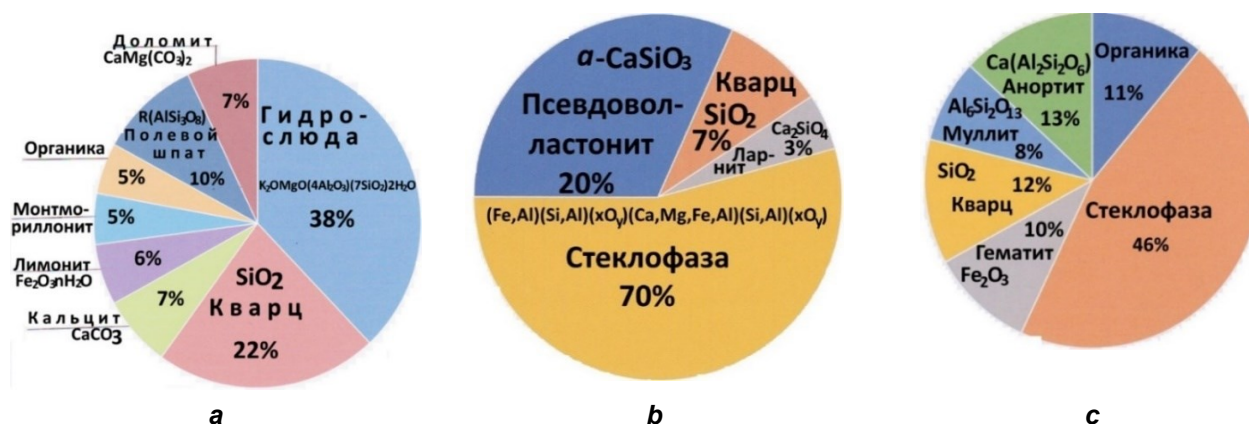


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов:
а – межсланцевая глина; б – фосфорный шлак; с – золошлаковая смесь
Fig. 2. Mineralogical composition of the raw material components:
а – shale clay; б – phosphorous slag; с – ash and slag mixture

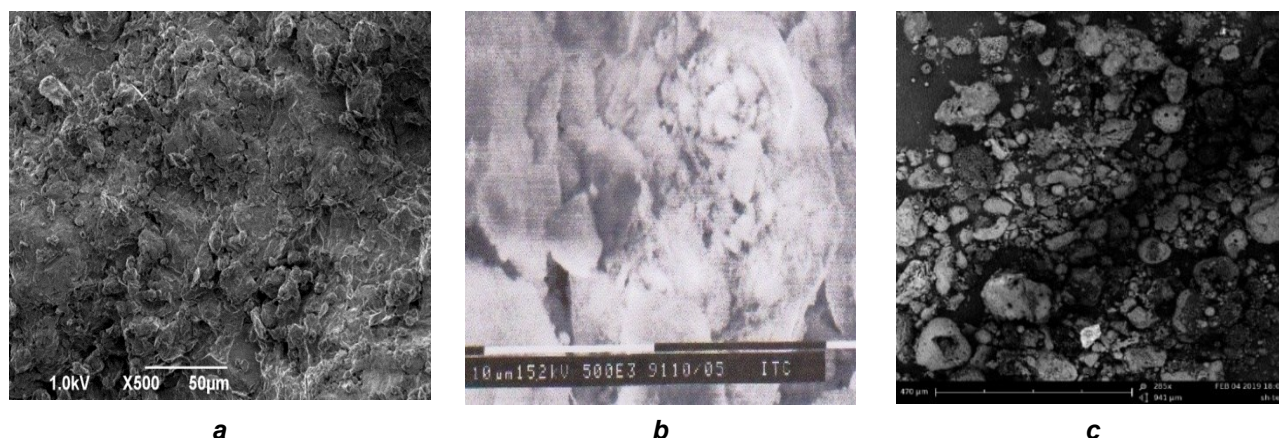


Рис. 3. Микроструктура сырьевых компонентов: а – межсланцевая глина (увеличение в 500); б – фосфорный шлак (увеличение в 5000); с – золошлаковая смесь
Fig. 3. Microstructure of the raw material components: а – shale clay (magnification x500); б – phosphoric slag (magnification x5000); с – ash and slag mixture

Фосфорный шлак образуется на заводе «Фосфор» (также «Куйбышевфосфор») в г. Тольятти. Это последствие генерации фосфора термическим способом в отрезке температур от 1300 до 1500 °С [10, 11]. Технические и технологические показатели и свойства фосфорного шлака отображены в таблицах и на рисунках.

Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев образуется на Сызранской ТЭС и утилизируется не только как отощитель, но и частично, с учетом высокой теплотворной способностью ($Q = 2000$ ккал/кг, табл. 4), как выгорающая добавка.

Технология получения керамического стенового материала и его показатели

Традиционная технология, как и в работе [9], представлена следующими операциями: подсушка сырьевых материалов, измельчение до размера не более 1 мм, перемешивание, согласно дозировке (табл. 5), пластическое формование кирпичей при влажности 21–23 % (размером 250×120×65 см, стандартный кирпич по ГОСТ), просушка до остаточной влажности не более 5 %, а затем обжиг при 1000 °С.

Технические (физико-механические) показатели представлены в табл. 6.

Таблица 5. Составы керамических масс и их пластичность
Table 5. Compositions of ceramic masses and their plasticity

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
1. Межсланцевая глина	100	90	83	75	65
2. Фосфорный шлак	–	10	12	18	25
3. Золошлаковая смесь	–	–	5	7	10
Пластичность композиции (шихты), безразмерная величина	20	17	15	12	9

Таблица 6. Технические показатели стенового материала
Table 6. Technical parameters of the wall material

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
Прочности при сжатии, МПа	9,5	12,4	13,3	13,5	12,4
Прочности при изгибе, МПа	2,1	2,7	2,9	3,2	2,9
Морозостойкость, циклы	18	25	27	34	28
Водопоглощение, %	14,7	13,3	13,1	13,0	13,2
Марочность кирпича	M75	M100	M125	M125	M100

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура обжига кирпича, с учетом конкретного состава в обстановке производства варьируется от 950 до 1050 °С. Эксперименты подтвердили, что керамический стеновой материала, без вовлечения отощителей в композицию, только из единственной межсланцевой глины не подходит под марку M100 (табл. 6).

Рост непластичных материалов с 10 до 25 % в керамических композициях (табл. 5 и табл. 6) минимизирует число пластичности с 20 до 12, но технические показатели при этом нарастают. Информация по фактическим данным табл. 5 и 6 свидетельствует о минимальном количественном содержании в керамической композиции (шихте) пластичной связующей -75 %, в противном случае (при последующем снижении) число пластичности снижается с 12 до 9, что негативно отражается на формировании образцов, на которых появляются мелкие трещины, вследствие неудовлетворительной связующей способности композиции. Вместе с тем, как показывают данные табл. 6 количественный рост непластичных материалов более 25 % заметно снижает технические показатели изделия. Предпочтительным составом для формирования кирпича марки M125 интенсифицируется состав № 4, включающий 18 % фосфорного шлака и 7 % золошлаковой смеси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Анализ композиции, состоящей только из глинистого связующего без включения отощителей, показал невозможность получение керамического стенового материала марки M100.

2. Зафиксировано, что технические показатели кирпича прогрессируют при эскалации шлака до 18 %, а смеси до 7 %, но дальнейшая эскалация непластичных материалов в композиции инициирует снижение показателей кирпича.

3. Информация по фактическим данным табл. 5 и 6 свидетельствует о минимальном количественном содержании в керамической композиции (шихте) пластичной связующей -75 %, в противном случае (при последующем снижении) число пластичности снижается с 12 до 9, что негативно отражается на формировании образцов, на которых появляются мелкие трещины, вследствие неудовлетворительной связующей способности композиции

4. Установлено, что количественный рост непластичных материалов более 25 % заметно снижает технические показатели изделия. Предпочтительным составом для формирования кирпича марки M125 интенсифицируется состав № 4, включающий 18 % фосфорного шлака и 7 % золошлаковой смеси.

5. Использование крупнотоннажных отходов производств в производстве керамических стеновых материалов способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для получения керамических материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пузатова А.В., Дмитриева М.А., Захарова А.А., Лейцин В.Н. Зола-унос при производстве бетонов различного назначения и сухих строительных смесей // Строительство и реконструкция. 2023. № 5. С. 132–147. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-132-147>. EDN: CJJALC.
2. Балановская А.В., Абдрахимова Е.С. Вопросы экологического, экономического и практического рециклинга по использованию топливно-энергетического комплекса для получения теплоизоляционных материалов // Экология промышленного производства. 2021. № 3. С. 19–26. https://doi.org/10.52190/2073-2589_2021_3_19. EDN: HBGGHW.
3. Абдрахимов В.З. Получение на основе отходов горелых пород – межсланцевой глины и цветной металлургии – шлама щелочного травления сейсмостойкого кирпича // Экологические системы и приборы. 2021. № 7. С. 25–34. <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1239>. EDN: UXKTKT.
4. Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А. Перспективы применения промышленных отходов для повышения долговечности и огнеупорности жаростойких бетонов // Строительство и реконструкция. 2023. № 2. С. 123–133. <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
5. Bouzit S., Laasri S., Taha M., Laghzizil A., Hajjaji A., Merli F. et al. Characterization of Natural Gypsum Materials and Their Composites for Building Applications // Applied Sciences. 2019. Vol. 9. P. 1–15. <http://doi.org/10.3390/app9122443>.
6. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Western Kazakhstan Raw Materials for Producing Acid-Resistant Materials // Refractories and Industrial Ceramics. 2023. Vol. 63. Iss. 6. P. 642–648. <https://doi.org/10.1007/s11148-023-00784-3>. EDN: HKJGPD.
7. Гальцева Н.А., Попов П.В., Котов Д.В., Голотенко Д.С. Вторичное использование отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5. С. 572–581. EDN: AWIEIG.
8. 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>.
9. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Oxidation Processes in the Firing of Porous Filler Based On Oil Production Wastes and Intershale Clay // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2020. Vol. 54. Iss. 4. P. 750–755. <https://doi.org/10.1134/S0040579519050026>. EDN: NWZUHD.
10. Абдрахимов В.З. Снижение экологического ущерба за счет использования отходов цветной металлургии и энергетики в производстве легковесных огнеупоров // Экологические системы и приборы. 2020. № 2. С. 23–34. <https://doi.org/10.25791/esip.02.2020.1137>. EDN: EOIRBT.
11. Баринев А.В., Кузнецова В.В. Современное состояние наличия вредных веществ и отходов производства на промышленном предприятии // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2013. № 2. С. 20–25. EDN: SCNRXB.
12. Ильина Л.А., Абдрахимов В.З. Экологические и экономические аспекты использования в производстве строительных материалов отходов топливно-энергетического комплекса и их классификация // Экологические системы и приборы. 2020. № 8. С. 28–44. <https://doi.org/10.25791/esip.08.2020.1173>. EDN: OUFYFK.
13. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R. Influence of the Addition of Dispersed Fine Polymineral Calcined Clays on the Properties of Portland Cement Paste // Advances in Cement Research. 2016. Vol. 29. Iss. 1. P. 21–32. <https://doi.org/10.1680/jadcr.16.00060>.
14. Земсков В.В., Прасолов В.И. Истощение минеральных ресурсов как угроза экономической безопасности России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Т. 11. № 10-1. С. 195–205. <https://doi.org/10.34670/AR.2021.76.61.023>. EDN: KVHANA.
15. Bogdanov A., Mavlyuberdivov A., Nurieva E. The Use of Nanosized Additives in the Modification of Brick Loam // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. P. 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404005>.
16. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-14077>. EDN: MNEMSX.
17. Бушумов С.А., Короткова Т.Г. Экологически безопасный сорбент из золошлаковых отходов теплоэнергетики // Тонкие химические технологии. 2023. Т. 18. № 5. С. 446–460. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2023-18-5-446-460>. EDN: HJLALY.
18. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of Clay Soil Components with Portland Cement and Complex Additive Based on Octyltriethoxysilane and Sodium Hydroxide // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 890. P. 1–9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012031>.
19. Abdrakhimov V.Z., Nikitina N.V. Phase Composition of Interstitial Clay and Gas Emissions on Heat Treatment // Coke and Chemistry. 2023. Vol. 66. P. 431–437. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23701028>.

20. Abdrakhimov V.Z. Combustion Kinetics of Organic Components in Firing Porous Aggregates Based on Ash and Shale Clay // *Coke and Chemistry*. 2023. Vol. 66. P. 135–143. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700655>.
21. Волочко А.Т., Подболотов К.Б., Хорт Н.А., Манак П.И. Влияние комплексных видов отходов и цветонесущего сырья на свойства изделий строительной керамики // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. 2020. № 16. С. 42–46. EDN: WUWUBG.

REFERENCES

1. Puzatova A.V., Dmitrieva M.A.I., Zakharov A.An., Leitsin V.N. Fly Ash in The Production of Concrete for Various Purpose and Dry Construction Mixtures. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2023;5:132-147. (In Russ.). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-109-5-132-147>. EDN: CJJALC.
2. Balanovskaya A.V., Abdrakhimova E.S. Issues of Environmental, Economic and Practical Recycling For the Use of the Fuel and Energy Complex for the Production of Thermal Insulation Materials. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*. 2021;3:19-26. (In Russ.). https://doi.org/10.52190/2073-2589_2021_3_19. EDN: HBGGHW.
3. Abdrakhimov V.Z. Production on the Basis of Waste of Burnt Rocks – Inter-Shale Clay and Non-Ferrous Metallurgy – Alkaline Etching Mud of Earthquake-Resistant Bricks. *Ecological Systems and Devices*. 2021;7:25-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.25791/esip.07.2021.1239>. EDN: UXKKTK.
4. Sokolova S.V.I., Baranova M.N., Vasilieva D.Ig., Kholopov Yu.A.I. Possibilities of Using Industrial Waste to Improve Heat Resistant Concrete Durability and Refractoriness. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2023;2:123-133. (In Russ.). <https://doi.org/10.33979/2073-7416-2023-106-2-123-133>. EDN: ANWVDP.
5. Bouzit S., Laasri S., Taha M., Laghzil A., Hajjaji A., Merli F. et al. Characterization of Natural Gypsum Materials and Their Composites for Building Applications. *Applied Sciences*. 2019;9:1-15. <http://doi.org/10.3390/app9122443>.
6. Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. Use of Western Kazakhstan Raw Materials for Producing Acid-Resistant Materials. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2023;63(6):642-648. <https://doi.org/10.1007/s11148-023-00784-3>. EDN: HKJGPD.
7. Galtseva N.A., Popov P.V., Kotov D.A., Golotenko D.S. Recycling of Industrial Waste. *Engineering Journal of Don*. 2022;5:572-581. (In Russ.). EDN: AWIEIG.
8. 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>.
9. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Oxidation Processes in the Firing of Porous Filler Based On Oil Production Wastes and Intershale Clay. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2020;54(4):750-755. <https://doi.org/10.1134/S0040579519050026>. EDN: NWZUHD.
10. Abdrakhimov V.Z. Reduction of Environmental Damage Due To the Use of Waste of Non-Ferrous Metallurgy and Energy in the Production of Lightweight Refractories. *Ecological Systems and Devices*. 2020;2:23-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.25791/esip.02.2020.1137>. EDN: EOIRBT.
11. Barinov A.V., Kuznetsova V.V. Modern State of Harmful Agent's and Wastes of Production Presence on the Industrial Enterprise. *Scientific and Educational Problems of Civil Protection*. 2013;2:20-25. (In Russ.). EDN: SCNRXB.
12. Ilyina L.A., Abdrakhimov V.Z. Environmental and Economic Aspects of the Use in the Production of Construction Materials Waste Of the Fuel and Energy Complex and Their Classification. *Ecological Systems and Devices*. 2020;8:28-44. (In Russ.). <https://doi.org/10.25791/esip.08.2020.1173>. EDN: OUFYFK.
13. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gaifullin A.R. Influence of the Addition of Dispersed Fine Polymineal Calcined Clays on the Properties of Portland Cement Paste. *Advances in Cement Research*. 2016;29(1):21-32. <https://doi.org/10.1680/jadcr.16.00060>.
14. Zemskov V.V., Prasolov V.I. Mineral Resources Depletion as a Threat to the Economic Security of Russia. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*. 2021;11(10-1):195-205. (In Russ.). <https://doi.org/10.34670/AR.2021.76.61.023>. EDN: KVHAHA.
15. Bogdanov A., Mavlyuberdinov A., Nurieva E. The Use of Nanosized Additives in the Modification of Brick Loam. *E3S Web of Conferences*. 2021;274:1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404005>.
16. Pichugin E.A. Analytical Review of the Experience of Involving Ash Slag Waste of Thermal Power Plants in Economic Circulation in the Russian Federation. *Regional Environmental Issues*. 2019;4:77-87. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-14077>. EDN: MNEMSX.
17. Bushumov S.A., Korotkova T.G. Environmentally Safe Sorbent From Ash-And-Slag Waste of Heat Power Engineering. *Fine Chemical Technologies*. 2023;18(5):446-460. (In Russ.). <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2023-18-5-446-460>. EDN: HJLALY.

18. Vdovin E., Mavliev L., Stroganov V. Interaction of Clay Soil Components with Portland Cement and Complex Additive Based on Octyltriethoxysilane and Sodium Hydroxide. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;890:1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/890/1/012031>.
19. Abdrakhimov V.Z., Nikitina N.V. Phase Composition of Interstitial Clay and Gas Emissions on Heat Treatment. *Coke and Chemistry*. 2023;66:431-437. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23701028>.
20. Abdrakhimov V.Z. Combustion Kinetics of Organic Components in Firing Porous Aggregates Based on Ash and Shale Clay. *Coke and Chemistry*. 2023;66:135-143. <https://doi.org/10.3103/S1068364X23700655>.
21. Valochka A.T., Podbolotov K.B., Khort N.A., Manak P.I. Influence of Complex Types of Thinners and Color-Bearing Raw Materials on the Properties of Building Ceramics Products. *Vestnik of Polotsk State University. Part F. Constructions. Applied Sciences*. 2020;16:42-46. (In Russ.). EDN: WUWUBG.

Информация об авторе

Абдрахимов Владимир Закирович,
д.т.н., профессор кафедры землеустройства
и экологии, советник РААСН,
Самарский государственный экономический
университет,
443090, г. Самара, ул. Советской Армии, 141,
Россия,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1832-2572>
Author ID: 620775

Information about the author

Vladimir Z. Abdrakhimov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department
Land Management and Ecology,
Advisor to the RAACS,
Samara State University of Economics,
141 Sovetskoi Armii St., Samara 443090,
Russia,
✉e-mail: 3375892@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1832-2572>
Author ID: 620775

Вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Автор имеет на статью исключительные
авторские права и несет ответственность
за плагиат.

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained
and prepared the copyright for publication.

Author has exclusive author's right and bear
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved
by the author.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 30.04.2025.
Одобрена после рецензирования 22.05.2025.
Принята к публикации 23.05.2025.

Information about the article

The article was submitted 30.04.2025.
Approved after reviewing 22.05.2025.
Accepted for publication 23.05.2025.