

УДК: 691.3:666.72.05
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.8
EDN:HPPDFF



Влияние золошлаковой смеси на технические показатели с использованием регрессивного анализа и фазовый состав керамического кирпича

В.З. Абдрахимов¹

¹Самарский государственный экономический университет,
г. Самара, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* В Российской Федерации, для эффективной деятельности заводов по выпуску керамических кирпичей, заметно сократились первосортные сырьевые материалы. Их можно заменять на отходы производств, имеющие подобные химические составы и технологические показатели с природным традиционным сырьем. Поэтому, прежде чем использовать в выпуске керамического кирпича отходы производств их целесообразно исследовать на химические, минералогические и фракционные составы и свойства технологического характера. Предприятия экологически передовых стран извлекли пользу из такого применения отходов производств в строительных материалах еще в качестве инструментария для защиты экосистем. *Цель работы:* исследовать с использованием регрессионного анализа влияние золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича. *Задачами исследования являются:* подобрать оптимальный состав для изготовления кирпича не ниже марки М125; использовать регрессионный метод анализа, обеспечивающий применение требуемых модельных уравнений, которые окажут содействие в комплектовании изделия с эффективными показателями.

Результаты. Выявлено, что керамический кирпич М125 из межсланцевой глины при температуре 1050°C без отощителей получить невозможно. Установлено, что с повышением в керамической массе содержания золошлаковой смеси до 20% технические показатели кирпича улучшаются.

Выводы. В статье использовался регрессионный метод анализа, позволяющий выбрать необходимые модельные уравнения, которые помогут определить керамические массы для получения керамического кирпича, обладающего эффективными показателями и для прогнозирования результатов, не вошедших в эксперимент. Введение золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев в керамическую массу 20% способствует образованию муллита и диоксида, которые повышают прочность кирпича

Ключевые слова: золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев, межсланцевая глина, керамический кирпич, технические показатели, регрессионный анализа, фазовый состав

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Влияние золошлаковой смеси на технические показатели с использованием регрессивного анализа и фазовый состав керамического кирпича // Известия КГАСУ, 2024, № 2(68), с. 92-104, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.8, EDN: HPPDFF

The influence of the ash and slag mixture on technical parameters using regression analysis and the phase composition of ceramic bricks

V.Z. Abdrakhimov¹

¹Samara State University of Economics
Samara, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* In the Russian Federation, for the efficient operation of factories producing ceramic bricks, first-class raw materials have been noticeably decreased. They are advisable to be replaced with industrial waste having identical chemical compositions and technological parameters similar the natural traditional raw materials. Therefore, before using industrial wastes in the production of ceramic bricks, it is advisable to examine them for chemical, mineralogical and fractional compositions and technological properties. Enterprises in environmentally advanced countries have benefited from this use of industrial waste in construction materials as a tool for protecting ecosystems. The purpose of the work: to investigate the influence of the ash and slag mixture, received from the combustion of oil shale, on the technical parameters and phase composition of ceramic bricks. The investigation is carried out using regression analysis. The objectives of the study are: to select the optimal composition for the manufacture of bricks of at least M125 grade, to use a regression analysis method that ensures the selection of the required model equations that will assist in completing the product with effective indicators. *Results.* It was revealed that it is impossible to obtain ceramic brick M125 from interstitial clay at a temperature of 1050 ° C without thinners. It was found that with an increase of the content of ash and slag mixture in the ceramic mass to 20%, the technical characteristics of the brick improve. *Conclusions.* The article used a regression analysis method that allows you to select the necessary model equations that will help determine the ceramic masses to obtain ceramic bricks with effective parameters and to predict the results that were not included in the experiment. The introduction of an ash and slag mixture from the combustion of oil shales into a ceramic mass of 20% contributes to the formation of mullite and diopside, which increase the strength of the brick.

Keywords: ash and slag mixture from combustion of oil shales, inter-shale clay, ceramic brick, technical parameters, regression analysis, phase composition

For citation: Abdrakhimov V.Z. Influence of ash and slag mixture on technical parameters using regressive analysis and phase composition of ceramic bricks // News KSUAE, 2024, № 2(68), p. 92-104, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/68.8, EDN: HPPDFF

1. Введение

К одной из наиболее заметных препятствий для производства и расширения ассортимента керамических материалов в XXI в. относится истощение сырьевых материалов: легкоплавких и тугоплавких глинистых связующих, отощителей, интенсификаторов спекания, выгорающих добавок и т.д. [1-3]. Замена природных первичных сырьевых материалов на крупнотоннажные отходы топливно-энергетического комплекса (ТЭК), объем которых составляет более 2 млрд., а территория, на которой размещены эти отходы более 22000 га [4-6]. В работах [7-9] был показан рециклинг отходов горючих сланцев в производство кармических материалов.

Горючие сланцы – это минеральное вещество осадочного генезиса, в котором практически одинаково распространена органика сапропелевой природы (кероген) [10]. Запасы горючих сланцев по равноценности (в эквиваленте) газа и смолы значительно превышают природные запасы нефти и газа [11]. Следом за США и Бразилией по залежам горючих сланцев Россия находится на третьем месте. Около 200 месторождений горючих сланцев находится в Российской Федерации, в том числе 143,1 млрд т в Европейской части, а 849 млрд. т на Северо-Востоке и Восточной Сибири [10].

Общие запасы Волжского сланцевого бассейна, находящиеся на глубине от 50 до 300 м, в настоящее время составляют более 55 млрд. т. Интерес к применению горючих сланцев и, соответственно, к утилизации полученных отходов в минувшие десятилетия существенно возрос. Необходимо отметить, что многие страны стали применять горючие сланцы не только в энергетической отрасли, но и в химической.

Возможность результативно применять горючие сланцы как местные низкокачественные источники углеводородов позволят повысить общее количество углеводородного сырья России [12, 13].

Исследования по анализу химического состава неорганической части горючих сланцев продемонстрировали, что исследуемая минеральная часть сланцев в основном состоит из оксидов: SiO₂, Al₂O₃, CaO, FeO, MgO, т.е. этот химический состав идентичен составам сырьевых материалов для производства керамических изделий строительного направления [16].

К отрасли строительных материалов относятся стеновые керамические материалы, которые смогут утилизировать в качестве сырья крупнотоннажные отходы ТЭК,

Цель работы: исследовать с использованием регрессионного анализа влияние золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича.

Задачами исследования являются: подобрать оптимальный состав для изготовления кирпича не ниже марки М125; использовать регрессионный метод анализа, обеспечивающий применение требуемых модельных уравнений, которые окажут содействие в комплектовании изделия с эффективными показателями.

2. Материалы и методы

Методика исследования. В данной статье используемые отходы производств исследовались на элементарные составы и микроструктуры при помощи микроскопа электронного растрового фирмы Jeol. Япония - JSM 6390A. Использовались аншлифы и прозрачные шлифы, а также иммерсионные жидкости под микроскопом МИН-8 и МИН-7 для получения петрографических данных.

Оценки фазовых составов посредством рентгенодифрактометрического анализа реализовывались с применением $S_{\text{и}k\alpha}$ – излучения и β -фильтра на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3. Для подтверждения фазового состава, полученного рентгенодифрактометрическим анализом были востребованы ИК – спектры поглощения, полученные с привлечением спектрофотометра “Spekord-75JR”. Образцы были приготовлены с вазелиновым маслом на подбобии суспензии порошка.

В рекомендуемой статье применялся регрессионный анализ, который служит опорным методом на современном этапе математической статистики.

Сырьевые материалы. Для утилизации техногенного сырья в генерации керамического кирпича применялись в качестве: связующего - межсланцевая глина, отощителя и селективно выгорающего модификатора – золошлаковая смесь.

Основные свойства и показатели техногенного сырья горючих сланцев представлены: в табл. 1 - усредненные химические оксидные составы межсланцевой глины и золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев, в табл. 2 –поэлементные составы, в табл. 3 – фракционные, в табл. 4 – свойства технологического характера, на рис. 1 – микроструктуры, а на рис. 2 – минеральные составы.

Поэлементный химический состав подтверждает оксидный химический состав с повышенным содержанием в исследуемых техногенных сырьевых материалах: оксида кремния, оксида алюминия, оксида железа и оксида кальция (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Усредненный химический оксидный состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
1. Межсланцевая глина	45,40	13,87	5,60	11,3	2,3	3,5	18,03

2. Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев	34,40	10,35	8,78	20,28	3,38	2,83	19,98
Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании; $R_2O=K_2O+Na_2O$							

Таблица 2

Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1. Межсланцевая глина	5,73	52,85	0,46	1,04	7,20	18,66	1,75	10,53	3,35
2. Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев	7,44	47,96	0,81	1,93	5,65	16,9	1,53	12,2	5,58

Таблица 3

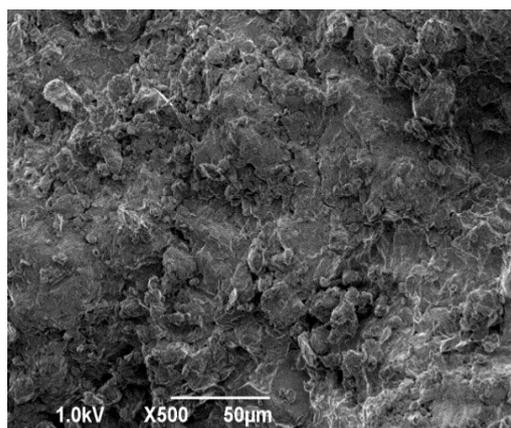
Фракционный состав сырьевых компонентов

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. Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев	16,84	33,41	32,49	12,68	4,58

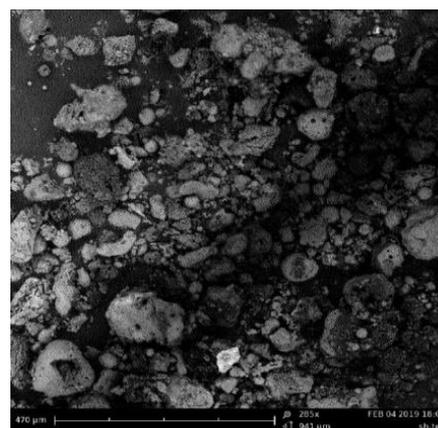
Таблица 4

Технологические показатели сырьевых компонентов

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °C		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
1. Межсланцевая глина	1200	1270	1310	1350
2. Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев	2000	1300	1340	1380



а)



б)

Рис. 1. Микроструктура сырьевых компонентов: а) – межсланцевая глина; б) – Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев. Увеличение x500 (иллюстрация авторов)
 Fig. 1. Microstructure of raw materials components: a) – inter-shale clay; b) - Ash-slag mixture from combustion of oil shales. Magnification x500 (illustration by the authors)

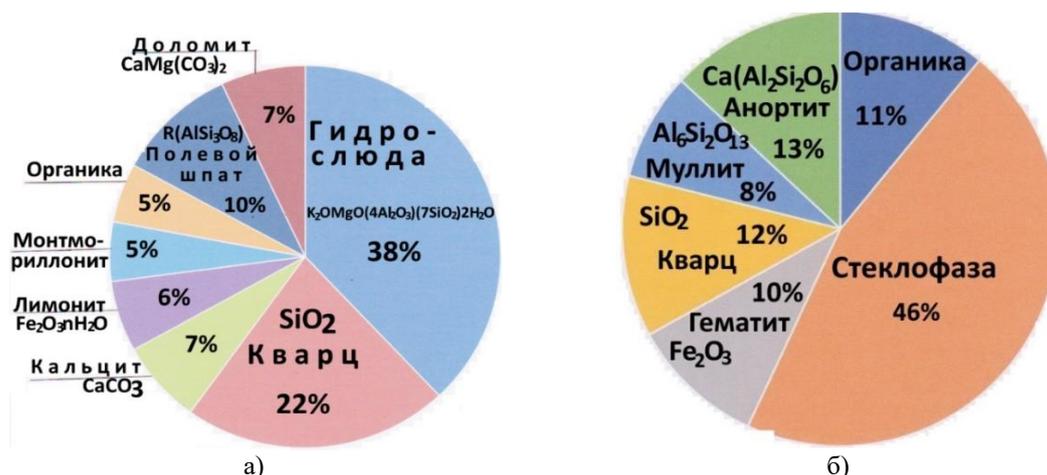


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов:

а) – межсланцевая глина; б) золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев (иллюстрация авторов)

Fig. 2. Mineralogical composition of raw materials components: a) – inter-shale clay; b) ash-slag mixture from combustion of oil shales (illustration by the authors)

Межсланцевая глина. Рассматриваемый пластичный (связующий) ингредиент, являющийся основной составной частью керамической композиции, зарождается при извлечении из недр земли горючих сланцев. Высвобождаемый глинистый ингредиент утилизируется в отвал [8, 9]. Утилизируемый ингредиент, имея число пластичности от 17 до 21, его следует отнести к группе – среднепластичное сырье с плотностью 2,55-2,62 г/см³.

Золошлаковая смесь от сжигания горючих сланцев. Утилизировалась в формате отощителя и селективно выгорающей добавки (2000 ккал/кг – теплотворная способность смеси, табл. 4) золошлаковая смесь для генерации кирпича. Горючие сланцы при сгорании формируют золошлаковые смеси, технические и технологические показатели (табл. 1-4, рис. 1-2).

Технология получения керамического кирпича. Технологии получения керамического кирпича состоит из следующих этапов: 1) высушивание сырьевых компонентов; 2) измельчение; 3) перемешивание компонентов; 4) увлажнение; 5) формование изделий; 6) сушка; 7) обжиг. С тех пор технология не менялась, исчез только ручной труд.

Производство кирпича осуществлялось: а) подсушка сырьевых материалов до влажности не более 3-5%; б) измельчение сырьевых материалов до прохождения сквозь сито (1х1 мм); в) тщательное перемешивание компонентов согласно рецепту, приведенного в табл. 5; г) увлажнение керамической массы до влажности 20-22% (в зависимости от количества связующего). Из полученной композиции формовали образцы (размером в кирпич 250х120х65 см), которые термообрабатывались в сушильном шкафу до конечной влажности не более 5%. Полученный полуфабрикат (или кирпич-сырец) направляли в муфельную печь для термообработки при 1050°С и выдержки с продолжительностью 1 часа. Технические (физико-механические) показатели представлены в табл. 6.

Таблица 5

Составы керамических масс и их пластичность

Компонент	Содержание отходов, мас. %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Межсланцевая глина (X ₁)	100	96	92	88	84	80	76	72	68
Золошлаковая смесь (X ₂)	–	4	8	12	16	20	24	28	32
Пластичность, безразмерная величина	18	18	16	15	14	12	11	10	9

Таблица 6

Показатель	Составы								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прочности при сжатии (Y_1), МПа	10,2	10,5	10,8	11,7	12,7	13,8	13,5	12,3	11,8
Прочности при изгибе (Y_2), МПа	2,3	2,4	2,4	2,6	2,8	3,2	3,0	2,8	2,6
Морозостойкость (Y_3), циклы	16	16	18	22	25	28	26	24	20
Водопоглощение (Y_4), %	14,7	14,2	13,5	13,0	12,8	12,5	12,8	13,1	13,7
Марочность кирпича	M100	M100	M100	M100	M125	M125	M125	M100	M100

Регрессивный метод анализа. В предлагаемой статье привлекался регрессивный анализ, принадлежащий к краугольным методам математической статистики для установления потенциальных как малодоступных, так и косвенных (скрытых) контактов между наблюдаемыми сведениями [17, 18].

Рекомендуемый метод анализа достаточно широко освящен в работах [17, 18], в которых было продемонстрировано, как этот метод предоставляет возможность получить необходимые сведения от неполных известных контактов и выбрать оптимальные модельные уравнения. Предложенные уравнения крайне продуктивны для подбора результативных составов керамических масс. В табл. 7 проиллюстрированы показатели параметров линейных функций Y_i , где $i=1...4$ и величин регрессионного анализа для основных четырех этапов исследования.

Таблица 7

Значения величин регрессионного анализа по техническим показателям для четырех этапов

Значение	Для уравнения регрессии по:			
	Прочность при сжатии, МПа, (Y_1)	Прочность при изгибе, МПа, (Y_2)	Морозостойкость, циклы, (Y_3)	Водопоглощение, %, (Y_4).
Значение коэффициента b_0	18,7074	4,1572	43,3652	10,1462
Значение коэффициента b_1	-0,08088	-0,01764	-0,2587	0,03839
Значение коэффициента b_2	0	-0,25	-1	-0,5
Средняя ошибка аппроксимации $A\%$	6,17	145,59	70,39	61,31
Значение стандартной ошибки регрессии S	1,076	5,845	23,687	11,698
Значение коэффициента детерминации R^2	0,4687	-285,4721	-20,579	-194,4927
F-наблюдаемое значение	2,647	-2,99	-2,861	-2,985

Как видно из табл. 7, технические показатели образца при обжиге 1050°C определяли на основании показателей четырех этапов (по базисным показателям): на первом этапе анализировалась роль интерференции золошлаковой смеси (X_2): а) на прочность при сжатии (Y_1), б) второй этап - на прочность при изгибе (Y_2), в) третий – на морозостойкость (Y_3), четвертый - на водопоглощение (Y_4).

Для установления уравнения регрессии: $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$ воспользовались методом наименьших квадратов [17-19]. Для прочности при сжатии:

$$Y_1 = 18,7074 - 0,08088X_1 + 0X_2 \quad (1)$$

для прочности при изгибе:

$$Y_2 = 4,1572 - 0,01764X_1 - 0,25X_2 \quad (2)$$

для морозостойкости:

$$Y_3 = 43,3652 - 0,2587X_1 - 1X_2 \quad (3)$$

для водопоглощения:

$$Y_4 = 10,1462 + 0,03839X_1 - 0,5X_2 \quad (4)$$

Для анализа формата корреляции с моделью эксперимента определяли коэффициент детерминированности R^2 , вычисленный при сопоставлении прогнозируемых и фактических функций Y . В табл. 7 указаны значения коэффициентов детерминированности, а на рис. 3-4 графики вычисленных по экспериментальным данным зависимостей.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость прочности от содержания золошлаковой смеси, МПа: а) – при сжатии; б) – при изгибе (иллюстрации авторов)

Fig. 3. Dependence of strength on the content of ash and slag mixture, МПа: а) – during compression; б) – during bending (illustrations by the authors)

Исследование модельных графиков продуктивны, причем как при конкретизации интервалов состояния между исследованиями, так и для предсказания не вошедших в эксперимент результатов.

Таким образом, наилучшим для генерации керамического кирпича интерпретируется состав №6, включающий 20% золошлаковой смеси. На рис. 5 и 6 продемонстрированы рентгенограммы и ИК-спектры образцов из составов №1 и №6 (оптимальный состав), обожженных при температуре 1050°C (состав №1 взят для сравнения, в который не включен отощитель).



а)



б)

Рис. 4. Зависимость морозостойкости и водопоглощения от содержания золошлаковой смеси: а) – морозостойкость, циклы; б) – водопоглощение, % (иллюстрации авторов)

Fig. 4. Dependence of frost resistance and water absorption on the content of ash and slag mixture: а) – frost resistance, cycles; б) – water absorption, % (illustrations by the authors)

Необходимо сделать акцент на то, что вероятные примеси или кристаллы с некачественной окристаллизованностью, идентификация которых не может быть однозначной, на рентгенограммах не приведены.

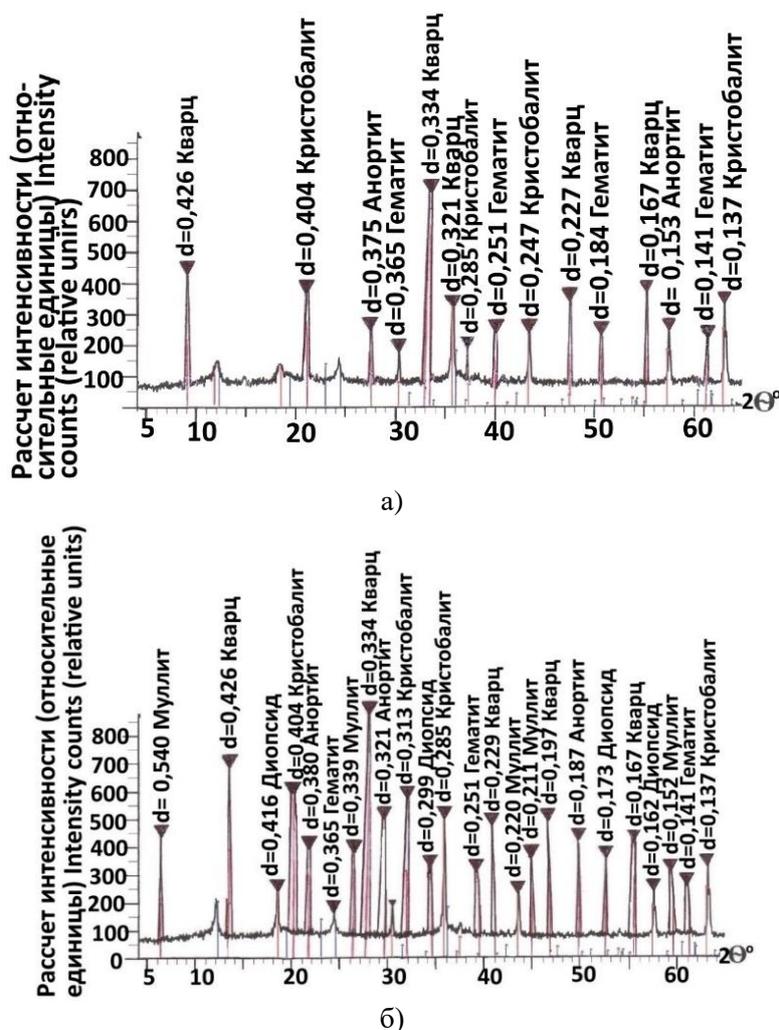


Рис. 5. Рентгенограммы образцов из составов а) -№1 и б) №6 (иллюстрации авторов)
 Fig. 5. Radiographs of samples from compositions a) -№1 and b) №6 (illustrations by the authors)

Θ° – Угол (Согнер), d- межплоскостное расстояние между плоскостями одного семейства параллельных плоскостей

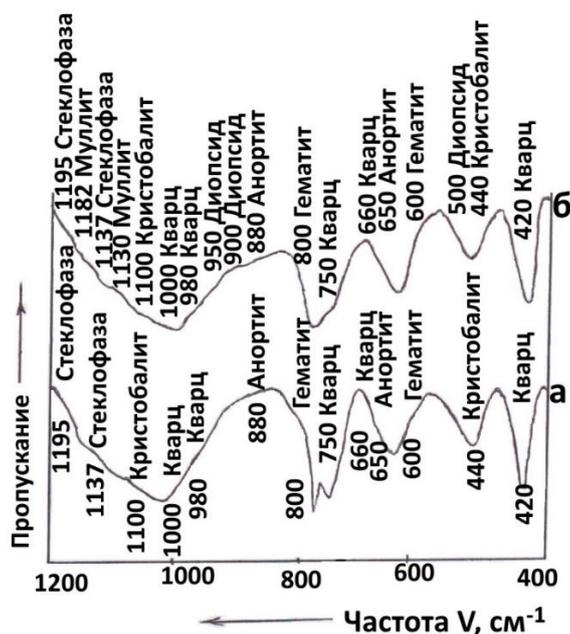


Рис. 6. ИК- спектры образцов из составов: а) №1 и б) №6 (иллюстрации авторов)
 Fig. 6. IR spectra of samples from the compositions: a) №1 and б) №6 (illustrations by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Сведения табл. 6 показывают, что из межсланцевой глины получить керамический кирпич марки М125 без применения золошлаковой смеси практически недостижимо даже при термообработке 1050°C. Табл. 5 и 6 демонстрируют, что с ростом в керамической массе (шихте) содержания золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев до 20% и соответственно снижение межсланцевой глины до 80% технические показатели также повышаются. Последующее повышение золошлаковой смеси и соответственно уменьшение межсланцевой глины эти показатели снижает (табл. 6). Увеличение содержания в керамических массах золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев до 32% снижает число пластичности с 18 до 9 (табл. 5), что способствует при формовании кирпича появлению на образцах трещин (снижается у глинистого компонента связующая способность, которая затрудняет формование изделий). Оптимальными составами для получения кирпича марки М125 являются составы, содержащие 16-24% золошлаковой смеси (табл. 6).

Использование в представленной работе регрессионного метода анализа позволило выбрать уравнение модельного типа для диагностирования рационального состава. Утилизация золошлаковой смеси в количестве 20% в составы керамических масс благоприятствует росту технических показателей кирпича до максимальных. Таким образом, для производства кирпича продуктивным составом является состав, утилизирующий 20% золошлаковой смеси.

При термообработке кирпича из состава №1 рентгенограмма показала формирование новых кристаллических фаз (минералов): гематита, анортита и кристобалита (рис. 5, а), что констатируют и ИК-спектры (рис. 6, а). Необходимо отметить, что на рентгенограммах заметить стеклофазу весьма сомнительно, но ИК-спектры наличие жидкой фазы (стеклофазы) в образцах состава №1 подтверждают.

В работах [21, 22] продемонстрировано, что базисом железистых фаз (минералов) интенсифицирует гематит, благоприятствующий возникновению в диапазоне термообработки 1000-1100°C железистого стекла, которое содействует формированию муллита в диапазоне обжига (1100-1200°C).

В.Ф. Павловым в работах [21-22] было продемонстрировано, что в следствия термообработке кирпича кристаллизуется из SiO₂ кристобалит взамен более устойчивой конфигурации - тридимита. Такую кристаллизацию В.Ф. Павлов констатировал тем, что для кристаллизации минерала с максимальной самостоятельной энергией в фазу с средней функцией энергии необходимо ощутимо меньшая энергия активации, чем для трансформации в максимально стабильную фазу. Кристобалит не оказывает содействие росту прочности керамики, но увеличивает по оценке В.Ф. Павлова количество дефектов в кристаллической решетке, которые реализуют ускорение твердофазовых реакций [16, 19-22].

Анортит (CaO·Al₂O₃·2SiO₂) полевой кальциевый шпат способный присутствовать в керамических материалах исключительно в стабильном виде [12]. Работы [12, 19-21] продемонстрировали, что в керамических изделиях для роста прочности конструктивное значение оказывает анортит. Задействие в керамической массе золошлаковой смеси в количестве 20% благоприятствует кристаллизации диопсида и муллита (рис. 5, б), содержание которого в композиции (шихте) уже находилось в количестве 8% (рис. 2, б). Возникновение муллита (Al₆Si₂O₁₃) при температуре обжига 1050°C удостоверяется и показаниями ИК-спектром (рис. 6, б). При обжиге керамических материалов именно кристаллизация муллита передает желаемую прочность изделиям [12, 19-21].

Диопсид (CaMgSi₂O₆), как отмечено в работе [23], способствует получению высокопрочного кирпича на основе легкоплавкой глины. Причем при образовании диопсида повышение прочности происходит при температурах 950-1050°C [16].

Заключение

1. Проведенный анализ выявил, что керамический кирпич М125 только из межсланцевой глины без отощителей даже при термообработке 1050°C формализовать исключено. Из подобного кирпича возводить здание выше 5-го этажа неоправданно рискованно (материал не сейсмостойкий).

2. В настоящей работе использовался регрессионный метод анализа, позволяющий выбрать необходимые модельные уравнения, которые помогут определить керамические массы для получения керамического кирпича, обладающего эффективными показателями и для предсказания показателей, не отразившихся в эксперименте.

3. Диагностировано, что с ростом в керамической массе количества золошлаковой смеси до 20% и идентично с одновременным снижением межсланцевой глины до 80% технические показатели кирпича растут. Дальнейшее повышение золошлаковой смеси и соответственно уменьшение межсланцевой глины эти показатели кирпича снижаются.

4. Рентгенограммы обожженного кирпича из межсланцевой глины без применения отощителя показали образование следующих кристаллических новообразований: кристобалита, гематита и анортита. Образование новых минералов в образцах из межсланцевой глины подтверждают и ИК-спектры, которые показали и наличие при 1050°C стеклофазы, которую, как правило, на рентгенограммах обнаружить затруднительно.

5. Установлено, что введение золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев в керамическую массу 20% способствует образованию муллита и диоксида, которые повышают прочность кирпича.

6. Выявлено, что использование крупнотоннажных отходов ТЭК в производстве массового спроса керамических материалов строительного направления без использования естественного (натурального) сырья способствует: а) рециклирование техногенного сырья; б) оберегание окружающей среды; в) интенсификация с заметным ростом сырьевой базы для получения керамического кирпича.

Список литературы / References

1. Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Бурьянов А.Ф. Перспективы применения переработанных топливных золошлаковых отходов гидроудаления в сухих строительных смесях. Часть 1 // Строительные материалы. 2023. № 4. С. 73–79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-73-79> [Petropavlovskaya V.B., Zavadko M.Yu., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Buryanov A.F. Prospects for the use of recycled fuel ash and slag waste from hydraulic removal in dry building mixes. Part 1 // Building materials. 2023. No. 4. P. 73-79. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-73-79>]
2. 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, 29(1), P. 21–32, 2017. <https://doi.org/10.1680/jadcr.16.00060>
3. Земсков В.В., Прасолов В.И. Истощение минеральных ресурсов как угроза экономической безопасности России // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2021. Том 11. № 10А. С. 195-205. DOI: 10.34670/AR.2021.76.61.023 [Zemskov V.V., Prasolov V.I. Depletion of mineral resources as a threat to Russia's economic security // Economics: yesterday, today, tomorrow. 2021. Volume 11. No. 10A. P. 195-205. DOI: 10.34670/AR.2021.76.61.023]
4. Bogdanov A., Mavlyuberdinov A., Nurieva E. The use of nanosized additives in the modification of brick loam / A. Bogdanov // E3S Web of Conferences Volume 274 (2021): 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE - 2021), Kazan, April, 21–28, 2021. Vol. 274. – France: EDP Sciences, 2021. – P. 4005. – DOI 10.1051/e3sconf/202127404005. – EDN XRXNVX.
5. Пичугин Е.А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // 2019. №4 // Проблемы региональной экологии. 2019. №4. С. 77-87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077 [Pichugin E.A. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in economic turnover // 2019. No.4 // Problems of regional ecology. 2019. No.4. P. 77-87. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-14077]

6. Бушумов С.А., Короткова Т.Г. Экологически безопасный сорбент из золошлаковых отходов теплоэнергетики. // Тонкие химические технологии. 2023;18(5):446-460 <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2023-18-5-446-460> [Bushumov S.A., Korotkova T.G. Environmentally safe sorbent from ash and slag waste of thermal power engineering. // Fine chemical technologies. 2023;18(5):446-460 <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2023-18-5-446-460>]
7. 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, Kazan, April, 29 – May, 15, 2020. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012031. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012031. – EDN DOSSMP.
8. Abdrakhimov V. Z., Nikitina N. V. Phase Composition of Interstitial Clay and Gas Emissions on Heat Treatment // ISSN 1068-364X, Coke and Chemistry, 2023, Vol. 66, No. 8, P. 431–437. © Allerton Press, Inc. DOI: 10.3103/S1068364X23701028
9. Abdrakhimov V. Z. Combustion Kinetics of Organic Components in Firing Porous Aggregates Based on Ash and Shale Clay Samara State Economic University // Coke and Chemistry, 2023, Vol. 66, No. 3, P. 135–143. DOI: 10.52351/00232815_2023_03_47
10. Khuziakhmetova K., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8_2. – EDN TDMAAU. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=46959977>)
11. Galeev R., Abdrakhmanova L., Nizamov R. Nanommodified organic-inorganic polymeric binders for polymer building materials // Solid State Phenomena. – 2018. – Vol. 276. – P. 223-228. – DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.276.223. – EDN YBYFXF. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=35754476>)
12. Leimbi-Merike R., Tiina H., Eneli L. Composition and properties of oil shale ash concrete. // Oil shale. 2014. № 2 (34). P. 147–160.
13. Khuziakhmetova K., Abdrakhmanova L., Nizamov R., Islamov A. Polyvinyl Chloride Compounds for Construction Industry // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, April, 21–29, 2022. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 191-200. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_16. – EDN JYWBPf. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=49765967>)
14. Коршунов А.Д., Салтыкова С.Н., Дмитриев И.М. Оценка возможности использования углезольных остатков горючих сланцев в качестве сорбента. // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Том 14. №1. С. 127-131. DOI: 10.37614/2949-1215.2023.14.1.023. [Korshunov A.D., Saltykova S.N., Dmitriev I.M. Assessment of the possibility of using coal-ash residues of oil shales as a sorbent. // Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Technical Sciences. 2023. Volume 14. No.1. P. 127-131. DOI: 10.37614/2949-1215.2023.14.1.023.]
15. Назаренко М.Ю., Кондрашева Н.К., Салтыкова С.Н. Эффективность применения горючих сланцев и сланцевольных отходов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2016 Т. 327 № 9. С. 95–103 [Nazarenko M.Yu., Kondrasheva N.K., Saltykova S.N. The effectiveness of the use of oil shale and shale coal waste // News of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering. 2016 vol. 327 No. 9. P. 95-103]
16. Абдрахимов В.З. Процессы в сейсмостойком кирпиче на основе некондиционной глины и алюмощелочного шлама в интервале температур 1000-1100°С // Известия вузов. Строительство. 2023. №2. С. 25-35. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-25-35. [Abdrakhimov V.Z. Processes in earthquake-resistant bricks based on substandard clay and aluminum-alkali sludge in the temperature range 1000-1100 ° C. // News of universities. Construction. 2023. No.2. P. 25-35. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-770-2-25-35.]

17. Ковков И.В., Абдрахимов В.З. Исследование регрессивным методом анализа влияние шлака от выплавки ферросплава на физико-механические показатели кирпича // Известия вузов. Строительство. 2006. №9. С. 105-110. [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 // News of universities. Construction. 2006. No. 9. P. 105-110.]
18. Абдрахимова Е.С., Вдовина Е.В., Абдрахимов В.З., Абдрахимов А.В. Исследование регрессивным методом анализа физико-механических показателей кирпича // Известия вузов. Строительство. 2007. №3. С. 40-46. [Abdrakhimova E.S., Vdovina E.V., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimov A.V. Research of physico-mechanical parameters of bricks by a regressive analysis method // News of universities. Construction. 2007. No.3. P. 40-46.]
19. Fomin A., Hafizov E., Vdovin E., Fafanov R. Stone mastic asphalt modified with stabilizing additives of multifunctional action // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – No. 1(117). – P. 11712. – DOI 10.34910/MCE.117.12. – EDN PYNURM. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=50295834>)
20. Vdovin E., Stroganov V. Phase structure of cement pastes with antifreeze agents // Magazine of Civil Engineering. – 2023. – No. 4(120). – P. 12007. – DOI 10.34910/MCE.120.7. – EDN DEQNOA. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=54128644>)
21. Vdovin E., Bulanov P., Stroganov V., Mavliev L. Physical and Mechanical Characteristics of Modified Soil Cement with Polycarboxylate Superplasticizers // Proceedings of STCCE : International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering 2022 : Lecture Notes in Civil Engineering, Kazan, April, 21–29, 2022. Vol. 291. – Switzerland: Springer Nature, 2022. – P. 125-133. – DOI 10.1007/978-3-031-14623-7_10. – EDN DSAMRE. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=49765960>)
22. Павлов В.Ф. Особенности превращения кремнезема, содержащегося в глинах. // Тр. ин-та НИИСтройкерамики. 1973. Вып. 38. С 3-11. [Pavlov V.F. Peculiarities of the transformation of silica contained in clays. // Works of the construction ceramics research and development institute. 1973. Issue 38. P. 3-11.]
23. Сафронова Т.В., Зыкова Ю.А. Диопсид - эффективная добавка при производстве кирпича. //Вестник ИрГТУ, № 3. Иркутск, 2009. С.174–180. [Safronova T.V., Zyкова Yu.A. Diopside is an effective additive in the production of bricks. //Bulletin of the IrSTU, No. 3. Irkutsk, 2009. P.174-180.]

Информация об авторе

Абдрахимов Владимир Закирович, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный экономический университет, г. Самара, Российская Федерация
E-mail: 3375892@mail.ru

Information about the author

Vladimir Z. Abdrakhimov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation
E-mail: 3375892@mail.ru