

# Экономическая целесообразность использования золошлакового материала и исследование регрессионным методом анализа влияния его на физико-механические показатели стенового материала

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-34-38>

## ИВАЕВ М.И.

Старший преподаватель ФГБОУ  
ВО «Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»,  
443010, г. Самара, Россия,  
e-mail: [ivaevmarat@ya.ru](mailto:ivaevmarat@ya.ru)

## ГАЙДУК А.Е.

Старший преподаватель  
ФГБОУ ВО «Поволжский  
государственный университет  
телекоммуникаций и информатики»,  
443010, г. Самара, Россия,  
e-mail: [gaiduk@63.ru](mailto:gaiduk@63.ru)

## САФРОНОВ Е.Г.

Канд. экон. наук, доцент,  
доцент ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
технический университет»,  
443100, г. Самара, Россия,  
e-mail: [ewgenijsafronow@yandex.ru](mailto:ewgenijsafronow@yandex.ru)

## АБДРАХИМОВ В.З.

Доктор техн. наук,  
профессор ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
экономический университет»,  
443090, г. Самара, Россия,  
e-mail: [3375892@mail.ru](mailto:3375892@mail.ru)

В современных экономических условиях при отсутствии государственного финансирования геологоразведочных работ, связанных с определением запасов традиционного природного сырья, оптимальным решением является замена его на золошлаковые материалы. Использование золошлакового материала в составах керамических масс как отощителя способствует получению стенового материала на основе легкоплавкой глины. Исследования показали, что оптимальное количество золошлакового материала (золы) в составах для получения стенового материала марки 125 (М125) – 25%. Дальнейшее увеличение содержания золы в керамических составах приводит к снижению прочности изделия. Очевидно, это связано с тем, что исследуемая зола является не только отощителем, но еще и выгорающей добавкой, которая способствует появлению пористости. Установлено, что физико-механические свойства керамического стенового материала (кирпича) нелинейно зависят от содержания в составе золошлакового материала. Для описания физико-механических зависимостей от содержания золошлакового материала рекомендуется использовать полином второй степени.  
**Ключевые слова:** золошлаковый материал, легкоплавкая глина, стеновой материал, регрессионный анализ.

**Для цитирования:** Экономическая целесообразность использования золошлакового материала и исследование регрессионным методом анализа влияния его на физико-механические показатели стенового материала / М.И. Иваев, А.Е. Гайдук, Е.Г. Сафронов и др. // Уголь. 2022. № 4. С. 34-38. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-34-38.

## ВВЕДЕНИЕ

**Экологическая ситуация.** В Российской Федерации в 21 веке около двух третей общего количества электрической и тепловой энергии поставляют теплоэлектростанции (ТЭЦ), работающие в основном на органическом топливе, например угле. А в регионах, бедных гидроэнергетическими ресурсами, теплоэлектростанции до сих пор являются основным источником энергии. Накопленные отходы от теплоэлектростанций называют золошлаковыми отвалами (ЗШО). Суммарное количество ЗШО зависит от вида топлива и составляет при сжигании: бурого угля – 10-15%; каменного угля – 15-40%; антрацита – 10-30%; торфа – 20-30%; дров -0,5-1,5%; мазута – 0,15-0,2%; сланцев – 50-80% [1, 2, 3]. Такие отвалы являются источниками повышенной экологической опасности и оказы-

вают негативное влияние не только на здоровье человека, но и на атмосферу, подземные и поверхностные воды, растительный и животный мир. ЗШО – это одна из причин отчуждения земель, которые безвозвратно изымаются из полезного пользования, например в сельском хозяйстве. Кроме того, многие золоотвалы находятся рядом с городами или даже в городской черте.

Из директивы ЕС 2008/98/ЕС следует, что для защиты окружающей среды требуется не утилизация промышленных отходов, а переработка их с целью повторного использования в каком-то новом продукте, необходимом для общества [3, 4].

Эффективная утилизация многотоннажных золошлаковых материалов – одна из актуальных экологических проблем [4, 5, 6, 7, 8]. Неограниченными возможностями использования многотоннажных отходов обладает отрасль, производящая строительные материалы [3, 4]. Это объясняется крупными масштабами строительного комплекса, его материалоемкостью и номенклатурой изделий.

**Экономическая целесообразность.** К основным направлениям в настоящее время можно отнести два метода: первый – извлечение металлов из золошлаковых материалов, второй – использование их в строительных материалах. Применение первого метода – извлечение металлов – неэффективно и нерационально, потому что проблема уменьшения территории золоотвала не решится, а вот второе направление с эколого-экономической точки зрения вполне разумное. В современных экономических условиях при отсутствии государственного финансирования геологоразведочных работ, связанных с определением запасов традиционного природного сырья, оптимальным решением является замена его на золошлаковые материалы [3, 4]. В настоящее время природные сырьевые материалы либо истощены, либо находятся от предприятия, производящего строительные материалы, на расстоянии более чем 500-1000 км, в таких случаях необходимо вовлекать в производственный оборот отходы производств, особенно для изготовления керамических материалов массового потребления. Стоимость природных традиционных сырьевых материалов для производства керамического кирпича, как известно, достигает от 30 до 45% [3, 4].

При использовании золошлаковых материалов в строительных изделиях исключаются затраты на геологоразведочные работы, строительство и эксплуатацию карьеров, освобождаются значительные земельные участки от воздействия негативных антропогенных факторов.

**Постановка задачи.** С учетом сокращения запасов традиционных отощителей и выгорающих добавок необходимо найти новые способы их замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран пока-

зал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения.

**Цель работы:** получение экономически выгодного стенового материала (кирпича) на основе легкоплавкой глины и золошлакового материала.

### СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для получения стенового материала (рис. 1) в качестве связующего использовалась легкоплавкая глина, а в качестве отощителя и выгорающей добавки – золошлаковый материал (зола).

В группу стеновых керамических материалов, наряду с керамическим обыкновенным кирпичом, входят различные виды эффективных керамических материалов (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легковесный, пустотелые камни). Химические составы сырьевых компонентов представлены в табл. 1, а минералогические на рис. 2.

**Бейделлитовая глина.** Бейделлитовая глина Образцовского месторождения Самарской области характеризуется как среднедисперсная, преимущественно с низким содержанием мелких и средних включений.

Основным пороодообразующим минералом глины является бейделлит. Среднее содержание его в глине составляет до 80%. Бейделлит  $(Al_2[Si_4O_{10}][OH]_2 \cdot nH_2O)$  относится к минералам группы монтмориллонита и назван по местности Бейделл в Колорадо (США). Глина Образцовского месторождения относится к группе среднедисперсного сырья, высокочувствительного к сушке и характеризуется высокой усадкой образцов, а по пластичности относится к среднепластичной (число пластичности колеблется в пределах 19-23). Используемая в настоящей работе бейделлитовая глина считается некондиционным сырьем, так как непригодна для производства керамического кирпича как самостоятельное сырье без добавок и отощителей (см. рис. 2, в).

**Золошлаковый материал Тольяттинской ТЭС.** Для производства кирпича в качестве отощителя и выгорающей добавки использовался золошлаковый материал Тольяттинской ТЭС. Зола – рыхлый материал черного или серого цвета. Кроме минеральных веществ в ней присутствует органическая составляющая. Основная фаза в золе – это стеклофаза (55%).



Рис. 1. Керамические стеновые материалы: а – камень; б – кирпич

Таблица 1

Химический состав исследуемых сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	П.п.п.
Легкоплавкая глина	54,38	19,46	8,32	1,75	1,82	2,73	8,42
Золошлаковый материал Тольяттинской ТЭС	48-49	16-17	7-8	3-4	2-3	0,1-0,3	20-21

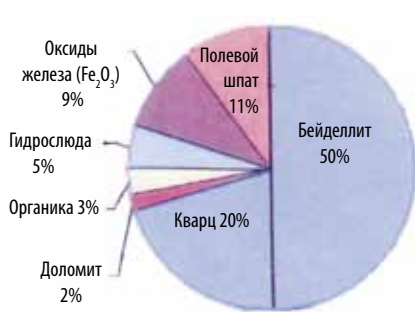


Рис. 2. Минералогические составы сырьевых компонентов и обожженный образец:

а – бейделлитовая глина; б – золошлаковый материал (зола); в – образец из бейделлитовой глины, обожженный при 1000°C

Составы керамических масс

Компонент	Содержание компонентов, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Бейделлитовая глина	100	95	90	85	80	75	70	65
Золошлаковый материал	0	5	10	15	20	25	30	35

Таблица 2

Физико-механические показатели образцов

Показатель	Состав							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Водопоглощение, % ( $Y_1$ )	29	26	23	21	20	18	21	27
Прочность на сжатие, МПа ( $Y_2$ )	8,7	9,5	10	11,7	12,1	12,8	11,9	11
Морозостойкость, циклы ( $Y_3$ )	15	18	20	23	25	28	27	25

Таблица 3

Определяющим фактором качества керамического материала является единственный показатель – процентное содержание золошлакового материала в массе. Эксперимент состоял из восьми опытов. В первом опыте независимая переменная  $X$  принимала минимальное значение, равное 0%. В каждом последующем опыте содержание золошлакового материала увеличивали, а в конечном опыте  $X$  приняла максимальное значение, равное 35% (табл. 2).

Составы керамических масс готовили пластическим способом формования при влажности шихты 22-28% (в зависимости от содержания золошлакового материала). Сформованные образцы, высушенные до остаточной влажности не более 8%, обжигались при температуре 1050 °С. Физико-механические показатели образцов приведены в табл. 3.

Стекловидная фаза исследуемого золошлака неоднородна и под микроскопом – желто-бурого цвета, обусловленного наличием оксида железа. Поэтому ее светопропускание более высокое  $N = 1,6-1,63$ .

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

При исследовании зависимости между содержанием золошлакового материала (зола) и основными физико-механическими характеристиками образцов (водопоглощение, прочность на сжатие и морозостойкость) использовался достаточно распространенный метод линейной регрессии. Этот метод позволяет выявить, как изменения одной переменной влияют на другие [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Модель строится на основании результатов фактического эксперимента и аналитически описывает зависимость результатов опытов.

В представленной работе определяющим фактором качества кирпича является показатель – «процентное содержание золошлакового материала в массе». Вид экспериментальных графиков зависимостей показателей:  $Y_1, Y_2, Y_3$  от  $X$  представлен на рис. 3 и определялся по формуле:

$$Y = a + b \cdot X. \quad (1)$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что зависимость параметров  $Y_1, Y_2, Y_3$  от  $X$  носит явно нелинейный характер.

В результате анализа различных функциональных зависимостей для показателей  $Y_1, Y_2, Y_3$  была выбрана следующая модель (полином второй степени):

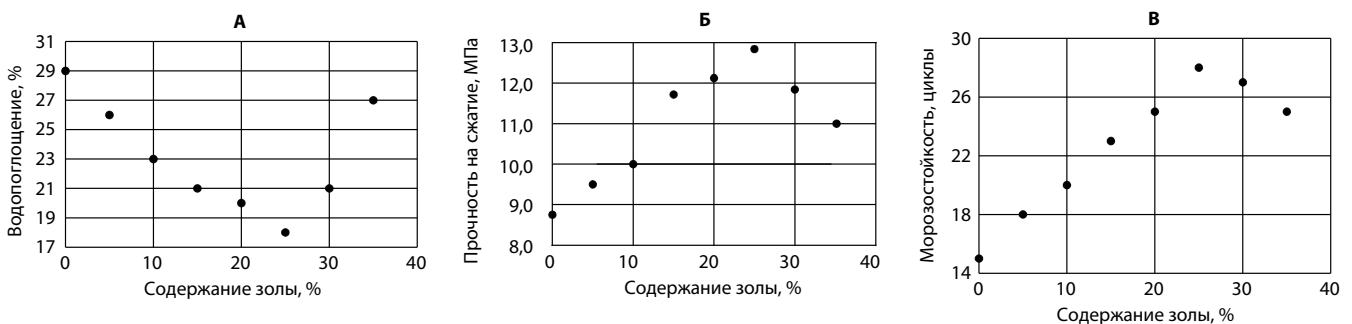


Рис. 3. Вид экспериментальных зависимостей показателей от содержания золы: А – водопоглощение; Б – прочность на сжатие; В – морозостойкость

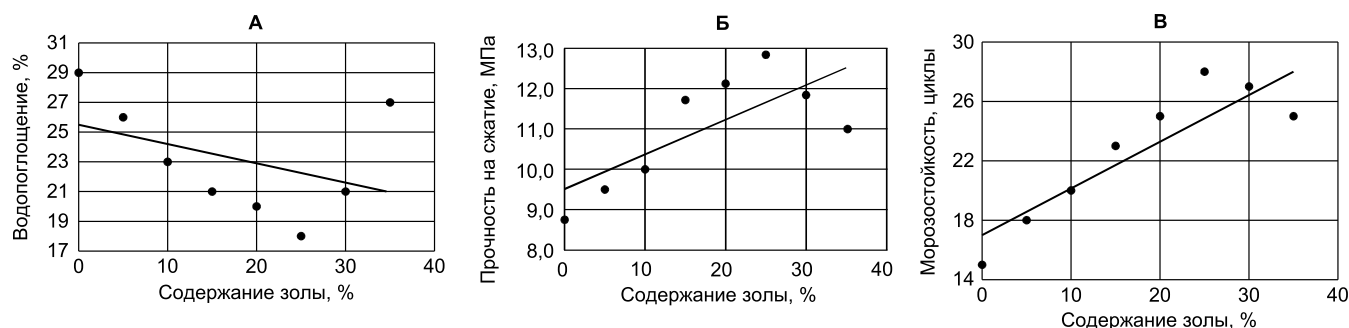


Рис. 4. Линейная аппроксимация экспериментальных данных: А – водопоглощение; Б – прочность на сжатие; В – морозостойкость

Таблица 4  
Значения параметров и  $R^2$   
при аппроксимации линейной моделью

Коэффициенты	$Y_1(X)$	$Y_2(X)$	$Y_3(X)$
$a$	25,417	9,425	16,750
$b$	-0,131	0,088	0,336
$R^2$	0,18	0,57	0,81

$$Y(X) = \frac{a + cX + eX^2}{1 + bX + dX^2}. \quad (2)$$

Оценим степень нелинейности рассматриваемых зависимостей, для чего определим значения коэффициента детерминации  $R^2$  при аппроксимации параметров  $Y_1$ ,  $Y_2$ ,  $Y$ . Результаты аппроксимации представлены в табл. 4 и на рис. 4.

Анализ модельных графиков полезен как при уточнении диапазонов состояния между опытами, так и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент.

## ВЫВОДЫ

1. Использование золошлакового материала в производстве керамического кирпича на основе некондиционной легкоплавкой глины позволяет получить прочные изделия марки М125.

2. Получение керамических материалов с применением крупнотоннажных отходов производств способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для строительных материалов.

3. Для описания физико-механических зависимостей от содержания золошлакового материала рекомендуется использовать полином второй степени. Анализ модельных графиков полезен как при уточнении диапазонов состояния между опытами, так и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент.

4. Безусловным достоинством использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса является разгрузка экологической обстановки.

## Список литературы

1. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлакового материала в производстве легкоплавкого кирпича / Е.Г. Сафронов, Е.З. Глазунова, М.И. Иваев и др. // Уголь. 2021. № 9. С. 58-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-58-62.
2. Экологическая целесообразность рециклинга золошлака в производстве стеновых материалов и оптимизация керамических масс по техническим показателям / Е.Г. Сафронов, С.М. Си-линская, Н.Ю. Нарыжная и др. // Уголь. 2021. № 6 С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.
3. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлака и ферропыли Актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича / Н.Ю. Нарыжная, Е.Г. Сафронов, Е.М. Силинская и др. // Уголь. 2021. № 10. С. 33-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.
4. Экологический менеджмент и рециклинг железосодержащего шлака ТЭЦ в производстве жаростойких композитов / Ю.Ю. Коробкова, Е.Г. Сафронов, Н.И. Краскова и др. // Уголь. 2020. № 12. С. 49-52. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-49-52.
5. Абдрахимова Е.С. Исследование сушильных свойств керамических материалов на основе отходов топливно-энергетического комплекса // Уголь. 2019. № 9. С. 67-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-67-69.
6. Абдрахимова Е.С. Образование золы легкой фракции и использование ее в производстве плиток для полов // Уголь. 2019. № 11. С. 64-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.
7. Абдрахимов В.З. Снижение экологического ущерба экосистемам за счет использования межсланцевой глины и золошлакового материала в производстве легковесного кирпича и пористого заполнителя // Уголь. 2018. № 10. С. 77-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-77-83.
8. Абдрахимова Е.С. Использование отходов углеобогащения и межсланцевой глины в производстве кирпича // Уголь. 2021. № 7. С. 52-55. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-52-55.
9. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Исследование регрессивным методом влияния содержания отходов при нефтедобыче и нефтехими на физико-механические показатели керамического кирпича // Материаловедение. 2017. № 6. С. 31-35.
10. Оптимизация состава керамических масс по механическим свойствам кирпича / В.З. Абдрахимов, Н.С. Агафонова, Е.С. Абдрахимова и др. // Известия вузов. Строительство. 2005. № 5 С. 53-58.
11. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Оптимизация состава керамических масс с учетом совместного влияния компонентов на физико-механические показатели кислотоупоров. // Материаловедение. 2006, № 11. С. 42-45.
12. Ковков И.В., Абдрахимов В.З. Исследование регрессивным методом анализа влияния шлака от выплавки ферросплава на физико-механические показатели кирпича // Известия вузов. Строительство. 2006. № 9. С. 105-110.



13. Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Исследование регрессивным методом зависимости отходов топливно-энергетической промышленности на сушильные свойства стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2015. № 1. С. 6-10.
14. Абдрахимова Е.С., Кайракбаев А.К., Абдрахимов В.З. Исследование регрессивным методом влияния содержания кальцийсодержащих отходов: доломитовых высевок и известняковой муки на физико-механические показатели керамического кирпича // Экологические системы и приборы. 2015. № 5. С. 34-41.
15. Абдрахимов А.В., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Аналитический анализ влияния пиритных огарков на технические свойства черепицы из техногенного сырья // Известия вузов. Строительство. 2006. № 9. С. 12-16.

## MINERALS RESOURCES

## Original Paper

UDC 691.3:666.72.05 © M.I. Ivaev, A.E. Gaiduk, E.G. Safronov, V.Z. Abdrakhimov, 2022  
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2022, № 4, pp. 34-38  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2022-4-34-38>

## Title

**THE ECONOMIC FEASIBILITY OF USING ASH AND SLAG MATERIAL AND THE STUDY OF THE REGRESSION METHOD OF ANALYZING ITS EFFECT ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE WALL MATERIAL**

## Authors

Ivaev M.I.<sup>1</sup>, Gaiduk A.E.<sup>1</sup>, Safronov E.G.<sup>2</sup>, Abdrakhimov V.Z.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation

<sup>2</sup> Samara State Technical University, Samara, 443100, Russian Federation

<sup>3</sup> Samara State Economic University, Samara, 443090, Russian Federation

## Authors Information

**Ivaev M.I.**, Senior Lecturer, e-mail: [ivaevmarat@ya.ru](mailto:ivaevmarat@ya.ru)

**Gaiduk A.E.**, Senior Lecturer, e-mail: [gaiduk@63.ru](mailto:gaiduk@63.ru)

**Safronov E.G.**, PhD (Economic), Associate Professor, e-mail: [ewgenijsafronov@yandex.ru](mailto:ewgenijsafronov@yandex.ru)

**Abdrakhimov V.Z.**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: [3375892@mail.ru](mailto:3375892@mail.ru)

## Abstract

In modern economic conditions, in the absence of state funding for geological exploration related to the determination of reserves of traditional natural raw materials, the optimal solution is to replace it with ash and slag materials. The use of ash and slag material in the compositions of ceramic masses, as a thinning agent, contributes to the production of wall material based on fusible clay. Studies have shown that the optimal amount of ash and slag material (ash) in the compositions for the production of 125 (M125) grade wall material is 25%. A further increase in the ash content in ceramic compositions leads to a decrease in the strength of the product. Obviously, this is due to the fact that the ash under study is not only a thinning agent, but also a burning additive that contributes to the appearance of porosity. It is established that the physical and mechanical properties of ceramic wall material (brick) depend non-linearly on the content of ash and slag material in the composition. To describe the physico-mechanical dependencies on the content of ash and slag material, it is recommended to use a polynomial of the second degree.

## Keywords

Ash-slag material, Fusible clay, Wall material, Regression analysis.

## References

1. Safronov E.G., Glazunova E.Z., Ivaev M.I. & Abdrakhimov V.Z. Economic and practical expediency of using ash and slag material in the production of lightweight bricks. *Ugol'*, 2021, (9), pp. 58-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-9-58-62.
2. Safronov E.G., Silinskaya S.M., Narizhnaya N.Yu. & Abdrakhimov V.Z. Ecological expediency of ash slag recycling in the production of wall materials and optimization of ceramic masses according to technical indicators. *Ugol'*, 2021, (6), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.
3. Narizhnaya 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'*, 2021, (10), pp. 33-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.
4. Korobkova Yu.Yu., Safronov E.G., Kraskova N.I. & Abdrakhimov V.Z. Environmental management and recycling of iron-containing slag of CHP in the production of heat-resistant composites. *Ugol'*, 2020, (12), pp. 49-52. (In Russ.). DOI: /10.18796/0041-5790-2020-12-49-52.
5. Abdrakhimova E.S. The study of drying properties of ceramic materials based on waste of fuel and energy complex. *Ugol'*, 2019, (9), pp. 67-69. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-67-69.

6. Abdrakhimova E.S. Formation of ash of light fraction and its use in the production of tiles for floors. *Ugol'*, 2019, (11), pp. 64-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.

7. Abdrakhimov V.Z. Reduction of ecological damage to ecosystems due to the use of shale clay and ash-slag material in the production of lightweight bricks and porous aggregate. *Ugol'*, 2018, (10), pp. 77-83. DOI: 10.18796/0041-5790-2018-10-77-83.

8. Abdrakhimova E.S. The use of coal enrichment waste and inter-shale clay in the production of bricks. *Ugol'*, 2021, (7), pp. 52-55. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-7-52-55.

9. Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Study regression method, the influence of the content of waste during oil production and petrochemical company on the physico-mechanical parameters of ceramic bricks. *Materialovedenie*, 2017, (6), pp. 31-35. (In Russ.).

10. Agafonova N.C., Abdrakhimova E.S., Dolgij V.P. & Abdrakhimov V.Z. Optimization of the composition of ceramic masses on the mechanical properties of bricks. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2005, (5), pp. 53-58. (In Russ.).

11. Abdrakhimova E.S. & Abdrakhimov V.Z. Optimization of the composition of ceramic masses considering the combined effect of components on the physical and mechanical properties of acid-resistant materials. *Materialovedenie*, 2006, (11), pp. 42-45. (In Russ.).

12. Kovkov I.V. & Abdrakhimov V.Z. Investigation by the regressive method of analysis of the effect of slag from ferroalloy smelting on the physico-mechanical parameters of bricks. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2006, (9), pp. 105-110. (In Russ.).

13. Kairakbaev A.K., Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. A regressive method study of the dependence of waste from the fuel and energy industry on the drying properties of wall ceramics. *Ecologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2015, (1), pp. 6-10. (In Russ.).

14. Abdrakhimova E.S., Kairakbaev A.K. & Abdrakhimov V.Z. A regressive study of the effect of the content of calcium-containing waste: dolomite seeding and limestone flour on the physical and mechanical parameters of ceramic bricks. *Ecologicheskie systemy i pribory*, 2015, (5), pp. 34-41. (In Russ.).

15. Abdrakhimov A.V., Abdrakhimov V.Z. & Abdrakhimova E.S. Analytical analysis of the effect of pyrite stubs on the technical properties of tiles from technogenic raw materials. *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo*, 2006, (9), pp. 12-16. (In Russ.).

## For citation

Ivaev M.I., Gaiduk A.E., Safronov E.G. & Abdrakhimov V.Z. The economic feasibility of using ash and slag material and the study of the regression method of analyzing its effect on the physical and mechanical characteristics of the wall material. *Ugol'*, 2022, (4), pp. 34-38. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-4-34-38.

## Paper info

Received January 30, 2022

Reviewed February 16, 2022

Accepted March 22, 2022