

УДК: 691.3; 666.72.05
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.2
EDN: DKLSYS



Влияние фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича

В.З. Абдрахимов¹

¹Самарский государственный экономический университет
Самара, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* Для рентабельного функционирования заводов по производству керамического кирпича высоких марок требуются высококачественные сырьевые материалы, запасы которых существенно иссякли, поэтому целесообразно (в т.ч. и в интересах экологии) проводить исследования по замене их и одновременно по утилизации техногенного сырья, без применения естественных природных материалов. Потреблению техногенного сырья предшествует проведение всесторонних анализов по определению химико-минералогических и фракционных составов, а также их свойств технологического характера. Рециклинг отходов производств в керамические массы позволит не только получить керамический кирпич, но и использовать его в качестве инструментария для защиты экосистем. *Цель работы:* исследовать фактор воздействия фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича без применения естественных сырьевых материалов на основе межсланцевой глины. *Задачами исследования являются:* спроектировать составы керамического кирпича марок не ниже М100-М125, без привлечения натуральных естественных компонентов; исследовать фактор воздействия фосфорного шлака на фазовый состав при обжиге изделия.

Результаты. Доказано, что без введения в состав керамической массы в качестве отощителя фосфорного шлака, только из межсланцевой глины получить керамический кирпич, отвечающий требованиям нормативной документации невозможно. Оптимальным составом для получения кирпича марки М125 является состав, включающий 20% фосфорного шлака. Такое количество шлака способствует образованию при обжиге в кирпиче псевдоволластонита и ларнита.

Выводы. Выявлено, что увеличение фосфорного шлака с 10 до 30% снижает пластичность керамической массы с 19 до 9, а значит и связующей способности межсланцевой глины, что влечет к появлению трещин на поверхности кирпича.

Ключевые слова: фосфорный шлак, межсланцевая глина, керамический кирпич, технические показатели, фазовый состав, псевдоволластонит, ларнит.

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Влияние фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия КГАСУ, 2024, № 3(69), с.15-26, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.2, EDN: DKLSYS

The effect of phosphoric slag on the technical parameters and phase composition of ceramic bricks

V.Z. Abdrakhimov¹

¹Samara State University of Economics,
Samara, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* For the cost-effective self-financing operation of plants for the production of ceramic bricks of high grades, high-quality raw materials are required, which have significantly declined, therefore it is advisable (especially from ecological point of view)

to conduct research on replacing them with the utilization of man-made raw materials without using natural materials. The consumption of technogenic raw materials should be preceded by comprehensive analyses to determine chemical, mineralogical and fractional compositions, as well as to characterize their technological properties. Recycling of industrial waste into ceramic masses will allow not only obtaining ceramic bricks, but also using it as a tool for protecting ecosystems. *The purpose of the work is to investigate the effect of phosphoric slag on the technical parameters and phase composition of ceramic bricks without the use of natural raw materials based on intershale clay. The tasks of the study are to design compositions of ceramic bricks of grades no lower than M100-M125 without resorting to the use of natural components and to study the effect of phosphoric slag on phase transformations during firing of products.*

Results. It is proved that without the introduction of phosphoric slag into the composition of the ceramic mass as a non-plastic material, it is impossible to obtain ceramic bricks that meet the requirements of state standards only from intershale clay. The optimal composition for producing bricks of the M125 grade is a composition including 20% phosphoric slag. This amount of slag contributes to the formation of pseudovollastonite and larnite in bricks during firing.

Conclusions. It was revealed that an increase in phosphoric slag from 10 to 30% reduces the plasticity of the ceramic mass from 19 to 9, and hence the binding properties of the intershale clay, which leads to cracks on the surface of the brick.

Keywords: phosphoric slag, intershale clay, ceramic brick, technical parameters, phase composition, pseudo vollastonite, larnite.

For citation: Abdrakhimov V.Z. The influence of phosphoric slag on technical parameters and phase composition of ceramic bricks // News of KSUAE, 2024, № 3(69), с.15-26, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.2, EDN: DKLSYS

1. Введение

Вопросы загрязнения окружающей среды занимают одно из ведущих мест в процессе функционирования индустриального производства, поэтому осмысленная эксплуатация естественных природных ресурсов поможет снять эту проблему [1-3]. Чрезмерно избыточное количество техногенного сырья способствуют значительным экологическим нагрузкам в результате эмиссии загрязняющих веществ. Причем заслуживают внимание, возникшие острые проблемы по утилизации отходов фосфорного производства и отходов ТЭК (топливно-энергетический комплекс), в частности горючих сланцев – межсланцевой глины [4-6]. Отходы производств чаще всего, чтобы отличить от бытовых, именуют техногенным сырьем.

Масштабы находящихся в употреблении фосфорных шлаков в производстве изделий строительного направления находится в пределах 20-25%, поэтому привлечение в строительную отрасль этого техногенного сырья по-прежнему остается злободневной проблемой [4-6].

Применяемость техногенного сырья в производстве керамических материалов строительного направления определяют химико-минералогическими и фракционным составами, а также технологическими свойствами. Как показали исследования в работах [4-6.], на каждую тонну фосфора формируется около 8-10 тонн шлака. Фосфорные шлаки чаще всего находятся в аморфном состоянии, так как содержат от 60 до 90% стеклофазы, другая часть зафиксирована кристаллическими фазами, в частности псевдоволластонитом (α -CaO•SiO₂), который является высокотемпературной модификацией волластонита [4, 7, 8].

На основе крупнотоннажного техногенного сырья, например фосфорного шлака и межсланцевой глины, целесообразно производить керамические изделия массового потребления, к числу которых, несомненно, относится кирпич. Такой рециклинг техногенного сырья в керамические массы позволит не только получить керамический кирпич, но и использовать его в качестве инструментария для защиты экосистем. Эволюция инновационных современных технологий производства керамического кирпича в XXI в. наглядно демонстрирует результативное и экологически выгодное

применение в формате сырьевых компонентов техногенного сырья. Это обусловлено, с одной стороны, исчерпыванием резервов традиционного природного сырья, а с другой – огромным накоплением техногенного.

Сегмент в керамической промышленности, к которому относится производство кирпича, относящийся к изделиям массового потребления, остро ощущает недостаток природного алюмосиликатного традиционного сырья, преимущественно глинистых связующих и отощителей. Кроме того, заметно снижается само качество алюмосиликатного сырья, которое необходимо регулировать различными добавками, встречающимися не во всех регионах России, поэтому эффективным вариантом можно считать применение техногенного сырья [9-11]. Продвинутые зарубежные концерны и фирмы не только воспользовались техногенным сырьем для изготовления керамического кирпича, но и еще позаимствовали как квалифицированную компетенцию по защите экологии.

Для производства высокомарочного кирпича требуются фундаментальные исследования и оценка утилизируемых многотоннажных техногенных компонентов - фосфорного шлака и межсланцевой глины. Поэтому, первым делом перед рекуперацией многотоннажных отходов в массовом производстве керамического кирпича, необходимо:

- провести комплексное исследования свойств применяемого в настоящей работе техногенного сырья - фосфорного шлака и межсланцевой глины: определить их химические, минеральные и фракционные составы, микроструктуры, термические и другие технологические свойства;

- подобрать составы для получения керамического кирпича, без применения природного традиционного сырья;

- исследовать процессы, происходящие при обжиге образцов 1000°C для определения фазового состава, существенно влияющего на технические показатели кирпича.

Цель работы: исследовать фактор воздействия фосфорного шлака на технические показатели и фазовый состав керамического кирпича без применения естественных сырьевых материалов на основе межсланцевой глины.

Объектом исследования являются: фосфорный шлак, межсланцевая глина некондиционный глинистый материал, керамический кирпич.

Задачами исследования являются:

- спроектировать составы керамического кирпича марок не ниже М100-М125, без привлечения натуральных естественных компонентов

- исследовать фактор воздействия фосфорного шлака на фазовый состав при обжиге изделия.

2. Материалы и методы

В предложенной статье элементарный анализ (поэлементный состав) и микроструктуру (электронное фотографирование) используемого техногенного сырья характеризовали с использованием растрового электронного микроскопа JSM 6390A фирмы Jeol.

Диагностирование в техногенном сырье кристаллических и аморфных фаз осуществляли способом петрографии в проходящем свете с привлечением микроскопов МИН-7, МИН-8 и Nu-2E с возможностью использования прозрачных шлифов и аншлифов в иммерсионных препаратах.

Для диагностирования размера и диапазона частиц в техногенном сырье был использован микроскоп МИН-8 для металлографического анализа при увеличении в 200 раз. Посредством рентгенодифрактометрического метода анализировался качественный фазовый (минеральный) состав образцов на специализированном дифрактометре ДРОН-3 с $Si_{K\alpha}$ – излучением.

Сырьевые материалы. Для получения экспериментальных образцов применялись: в качестве глинистого связующего- межсланцевая глина, отощителя – фосфорный шлак.

Химические составы: усредненный оксидный и поэлементный показаны в табл. 1 и 2, технологические свойства в табл. 3, фракционный в табл. 4, металлографический анализ на рис. 1, минеральный состав на рис. 2, а микроструктура на рис. 3.

Таблица 1

Усредненный химический оксидный состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	R ₂ O	П.п.п.
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	-

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

Таблица 2

Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

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

Таблица 3

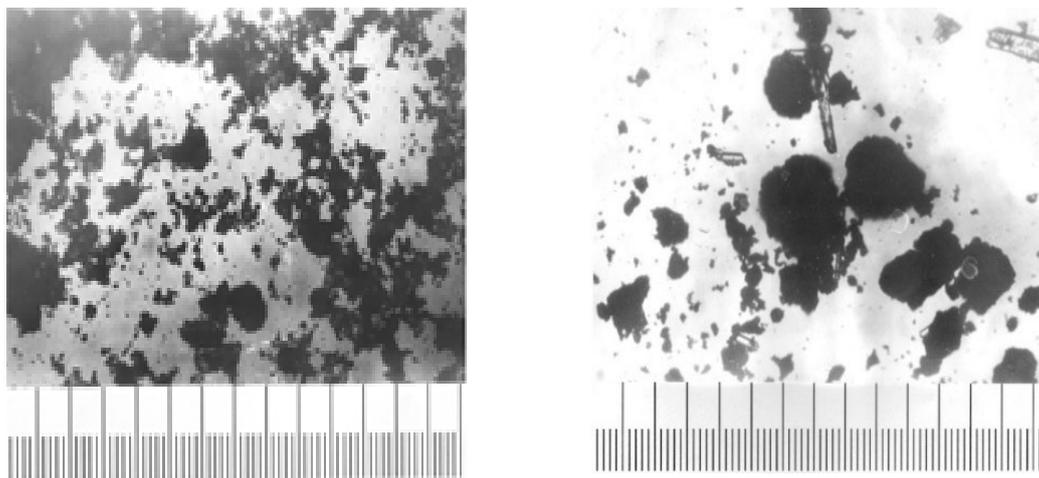
Технологические показатели сырьевых компонентов

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °C		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
1. Межсланцевая глина	1200	1270	1310	1350
2. Фосфорный шлак	-	1300	1320	1350

Таблица 4

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. Фосфорный шлак	42	23	18	12	5



а)

б)

Рис. 1. Металлографический анализ сырьевых компонентов:

а) - межсланцевой глины; б) – фосфорный шлак (иллюстрация авторов)

Fig. 1. Metallographic analysis of raw materials components:

a) - shale clay; b) – phosphoric slag (illustration by the authors)

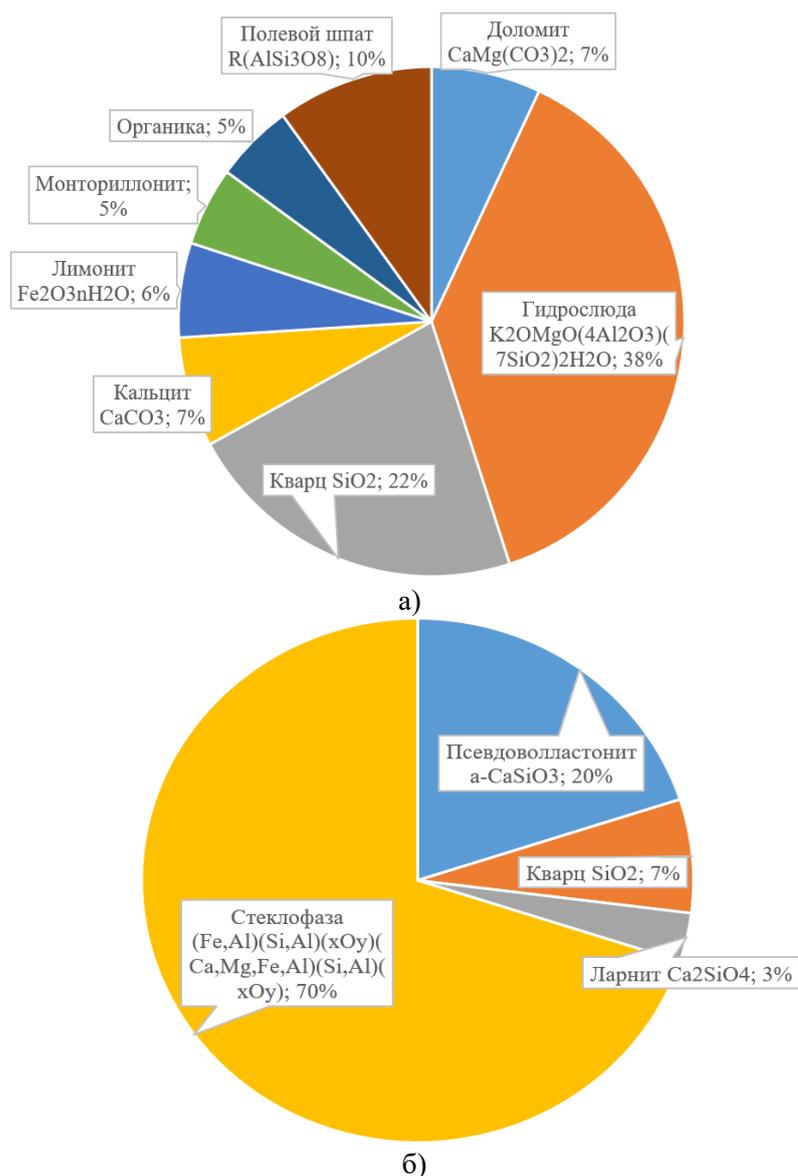


Рис. 2. Минералогический состав сырьевых компонентов:
 а) – межсланцевая глина; б) фосфорный шлак (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Mineralogical composition of raw materials components:
 а) – inter-shale clay; б) phosphoric slag (illustration by the authors)

Межсланцевая глина. Задействованная глинистая составляющая достаточно хорошо описана в работе [12]. Согласно табл. 1 по суммарному содержанию $Al_2O_3 + TiO_2$ (<15%) межсланцевая глина относится к кислой (К), а по содержанию красящих оксидов ($Al_2O_3 + TiO_2$) с высоким содержанием (>3%), наличие которых подтверждает и табл. 2. Табл. 3 показывает, что исследуемая глина является легкоплавкой (огнеупорность менее $1350^\circ C$, табл. 3). По гранулометрическому составу межсланцевая глина относится к дисперсной (содержание тонкодисперсной фракции <0,001мм = 55%, табл. 4), она идентифицируется как среднепластичная (число пластичности 17-21). Металлографический анализ выявил в исследуемой глине много мелких и средних фракций (размером менее 10 мкм, черного цвета, по-видимому остатки органики, рис. 1, а). Минералогический состав межсланцевой глины показал основное содержание следующих минералов: гидрослюда 38 + кварц 22 + полевой шпат 10 = 70% (рис. 2). На рис. 3 показана микроструктура межсланцевой глины. Микроструктура определяет строение материалов (кристаллическое или аморфное) и их химическую активность. Аморфные вещества характеризуются изотропностью (равномерность свойств во всех

направлениях) и большей химической активностью. Они при нагревании размягчаются, постепенно переходя в жидкое состояние без четко выраженной температуры плавления.



Рис. 3. Микроструктура сырьевых компонентов: а) – межсланцевая глина; б) – фосфорный шлак. Увеличение а) x500; б) x5000 (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Microstructure of raw materials components:

a– inter–shale clay; b) - phosphoric slag. Magnification a) x500; b) x5000 (illustration by the authors)

Фосфорный шлак. Это техногенное сырье формируется в процессе генерации фосфора в электропечах при температурах от 1300 до 1500°C термическим методом [13, 14]. Технические и технологические показатели и свойства фосфорного шлака показаны в табл. 1-4 и на рис. 1-3, б. Согласно металлографическому анализу в образцах к среднему размеру можно отнести частицы от 8 до 15 мкм, но встречаются и размером до 55 мкм, рис. 1, б.

Минеральный состав фосфорного шлака в значительной степени состоит из стеклофазы (70%, рис. 2) и кристаллических минералов: псевдоволластонита, кварца и ларнита. Псевдоволластонит – это высокотемпературная полиморфная форма волластонита (β -CaSiO₃). Трансформация волластонита в псевдоволластонит протекает при температуре 1125°C [14]. Исследования показали, что псевдоволластонит также может появляться в литейном шлаке, цементе и керамическом материале.

В природе, т.е. в естественных условиях, псевдоволластонит обнаруживался в грязевых вулканах, причем в широком диапазоне глубин верхней мантии в виде призматических кристаллов с показателями светопреломления $\eta_g=1,654\pm 0,002$, $\eta_p=1,610\pm 0,0015$ [15-17]. Встречается также псевдоволластонит в геологической формации Хатрурим (Израиль) с обнажениями в области бассейна Мертвого моря в пустынях Негев, Иудейской и в Западной части Иордании.

Технология получения керамического кирпича. Межсланцевая глина и фосфорный шлак после снижения влаги (атмосферной, карьерной и т.д.) до 5% перемалывалась до продвижения сквозь сито до величины ячейки 1 мм. Размельченные компоненты согласно рецепту, показанного в табл. 5 основательно перемешивалась, а в табл. 6 технические (физико-механические) показатели керамического кирпича.

Таблица 5

Составы, пластичность шихты и показатели после сушки полуфабрикатов

Компонент	Содержание отходов, мас. %				
	1	2	3	4	5
Межсланцевая глина	100	90	85	80	70
Фосфорный шлак	–	10	15	20	30
Пластичность, безразмерная величина	19	16	14	11	9
Усадка, высушенного образца, %;	6,5	6,1	5,6	4,9	4,5

Таблица 6

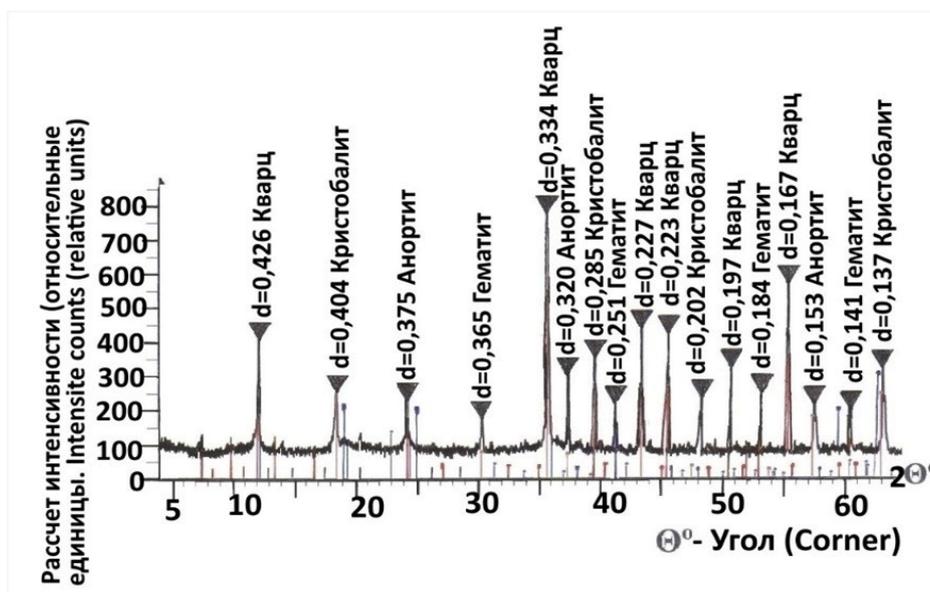
Технические показатели кирпича

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
Прочности при сжатии, МПа	9,5	12,2	13,8	14,7	12,4
Прочности при изгибе, МПа	2,1	2,6	3,0	3,4	2,9
Морозостойкость, циклы	18	23	28	39	27
Водопоглощение, %	14,7	13,2	12,0	11,4	12,5
Марочность кирпича	–	M100	M125	M125	M100

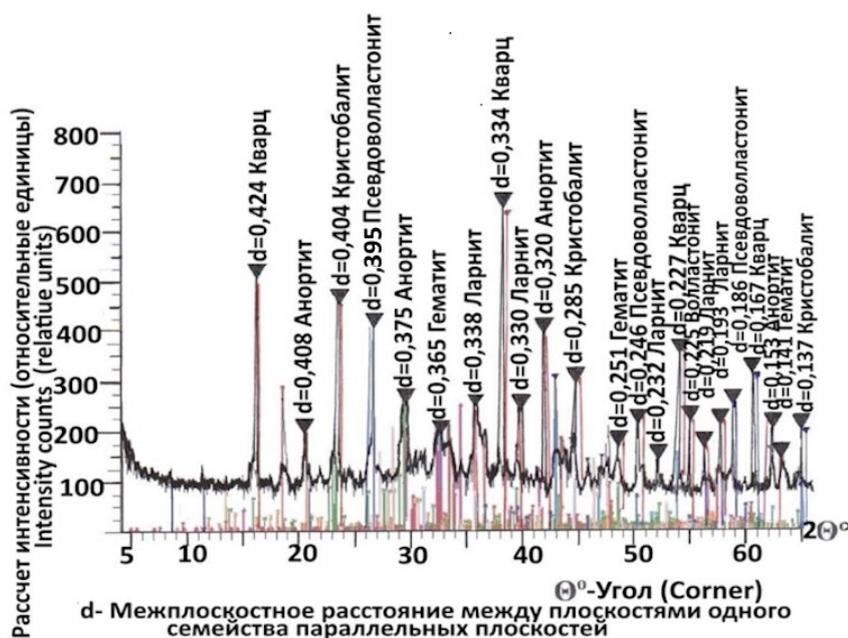
После основательного перемешивания композиция (шихта) смачивалась до влажности 21-23% (с учетом количества в составах глинистого компонента). Из гомогенизированной тестообразной консистенции пластическим изготовлением произведены образцы (с учетом требования ГОСТа размером 250x120x65 см), которые в сушильном шкафу доводили до влажности не более 5%. Полученный полуфабрикат подвергался термообработке при 1000°C и выдержки в течение 1 часа.

На рис. 4 показаны рентгенограммы образцов из составов №1 и №4 (№4 - оптимальный состав), обожженных при температуре 1000°C (состав №1, в котором не использовался отощитель выбран для сравнения).

Необходимо обозначить, что вероятные примеси или минералы с нечеткой окристаллизованностью, идентификация которых не может быть конкретной из-за мизерного содержания, на рентгенограммах не указаны.



а)



б)

Рис. 4. Рентгенограммы образцов из составов а) -№1 и б) №4 (иллюстрация авторов)

Fig. 4. Radiographs of samples from compositions a) -№1 and b)- № 4 (illustration by the authors)

3. Результаты и обсуждение

На кирпичных заводах обжиг кирпича с учетом его состава производится в интервале 950-1050°C. Выполненные эксперименты продемонстрировали, что керамический кирпич без употребления отощителей, т.е. изготовленный только из межсланцевой глины неосуществимо произвести даже марки М100 (табл. 6).

Информация, полученная из табл. 5 и 6 продемонстрировала, что увеличение количества фосфорного шлака в керамической массе до 20% и пропорционально снижение глинистой составляющей до 80% благоприятствует увеличению технических показателей. Последующее повышение фосфорного шлака (более 20%) и уменьшение соответственно глинистого связующего способствует снижению технических показателей (табл. 6).

Но рост фосфорного шлака с 10 до 30% заметно понизит число пластичности с 19 до 9 (табл. 5), в результате чего при формовании кирпича на его поверхности появятся трещины, так как будет недостаточна связующая способность.

Рациональным конгломератом, состоящим из техногенного сырья, для производства кирпича не ниже марки 125, целесообразно использовать состав, включающий 20% фосфорного шлака, следовательно, таким состав может служить состав №4, табл. 6.

Рентгеновский анализ после термообработки из состава №1 образца выявил в нем кристаллизацию новых минералов: кристобалита, анортита и гематита (рис. 4, а). Согласно требованиям ГОСТа 9169—2021 (Глинистое сырье. Классификация) глины, имеющие в своем составе избыточное количество оксида железа ($Fe_2O_3 > 3\%$) воспринимаются как сырье с повышенным количеством красящихся оксидов. Количество оксида железа в межсланцевой глине более 5% ($Fe_2O_3=5,60\%$), поэтому в таких гидрослюдистых легкоплавких глинах, как правило, образуется гематит [18-20]. А гематит, как показал анализ работ [18-20], идентифицируется, как стержневой железистый минерал, который содействует росту в интервале температур 1000-1050°C железистого стекла.

Исследования и полученные на их основе результаты работ [18-20] выявили, что при термообработке керамического кирпича уже при 1000°C кристаллизуется не тридимит, а кристобалит, что не согласуется классической диаграммой кремнезема

Феннера. Авторы указанных работ свои результаты прокомментировали следующими пояснениями – для кристаллизации кристобалита востребуется в меньшей мере энергия активации, по отношению к тридимиту. Такой кристобалит характеризуется увеличенным в кристаллической решетке числом дефектов, поэтому не благоприятствует росту прочности керамического кирпича, но содействует форсированию твердофазовых реакций [19-21].

Авторы работы [22] диагностировали, что в керамических материалах кристаллизуется только устойчивая разновидность анортита - кальциевый полевой шпат ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), а в работах [22, 23] выявили, что такой анортит конструктивно стимулирует рост прочности кирпича.

Прибавление 20% фосфорного шлака в керамическую массу реализует кристаллизацию псевдоволластонита и ларнита. В публикациях [14, 24, 25] было отражено, что оптимизация прочностных характеристик происходит в образцах, содержащих включающих от 15 до 25% псевдоволластонита или волластонита. Употребление волластонита положительно влияет на армирующий результат, ограничивает усадку кирпича при сушке и обжиге, наращивает механическую прочность керамики, заметно сужает тенденцию изделий к трещинообразованию.

Ларнит – природный аналог синтетической β -модификации Ca_2SiO_4 , является важной составляющей портландцемента, который упрочняет материал (твердость ларнита -6,0) [26].

4. Заключение

1. Анализ содержания и показателей кирпича без употребления фосфорного шлака неадекватный даже марки изделия М100.

2. Зафиксировано возрастание важнейших показателей керамического кирпича при внедрении в составы керамических масс до 20% фосфорного шлака, но дальнейший его рост уже начинает снижать эти показатели.

3. Выявлено, что увеличение содержания фосфорного шлака с 10 до 30% снижает пластичность шихты (керамической массы) с 19 до 9. Такое снижение способствует образованию трещин на поверхности кирпича при его формовании (низкая связующая способность), поэтому оптимальным составом для получения кирпича марки М125 являются состав, содержащий 20% фосфорного шлака.

4. Рентгенофазовые исследования показали, что при обжиге кирпича из межсланцевой глины, без применения отошителей образуются следующие новые минералы: кристобалит, гематит и анортит.

5. Отмечено, что присоединение 20% фосфорного шлака к керамической массе, содержащей только межсланцевую глину, благоприятствует появлению псевдоволластонита и ларнита, которые улучшают прочностные характеристики, обеспечивают консолидирующий результат, ограничивают стягивание внутри изделия при сушке и обжиге

6. Выявлено, что использование крупнотоннажных отходов в производстве массового спроса керамических материалов строительного направления, не употребляя натуральное ресурсное сырье ориентирует на: а) рециклирование техногенного сырья; б) защита окрестной обстановки; в) наращивание потребительской основы для комплектования производства керамического кирпича.

Список источников/ References

1. Popkova E.G., Inshakova A.O., Bogoviz A.V. Energy Efficiency and Pollution Control Through ICTs for Sustainable Development // *Frontiers in Energy Research*. - 2021. - Vol. 9. - P. 735551. - DOI: 10.3389/ferg.2021.815707.
2. Lau P.J., Pei Qin Ng W., How B.S., Lim C.H., Lam H.L. Paving a way toward circular economy for oil and gas industry: a conceptual modelling of re-refining process through solvent extraction and hydrofinishing pathway // *Journal of Cleaner Production* -2022 - Vol. 380. - P. 1. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134839>.
3. Kazamias G., Zorpas A.A. Drill cuttings waste management from oil & gas exploitation industries through end-of-waste criteria in the framework of circular economy strategy

- // Journal of Cleaner Production -2021. - Vol. 322. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129098>.
4. Грызлов В.С., Фоменко А.И., Федорчук Н.М., Бусыгин Н.С., Тургумбаева Х.Х., Бейсекова Т.И., Лапшина И.З. Электротермофосфорные шлаки на основе вяжущих композитов // Строительные материалы. 2014. №10. С. 66-68. [Gryzlov V.S., Fomenko A.I., Fedorchuk N.M., Busygin N.S., Turgumbaeva H.H., Beisekova T.I., Lapshina I.Z. Electrothermophosphoric slags based on binder composites // Building materials. 2014. No.10. P. 66-68].
 5. Сулейменов Ж.Т., Сагындыков А.А., Молдамуратов Ж.Н., Баялиева Г.М., Алимбаева Ж.Б. Высокопрочная стеновая керамика на основе фосфорного шлака и бентонитовой глины // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 1. С. 11–17. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>. [Suleimenov Zh.T., Sagyndykov A.A., Moldamuratov Zh.N., Bayaliev G.M., Alimbayeva Zh.B. High-strength wall ceramics based on phosphoric slag and bentonite clay // Nanotechnology in construction. 2022. Vol. 14, No. 1. P. 11-17. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-1-11-17>].
 6. Рыщенко М.И., Трусова Ю.Д., Олифиренко Н.Г. Исследование фосфорного шлака в производстве керамических облицовочных плиток. // Керамическая промышленность. Серия 5 Вып. 12, ВНИИЭСМ, 1981, С. 23-27. [Ryshchenko M.I., Trusova Yu.D., Olifirenko N.G. Investigation of phosphoric slag in the production of ceramic facing tiles. // Ceramic industry. Series 5 Issue 12, VNIIESM, 1981, P. 23-27].
 7. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Использование волластонита в производстве керамических изделий // Материаловедение -2004, №10, -С. 47-52. [Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z. The use of wollastonite in the production of ceramic products // Materials Science -2004, No. 10, P. 47-52].
 8. Балакирев А.А., Миркин М.И. Фосфорный шлак для изготовления облицовочных плиток //Технология неорганических веществ и минеральных удобрений. Материалы XII Всесоюзной научно-технической конференции. Чимкент, 1981, С. 422-424. [Balakirev A.A., Mirkin M.I. Phosphoric slag for the manufacture of facing tiles //Technology of inorganic substances and mineral fertilizers. Materials of the CP All-Union Scientific and Technical Conference. Shymkent, 1981, P. 422-424].
 9. Абдрахимов В.З. Процессы в сейсмостойком кирпиче на основе некондиционной глины и алюмощелочного шлама в интервале температур 1000-1100оС // 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].
 10. Абдрахимов В.З. Получение огнеупорного пористого заполнителя на основе алюмосодержащего шлака и жидкостекольной композиции // Известия вузов. Строительство. 2023. №4. С. 24-34. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-4-24-34. [Abdrakhimov V.Z. Obtaining a refractory porous filler based on aluminum-containing slag and a liquid-glass composition // News of the universities. Construction. 2023. No.4. P. 24-34. DOI: 10.32683/0536-1052-2023-772-4-24-34].
 11. Строганов В. Ф., Федорова А.А. Утилизация отходов гальванического производства при получении керамических материалов // Наследие В.И. Вернадского и современные проблемы экологии. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 170-179. – EDN ERPGYX. [Stroganov V. F., Fedorova A.A. Utilization of galvanic production waste in the production of ceramic materials // Heritage of V.I. Vernadsky and modern problems of ecology. - 2023. – Vol. 1, No. 1. – P. 170-179. – EDN ERPGYX.]
 12. Абдрахимов В.З. Влияние золошлака и карбонатного шлама на физико-механические показатели и фазовый состав керамического кирпича // Известия вузов. Строительство. 2023. №10. С. 45-49. DOI:10.32683/0536-1052-2023-778-10-45-59. [Abdrakhimov V.Z. Influence of ash slag and carbonate sludge on physical and mechanical parameters and phase composition of ceramic bricks // News of the

- universities. Construction. 2023. No. 10. P. 45-49. DOI:10.32683/0536-1052-2023-778-10-45-59].
13. Шуб Б.И., Хлебодарова Э.В. Перспективы развития полугидратного процесса получения экстракционной фосфорной кислоты // Химическая промышленность. 1999. №11. С.41-43. [Shub B.I., Khlebodarova E.V. Prospects for the development of a semi-hydrate process for obtaining extractive phosphoric acid / B.I. Shub, E.V. Khlebodarova // Chemical industry. 1999. No.11. P.41-43].
 14. Ковков И.В., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические процессы при различных температурах обжига керамического кирпича на основе бейделлитовой глины, фосфорного шлака и золошлака // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 11, №5, 2009. С. 24-27. [Kovkov I.V., Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. Physico-chemical processes at different firing temperatures of ceramic bricks based on beidellite clay, phosphoric slag and ash slag // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, vol. 11, No.5, 2009. P. 24-27].
 15. Псевдоволластонит. - <https://ru.wikiital.com/wiki/Pseudowollastonite>. [Pseudovollasonite. - <https://ru.wikiital.com/wiki/Pseudowollastonite>]
 16. Пушаровский Д.Ю. Структурные трансформации минералов в мантии земли: новые высокобарические полиморфные модификации оливина и волластонита // Записки минералогического общества. 2023. Т. 152. №5. С. 66-88. [Pusharovskiy D.Yu. Structural transformations of minerals in the Earth's mantle: new high-pressure polymorphic modifications of olivine and wollastonite // Notes of the Mineralogical Society. 2023. Vol. 152. No.5. P. 66-88].
 17. Ерохин Ю.В., Захарова А.В. Псевдоволластонит-геленитовые шлаки из Верхнесинячихинского металлургического завода // Минералогия техногенеза. 2014. №15. С. 82-92. [Erokhin Yu.V., Zakharova A.V. Pseudovollastonite-gelenite slags from Verkhne-sinyachikhinsky metallurgical plant // Mineralogy of technogenesis. 2014. No.15. P. 82-92].
 18. Женжурист И. А., Хозин В.Г., Низамов Р.К. Использование промышленных отходов стеклоизделий в технологии строительной керамики // Строительные материалы. – 2019. – № 12. – С. 34-36. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-777-12-34-36. – EDN GYGTQR. [Zhenzhurist I. A., Khozin V.G., Nizamov R.K. The use of industrial waste glass products in the technology of building ceramics // Building materials. – 2019. – No. 12. – P. 34-36. – DOI 10.31659/0585-430X-2019-777-12-34-36. – EDN GYGTQR.]
 19. Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L.F. Physical and mechanical characteristics of soil stabilized with quicklime for road bed // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2022. – No. 7(105). – P. 10503. – DOI 10.4123/CUBS.105.3. – EDN NUBINA.
 20. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. М: Стройиздат, 1977. 272 с. [Pavlov V.F. Physico-chemical bases of firing of building ceramics products. Moscow: Stroyizdat, 1977. 272 p.].
 21. 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. // Tr. in-ta NIISTroikeramiki. 1973. Issue 38. P. 3-11].
 22. Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических включений М.: Металлургия, 1972. 184 с. [Litvinova T.I., Pirozhkova V.P., Petrov A.K. Petrography of nonmetallic inclusions M.: Metallurgy, 1972. 184 p.]
 23. Кулибаев А.А., Дян А.В., Шевандо В.В., Калиева Ж.Е., Смаилова Б.О., Идрисов Д.А., Сайбулатов С.Ж. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге золошлакокерамических материалов // Строительные материалы. 2009. №9. С. 54-56. [Kulibaev A.A., Dyan A.V., Shevando V.V., Kalieva Zh.E., Smailova B.O., Idrisov D.A., Saibulatov S.J. Physico-chemical processes occurring during the firing of ash and slag ceramic materials // Building materials. 2009. No.9. P. 54-56].

24. Готлиб Е.М., Соколова А.Г., Гимранова А.Р. Исследование влияния волластонита на свойства керамических изделий // Экономическое строительство 2023. №9. С. 149-152. [Gottlieb E.M., Sokolova A.G., Gimranova A.R. Investigation of the influence of wollastonite on the properties of ceramic products // Economic construction 2023. No.9. P. 149-152].
25. Гусев А.И. Минерально-сырьевая база волластонита горного Алтая // Современные наукоемкие технологии. 2011. № 2. С. 11-16. [Gusev A.I. Mineral resource base of wollastonite of the Altai Mountains // Modern high-tech technologies. 2011. No. 2. P. 11-16].
26. Яманова Н.А., Зубкова Н.В., Еремин Н.Н., Задов А.Е., Газеев В.М. Кристаллическая структура ларнита β -Ca₂SiO₄ и особенности полиморфных переходов двухкальциевого ортосиликата // Кристаллография, 2011. Т. № 2, С. 235–245. [Yamanova N.A., Zubkova N.V., Eremin N.N., Zadov A.E., Gazeev V.M. Crystal structure of β -Ca₂SiO₄ larnite and features of polymorphic transitions of bicalcium orthosilicate // Crystallography, 2011. Vol. No. 2, P. 235-245].

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