

Оптимизация на основе отходов топливно-энергетического комплекса керамических масс по техническим свойствам керамического кирпича

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-52-56>

АБДРАХИМОВА Е.С.

Канд. техн. наук,
доцент ФГАОУ ВО
«Самарский национальный
исследовательский университет
им. акад. С.П. Королева»
(Самарский университет),
443086, г. Самара, Россия,
e-mail: 3375892@mail.ru

Получен керамический кирпич на основе отходов топливно-энергетического комплекса: отхода горючих сланцев – межсланцевой глины, используемой в качестве глинистой связующей, и золошлакового материала, используемого в качестве отощителя и выгорающей добавки, без применения природных традиционных материалов. Для оптимизации состава керамических масс и построения модельных графиков по физико-механическим свойствам кирпича использовался метод линейной регрессии. Анализ модельных графиков полезен как при уточнении диапазонов состояния между опытами, так и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, межсланцевая глина, золошлаковый материал, регрессионный анализ.

Для цитирования: Абдрахимова Е.С. Оптимизация на основе отходов топливно-энергетического комплекса керамических масс по техническим свойствам керамического кирпича // Уголь. 2023. № 1. С. 52-56. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-52-56.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существующие в России технологии и оборудование по переработке угольной продукции не справляются и способствуют образованию больших объемов твердых отходов [1, 2, 3]. Такие твердые отходы являются крупнотоннажными и в местах скопления занимают обширные территории, негативно воздействуют на экологические системы, состояние водных ресурсов и атмосферы [4, 5, 6].

Отходы теплоэнергетики в настоящее время остаются массовыми промышленными отходами, которые наносят экологии непоправимый вред. Из исследований, проведенных организацией ЕСОВА (Европейская ассоциация продуктов сжигания угля), установлено, что решение экологических задач, связанных с отходами теплоэнергетики, необходимо решать ежедневно. Страны, входящие в ЕСОВА, в настоящее время перерабатывают до 90% золошлаковых материалов.

Вопросы вторичного использования, переработки и утилизации золошлаковых материалов необходимо увязывать с отраслями, в которых отходы теплоэнергетики могут использоваться как сырьевые материалы, и где традиционные природные сырьевые материалы катастрофически истощаются [1, 4]. К таким отраслям можно отнести производство керамических материалов строительного направления, так как месторождения

алюмосиликатного сырья практически исчерпываются, а финансирование на государственном уровне геолого-разведочных работ сильно ограничено.

Цель работы: разработка составов керамических масс на основе межсланцевой глины и золошлакового материала, относящегося к крупнотоннажным отходам, для изготовления керамического кирпича без применения природных традиционных материалов.

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Для получения керамического кирпича в качестве связующего использовалась межсланцевая глина, а в качестве отощителя и выгорающей добавки – золошлаковый материал (зола) Тольяттинской ТЭС. Химический состав сырьевых компонентов представлен в *табл. 1*, а минералогический – на *рис. 1*.

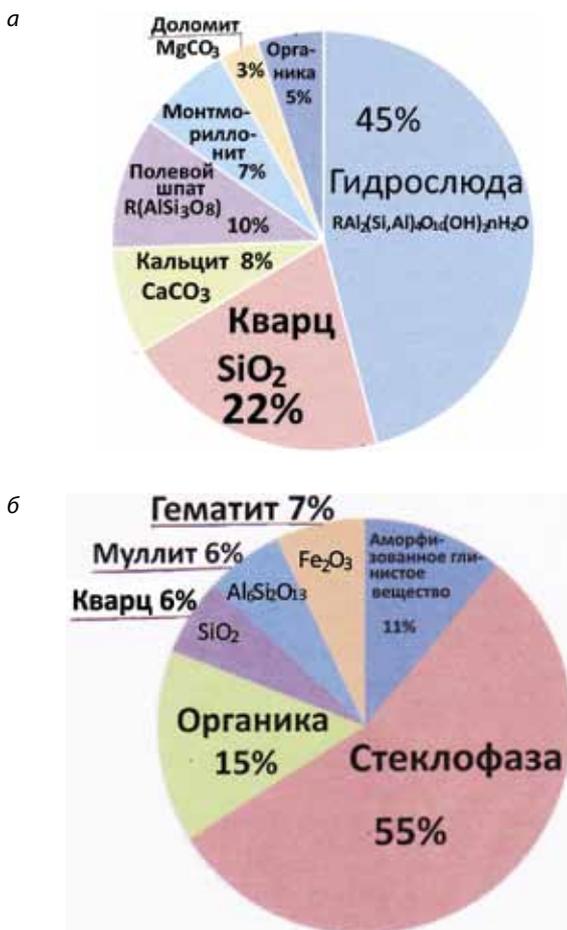


Рис. 1. Минералогические составы сырьевых материалов: а – межсланцевая глина; б – золошлаковый материал

Межсланцевая глина образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на шахтах) и является отходом горючих сланцев. По числу пластичности межсланцевая глина относится к среднепластичному глинистому сырью (число пластичности – 20-25) с истинной плотностью 2,55-2,62 г/см³ [5, 6].

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%). Стекловидная фаза исследуемого золошлака неоднородна и под микроскопом представлена желто-бурым цветом, обусловленным наличием оксида железа. Поэтому ее светопреломление более высокое – $N = 1,6-1,63$.

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Составы керамических масс представлены в *табл. 2*. Керамические массы предварительно высушивали, затем измельчали до прохождения сквозь сито размером ячейки не более 1 мм. Полученные компоненты тщательно перемешивали, из полученной керамической массы готовили пластическим способом формования при влажности массы 22-24% (в зависимости от содержания золошлакового материала) образцы. Сформованные образцы, высушенные до остаточной влажности не более 5%, обжигались в муфельной печи с изотермической выдержкой при температуре 1050°С. Физико-механические показатели (технические свойства) образцов приведены в *табл. 3*.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Определяющим фактором качества керамического материала является единственный показатель – процентное содержание золошлакового материала в массе. Эксперимент состоял из пяти 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% (*см. табл. 2*).

Чаще всего в качестве уравнения регрессии используется линейная зависимость, но в данном случае линейная зависимость на разных этапах регрессионного анализа дает слишком низкий коэффициент детерминированности – от 0,65 до 0,78, т.е. уровень корреляции модели с экспериментом оставляет желать лучшего. Кроме того, линейная

Таблица 1

Химический состав исследуемых сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						П.п.п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	
Межсланцевая глина	47,40	13,87	5,6	11,3	2,3	3,5	16,03
Золошлаковый материал Тольяттинской ТЭС	48,49	16,24	7,52	3,42	2,34	0,18	21,81

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

Таблица 2

Составы керамических масс

Компоненты	Содержание компонентов, мас.				
	1	2	3	4	5
Межсланцевая глина	100	90	80	70	65
Золошлаковый материал	–	10	20	30	35

Таблица 3

Физико-механические показатели образцов

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
Прочность при сжатии, МПа (Y_1)	9,2	9,8	10,9	12,4	12,2
Прочность при изгибе, Мпа (Y_2)	1,2	1,3	1,6	2,2	2,0
Морозостойкость, циклы (Y_3)	14	16	19	24	22

Таблица 4

Значения a и b для уравнений регрессии

Значение коэффициентов и свободного члена		Уравнения регрессии для		
		Прочность при сжатии (Y_1)	Прочность при изгибе (Y_2)	Морозостойкость (Y_3)
Значения коэффициентов	a_4	-1628,6	-980,95	-8476,2
	a_3	960,48	605,24	5252,4
	a_2	-149,14	-102,9	932,38
	a_1	12,938	6,219	69,19
Значение свободного члена	b	19,2	1,2	14

модель не отражает характера функции отклика, а именно наличия достаточно ярко выраженного экстремума. После проведения предварительного анализа в качестве уравнения регрессии была выбрана зависимость, описываемая полиномом четвертого порядка и имеющая вид:

$$Y = a_4 X^4 + a_3 X^3 + a_2 X^2 + a_1 X + b. \quad (1)$$

Для определения коэффициентов уравнения (1) для каждого этапа регрессионного анализа был применен метод наименьших квадратов. В процессе предварительного регрессионного анализа исследовались значения t -критерия для оценки весомости вклада констант уравнения. Табличное значение t -критерия для уровня надежности 95% и пяти степеней свободы равно 2,01. В табл. 4 приведены значения коэффициентов a и b для уравнения (1) по первому этапу эксперимента.

При этом модельные уравнения приняли следующий вид:

- для прочности при сжатии:

$$Y_1 = -1628,6(X)^4 + 960,48(X)^3 - 149,14(X)^2 + 12,938X + 19,2, \quad (2)$$

- для прочности при изгибе:

$$Y_2 = -980,95(X)^4 + 605,24(X)^3 - 102,9(X)^2 + 6,219X + 1,2, \quad (3)$$

- для морозостойкости:

$$Y_3 = -8476,2(X)^4 + 5252,4(X)^3 - 932,38(X)^2 + 69,19X + 14, \quad (4)$$

где X – содержание золошлакового материала, %; Y – значения соответствующих величин (прочность при сжатии, изгибе и морозостойкости).

Для оценки величины корреляции с моделью определили коэффициент детерминированности (R -квадрат), получаемый при сравнении фактических и прогнозируемых значений Y . Этот коэффициент при расчетах нормируется от 0 до 1, и в случае, если он равен единице, можно сделать вывод, что имеется полная корреляция модели с экспериментом. Далее была рассчитана стандартная ошибка по формуле:

$$\sqrt{\left[\frac{1}{n(n-2)} \right] \left[n \sum y^2 - (\sum y)^2 - \frac{[n \sum xy - (\sum x)(\sum y)]^2}{n \sum x - (\sum x)^2} \right]}. \quad (5)$$

Значение коэффициентов детерминированности, значения ошибок для коэффициентов a_4, a_3, a_2, a_1, b , для констант уравнений, F -наблюдаемого и для оценки взаимосвязи между зависимой и независимой переменными, а также значения t -критерия (табличное данное 2,010) [7, 8, 9].

Анализ модельных графиков полезен как при уточнении диапазонов состояния между опытами, так и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент [7, 8, 9]. На рис. 2 приведены графики зависимости свойств кирпича от содержания золошлакового материала для первого этапа регрессионного анализа.

Как следует из рис. 2, заметного отличия модельных результатов от фактических, полученных в ходе эксперимен-

та, не наблюдается. Незначительные отличия модельных результатов от фактических имеют место, но лежат в пределах соответствия модели.

ВЫВОДЫ

1. Получен керамический кирпич на основе топливно-энергетического комплекса: межсланцевой глины и золошлакового материала без применения природных традиционных материалов.

2. Установлено, что оптимальным составом для получения керамического кирпича является состав, содержащий 30% золошлака.

3. Исследования показали, что для описания физико-механических зависимостей от содержания золошлакового материала рекомендуется использовать полином четвертого порядка.

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

Список литературы

1. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлака и ферропели актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича / Н.Ю. Нарыжная, Е.Г. Сафронов, С.М. Силянская и др. // Уголь. 2021. № 10. С. 33-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.
2. Экономическая и практическая целесообразность использования золошлакового материала в производстве легковесного 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.
3. Экологическая целесообразность рециклинга золошлака в производстве стеновых материалов и оптимизация керамических масс по техническим показателям / Е.Г. Сафронов, С.М. Силянская, Н.Ю. Нарыжная и др. // Уголь. 2021. № 6. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.
4. 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.
5. 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.
6. Анпилов С.М., Абдрахимов В.З. Использование золы легкой фракции и межсланцевой глины в производстве сейсмостойкого кирпича // Уголь. 2021. № 4. С. 57-62. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.
7. 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.
8. Оптимизация состава керамических масс по механическим свойствам кирпича / Н.С. Агафонова, Е.С. Абдрахимова, В.П. Долгий и др. // Известия вузов. Строительство. 2005. № 5. С. 53-58.
9. 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.

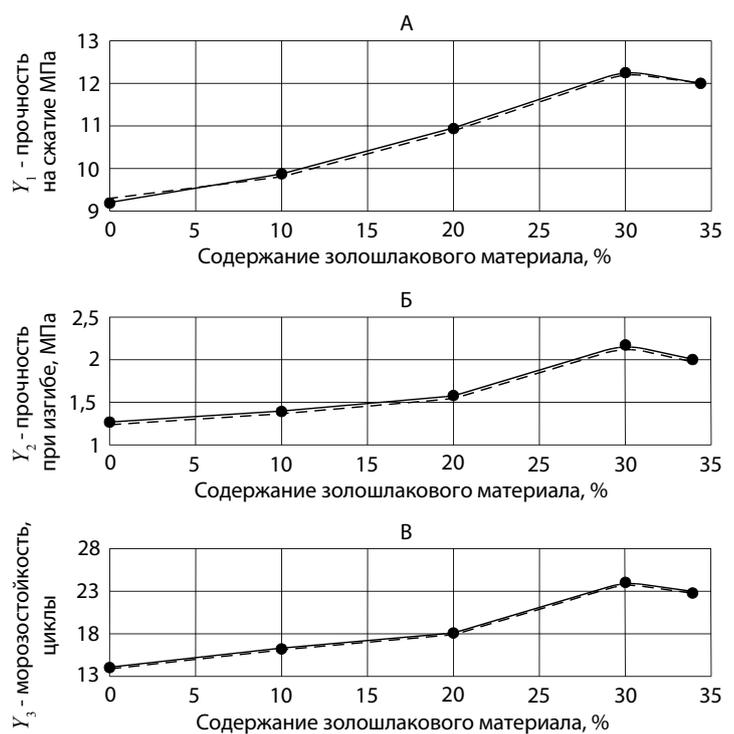


Рис. 2. Зависимость показателей кирпича от содержания золошлакового материала: А – механическая прочность при сжатии; Б – механическая прочность при изгибе; В – морозостойкость: - - - - - по экспериментальным данным, — по модели

Original Paper

UDC 691.666.532 © E.S. Abdrakhimova, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 1, pp. 52-56
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-52-56>

Title
OPTIMIZATION BASED ON WASTE OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF CERAMIC MASSES ACCORDING TO THE TECHNICAL PROPERTIES OF CERAMIC BRICKS

Authors

Abdrakhimova E.S.¹

¹Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev, Samara, 443086, Russian Federation

COAL PREPARATION

Authors Information

Abdrakhimova E.S., PhD (Engineering), Associate Professor,
e-mail: 3375892@mail.ru

Abstract

A ceramic brick was obtained on the basis of waste from the fuel and energy complex: waste of combustible shale – inter-shale clay used as a clay binder and ash-slag material used as a thinning agent and a burnout additive, without the use of natural traditional materials. The linear regression method was used to optimize the composition of ceramic masses and construct model graphs based on the physical and mechanical properties of bricks. The analysis of model graphs is useful both for clarifying the ranges of the state between experiments and for predicting results that were not included in the experiment.

Keywords

Fuel and energy complex, Inter-shale clay, Ash-slag material, Regression analysis.

References

1. 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.
2. Safronov E.G., Glazunova E.Z., Isaev 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.
3. 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.

4. Balanovskaya A.V. & Abdrakhimova E.S. Issues of ecological, economic and practical recycling on the use of the fuel and energy complex for the production of thermal insulation materials. *Ecologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2021, (3), pp. 19-26. (In Russ.).
5. Abdrakhimov V.Z. Production of alkaline etching sludge of earthquake-resistant bricks on the basis of burnt rock waste – shale clay and non-ferrous metallurgy. *Ecologicheskie systemy i pribory*, 2021, (7), pp. 25-34. (In Russ.).
6. Anpilov S.M. & Abdrakhimov V.Z. The use of light fraction ash and shale clay in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol'*, 2021, (4), pp. 57-62. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-4-57-62.
7. 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.).
8. Agafonova N.C., Abdrakhimova E.S., Dolgiy 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.).
9. 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.).

For citation

Abdrakhimova E.S. Optimization based on waste of the fuel and energy complex of ceramic masses according to the technical properties of ceramic bricks. *Ugol'*, 2023, (1), pp. 52-56. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-1-52-56.

Paper info

Received November 16, 2022

Reviewed November 30, 2022

Accepted December 26, 2022

Оригинальная статья

УДК 66-91.3:622.332 © П.И. Егоров, М.В. Белоногов, 2023

Высокотемпературная конверсия смесей лигнита и рапсового масла*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-56-61>

ЕГОРОВ П.И.

Канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск Россия,
e-mail: rommel@tpu.ru

БЕЛОНОГОВ М.В.

Аспирант
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск Россия,
e-mail: 42maxim@mail.ru

В статье рассмотрены особенности аллотермической газификации топливных смесей на основе бурого угля и рапсового масла в различных соотношениях. На основе экспериментальных данных было продемонстрировано, что топливную смесь можно конвертировать в генераторный газ с высоким содержанием горючих компонентов, используя сторонний нагрев видимым светом высокой интенсивности (800-900 Вт/см²). Анализ характерных температур, газового состава и скорости газогенерации показывает, что конверсия смеси, содержащей 40 масс.% рапсового масла, позволяет максимально задействовать тепловые эффекты реакций окисления.

* Исследование проведено в рамках проекта 1.0031.ГЗБ.2020 ГЗ «Наука» в Томском политехническом университете.