

УДК: 691, 666
DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.5
EDN: HGLFIE



Рециклинг металлургического железосодержащего шлака в производстве керамического кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита

В.З. Абдрахимов¹

¹Самарский государственный экономический университет,
Самара, Российская Федерация

Аннотация. Анализ функционирования кирпичных заводов по запасам качественных высокосортных сырьевых материалов показал их истощение. Следовательно, требуется исследовать и изучить такие отходы производств для применения в качестве отошителей и интенсификаторов спекания, благодаря которым можно будет использовать некондиционное глинистое сырье. Предприятия взяли на вооружение опыт, который использовали еще как инструмент для охраны экологической систем. **Цель работы:** создание и реализация композиций для процесса получения керамического стенового кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита, которая не дает положительного результата при использовании в качестве самостоятельного сырья без применения отошителя и интенсификатора спекания; **Задачами исследования являются:** а) получение керамического стенового кирпича с повышенными физико-механическими показателями и исследование влияния металлургического железосодержащего шлака на технические показатели изделия на основе некондиционной глины. б) исследование влияния металлургического железосодержащего шлака, получаемого от выплавки меди на технические показатели керамического кирпича. **Результаты.** Выявлено, что высушенный кирпич из гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита, без применения отошителя, после сушки не соответствует требованию нормативов по количеству трещин без разрушения, количеству сквозных трещин и многочисленных посечек в результате высокой чувствительности шихты к сушке. Металлургический шлак, введенный в керамическую массу на основе кыштырлинской глины, даже в количестве 10% снижает трещинообразование, повышает прочность (при сжатии и изгибе) и морозостойкость. Оптимальным составом для выпуска керамического кирпича является состав, содержащий 15% шлака. **Выводы.** Исследованиями выявлено, что трещинообразование при производстве кирпича на основе глины Кыштырлинского месторождения без применения отошителей наблюдается в следующих пропорциях: в туннельных сушилках -51% (от общего количества трещин) и после обжига (в печах) – 49%, приблизительно в равных частях. Металлургический шлак снижает трещинообразование, повышает технические показатели. Оптимальным составом для выпуска керамического кирпича является состав, содержащий 15% шлака, марка кирпича при таком содержании соответствует М125 и исключает различные виды брака на изделиях. Дальнейшее увеличение содержания металлургического шлака не снижает марочность кирпича, но при этом появляются различные виды брака, например, черная сердцевина.

Ключевые слова: гидрослюдистая глина, железосодержащий металлургический шлак, керамический кирпич, рециклинг, технические показатели

Для цитирования: Абдрахимов В.З. Рециклинг металлургического железосодержащего шлака в производстве керамического кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), с. 41-50, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.5, EDN: HGLFIE

Recycling of metallurgical iron-containing in the production of ceramic bricks based on hydrosilic low-melting clay with an admixture of montmorillonite

V.Z. Abdrakhimov¹

¹Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation

Abstract. The analysis for the functioning of brick factories and stocks of high-quality high-grade raw materials showed their depletion. Therefore it is necessary to investigate and study such waste products if it is possible to use them as leaners and sintering intensifiers, thanks to which it will be possible to use substandard clay raw materials. Enterprises have adopted such experience, which they also used as a tool for protecting environmental systems. *The purpose of the work:* a) creation and implementation of compositions for the process of obtaining ceramic wall bricks based on hydrosilic low-melting clay with an admixture of montmorillonite, which does not give a positive result when used as an independent raw material without the use of a leaner and sintering intensifier; b) to investigate the effect of metallurgical iron-containing slag obtained from copper smelting on the technical characteristics of ceramic bricks. *Results.* It was revealed that the dried brick made of hydrosilic low-melting clay with an admixture of montmorillonite, without the use of a leaner, after drying does not meet the requirements of State Codes (GOST) in terms of the number of cracks without destruction, the number of through cracks and numerous cuts as a result of the high sensitivity of the charge to drying. Metallurgical slag introduced into the ceramic mass based on Kyshtyrli clay even in an amount of 10% reduces the number of cracks, increases strength (compression and bending) and frost resistance. The optimal composition for the production of ceramic bricks is a composition containing 15% slag. *Conclusions.* Studies have revealed that cracking in the production of bricks based on the Kyshtyrlynsky clay deposit without the use of leaners is observed in the following proportions: in tunnel dryers -51% (of the total number of cracks) and after firing (in furnaces) – 49%, approximately in equal parts. Metallurgical slag reduces the number of cracks, increases technical performance. The optimal composition for the production of ceramic bricks is a composition containing 15% slag, the grade of brick with such a content corresponds to M125 and excludes various types of defects on products. A further increase in the content of metallurgical slag does not reduce the grade of the brick, but at the same time various types of defects appear, for example, a black core.

Keywords: hydrosilic clay, iron-containing metallurgical slag, ceramic brick, recycling, technical indicators

For citation: Abdrakhimov V.Z. Recycling of metallurgical iron-containing in the production of ceramic bricks based on hydrosilic low-melting clay with an admixture of montmorillonite // News KSUAE, 2024, № 1(67), p. 41-50, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.5, EDN: HGLFIE

1. Введение

Сырьевая ситуация. Одной из основных проблем для процесса изготовления керамических изделий массового потребления является истощение легкоплавких глин [1, 2]. К подобным изделиям в первую очередь относится керамический кирпич, полученный на основе легкоплавких гидрослюдистых глин с применением отошителей.

Значительная доля гидрослюдистых легкоплавких глинистых компонентов Западной Сибири, как и многих других регионов России, содержит повышенное количество оксида железа ($Fe_2O_3 > 3\%$) и примесей монтмориллонита. Монтмориллонитовые глины восприимчивы к влаге, в результате чего такое сырье увеличивается в 40 раз по объему, а керамический кирпич при сушке растрескивается. Такие глинистые компоненты не могут использоваться без отошителей как самостоятельное сырье для получения керамического кирпича.

Глинистые компоненты, содержащие повышенное количество оксида железа, которые присутствуют в виде примесей, приобретают красноватый цвет. Положительное

действие этих примесей, содержащих оксид железа в количестве более 5%, выявляется в том, что во время термообработки изделия в восстановительной среде они понижают температуру обжига за счет перехода оксида железа в закисные формы [1, 3].

Молекулярная концентрация оксида железа при восстановлении Fe_2O_3 до FeO удваивается, что влечет за собой заметное понижение температуры термообработки керамического материала, но при этом происходит еще и газовыделение от продуктов, участвующих в реакции [4-6]. Эти параметры демонстрируют кардинальные воздействия на результат образования как прочного, так и пористого конгломерата керамики. Повышение реакционной способности жидкой фазы по отношению к тугоплавким кристаллическим составляющим дает возможность интенсифицировать процесс спекания, что позволяет уменьшить расход топлива.

Наращивание активности текучей фазы с единовременной убылью температуры структурирования регулируют с помощью использования определенного количества железа. Оксид железа интенсифицирует растворение кварца в расплаве, способствуя тем самым возрастанию прочности [6].

Экологическая ситуация. Существует множество побочных продуктов, остающихся от выплавки черного и цветного металлов, но основным отходом этих производств является шлак, который представляет собой продукт распада руды. Он может иметь разнородный состав, различные свойства и характеристики. Состав металлургического шлака неоднороден, имеет многокомпонентную структуру. Фактически, шлак представляет собой химический сплав оксидов, занимающих от 90 до 95% объема с выходом на 1 т. цветных металлов до 200 тонн шлаков, а черных от 100 до 700 тонн, с классом опасности – IV, т.е. вредный для окружающей среды [7-9].

Исследования автора в работе [10] свидетельствует о значительных скоплениях в уральском регионе лежалых медных шлаков, количество которых достигло 110 млн. тонн, причем годовое нарастание составляет более 10 млн т. Предприятие, находящееся на Урале, АО «Карабашмедь» (город Карабаш) работает с медными концентратами, месторождения которых находятся в России и в Казахстане, в результате чего появляется громадное количество металлургического железосодержащего шлака. В окрестностях Карабаша шлаки, которые представляют собой техногенный мусор, практически заняли всю северную и центральную территорию окраины города, причем отдельные возвышенности отвала уже достигли 30-40 м [11].

Аккумуляция больших объемов шлаков создает цикл существенных проблем, которые негативно влияют на экологическую среду. Трансформации окружающей среды из-за ее зашлаковывания способствует деградации экологии, ухудшению здоровья граждан, повышению заболеваемости легких, сердечно-сосудистой системы, заболеваний аллергического характера и заметное сокращение продолжительности жизни, рост смертности. В сфере функционирования металлургических предприятий загрязняются как поверхностные источники питьевой воды, так и подземные, что порождает расстройство функции желез внутренней секреции, желудочной системы, увеличение опасных кишечных инфекций.

В производстве цветных металлов появляются многообразные химические ингредиенты, чаще всего токсичные: фторсодержащие, сера, оксиды металлов и многие другие, которые при нахождении в воде и воздухе ухудшают ресурсы, как водного бассейна, так и саму атмосферу, серьезно угрожая территориальной флоре и фауне. В соответствии с исследованиями Росстата второе место по загрязнению экологических систем занимает металлургическая промышленность после топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Но в самой металлургии доминирует всё-таки цветная, после нее находится черная.

К основной отрасли по использованию отходов можно отнести строительные материалы, где целесообразно применять локальное сырье и отходы производств, к которым относятся техногенное сырье ТЭК, цветной и черной металлургии, шламы стекольной промышленности и многие другие [12-15].

В качестве железосодержащих добавок для получения керамического кирпича целесообразно использовать железосодержащий металлургический шлак, образующийся

в результате выплавки меди, и таким образом, в процессе производства кирпича будет осуществляться эффективная утилизация шлака.

Цель работы: создание и реализация композиций для процесса получения керамического стенового кирпича на основе гидрослюдистой легкоплавкой глины с примесью монтмориллонита, которая не дает положительного результата при использовании ее в качестве самостоятельного сырья без применения отощителя и интенсификатора спекания.

Объектом исследования являются: металлургический железосодержащий шлак, некондиционный глинистый материал, керамический кирпич.

Задачами исследования являются:

а) получение керамического стенового кирпича с повышенными физико-механическими показателями и исследования влияния металлургического железосодержащего шлака на технические показатели изделия на основе некондиционной глины.

б) определение оптимального количества шлака для получения керамического кирпича с повышенными техническими показателями.

2. Материалы и методы

В данной статье использовались оригинальные методы тонкого анализа для оценки пригодности сырьевых материалов: для определения поэлементного анализа и микроструктуры - японский микроскоп фирмы Jeol и растровый электронный микроскоп JSM 6390A, для петрографического анализа использовались прозрачные аншлифы и шлифы с применением микроскопа МИН-8 и МИН-7 и иммерсионные жидкости. Технические показатели определялись по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камни керамические».

Для получения керамического кирпича использовались следующие сырьевые компоненты: в качестве связующего глинистого компонента – кыштырлинская глина, а в качестве отощителя и интенсификатора спекания – металлургический шлак (металлургический железосодержащий шлак получается от выплавки меди). Основные свойства и показатели сырьевых компонентов: химические составы, усреднённый оксидный приведен табл. 1, поэлементный в табл. 2, технологические показатели в табл. 3, микроструктура на рис. 1, а минеральный состав на рис. 2.

Таблица 1

Усредненный оксидный химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	П.п.п.
1. Кыштырлинская глина	60,59	16,55	7,22	1,25	1,32	2,6	10,57
2. Металлургический шлак	41,88	7,78	33,12	11,21	4,20	1,81	–
Примечание: п.п.п. – потери при прокаливании; R ₂ O=K ₂ O+Na ₂ O							

Таблица 2

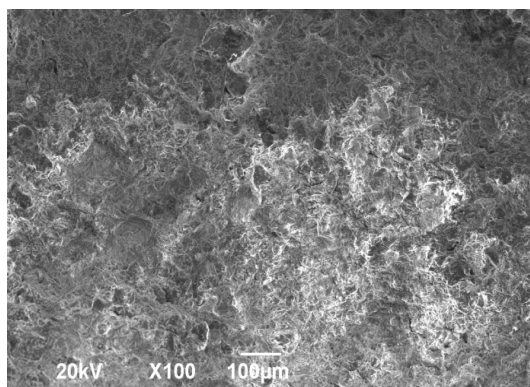
Поэлементный химический состав сырьевых компонентов

Компонент	Содержание элементов, мас. %								
	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1. Кыштырлинская глина	3,73	54,87	0,46	0,43	7,23	28,65	0,75	0,53	3,35
2. Металлургический шлак	-	46,56	0,41	3,83	4,65	20,9	0,83	8,24	14,58

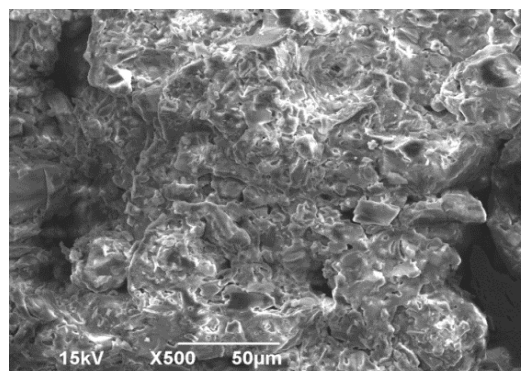
Таблица 3

Технологические показатели сырьевых компонентов

Компонент	Теплотворная способность, ккал/кг	Огнеупорность, °С		
		начало деформации	размягчение	жидкоплавкое состояние
1. Кыштырлинская глина	600	1250	1280	1300
2. Metallургический шлак	—	1100	1150	1180



а



б

Рис. 1. Микроструктура сырьевых компонентов: а) – кыштырлинская глина; б) – металлургический шлак. Увеличение а) x100; б) x500 (иллюстрация авторов)
 Fig. 1. Microstructure of raw materials components: а) – Kyshtyrli clay; б) – metallurgical slag. Magnification а) x100; б) x500 (illustration by the author)



а



б

Рис. 2. Минеральный состав сырьевых компонентов: а) – кыштырлинская глина; б) – металлургический шлак (иллюстрация авторов)
 Fig. 2. Mineral composition of raw materials: а) – Kyshtyrli clay; б) – metallurgical slag (illustration by the author)

В Тюменской области располагается глина *Кыштырлинского месторождения*. Обследуемый глинистый компонент квалифицируется как дисперсный, группа в которой тонкодисперсные фракции (частицы) размером 0,001мм располагаются в количестве от 40 до 60% (табл. 4), по числу пластичности (число пластичности – 24) - среднепластичное глинистое сырье, а по чувствительности к сушке – высокочувствительное, поэтому такое глинистое сырье непригодно без отощителей в производстве керамического кирпича.

Таблица 4

Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
>0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001
0,6	14,1	17,5	21,1	46,6

По итоговому нахождению $Al_2O_3+TiO_2$ в глине компонент принадлежит к полукислым с высоким нахождением красящих оксидов (Fe_2O_3 более 3%, табл. 1), по огнеупорности к классу – легкоплавкое глинистое сырье (1300°C, табл. 3), по спекаемости относится к неспекающимся, т.е. не способен при обжиге давать черепок без признаков пережога с водопоглощением не более 5%, плотность 2,04-2,42 г/см², а цвет глины – от розового до светло-коричневого.

Железосодержащий металлургический шлак получается от выплавки меди и является отходом АО «Карабашмедь», которое является градообразующим предприятием города Карабаш, Челябинской области. Ключевая деятельность предприятия – это извлечение из медного концентрата черновой меди, причем в это входит предварительное обогащение медно-цинковых руд и вторичного медьсодержащего сырья.

В табл. 5 отображён фракционный состав шлака. Состав, как видно из табл. 5, позволит без предварительного дробления и отсева, вводить его в композицию (шихту) для производства кирпича.

Таблица 5

Фракция, мм	<0,315	0,315-0,63	0,63-1,25	1,25-2,5	>2,5
Содержание, (мас. %)	9,8	27,9	29,8	28,7	3,8

Основными фазами в исследуемом шлаке (50%, рис. 2) являются стеклофаза и фаялит ($Fe_2[SiO_4]$), который в изучаемом шлаке «пропитан» вкрапленными частичками магнетита и ферритами.

По всему объему шлака отмечается стеклофаза, которая выполняет роль связующего между фаялитом, муллитом, анортитом, пижонитом, и ферритом (рис. 2, б). Силикатный химический состав стеклофазы подобен составу стекла алюмосиликатного типа: $(Ca, Na, Fe, Al) [(Si, Al)_xO_y]$, $(Ca, Mg, Fe, Al) [(Si, Al)_xO_y]$. Плотность обыкновенного листового стекла обычно колеблется в пределах 2,42-2,60 г/см³, а плотность исследуемой стеклофазы – 3,51 г/см³, что свидетельствует о переходе части оксида железа в стеклофазу.

Получение керамического кирпича. Разрабатывали керамическую композицию (шихту) по рецептуре, представленной в табл. 6, пластическим способом при влажности 22-24 %. Сформованный кирпич размером 120X120X60 мм, высушивали до остаточной влажности 5%, высушенный кирпич-сырец обжигали при температуре 1000°C.

Таблица 6

Компонент, показатель	Содержание компонентов, мас. %				
	1	2	3	4	5
1. Кыштырлинская глина	100	90	15	20	25
2. Металлургический шлак	-	10	85	80	75
Характеристики керамической шихты и высушенного кирпиче-сырца					
Пластичность шихты	24	20	18	16	13
Чувствительность к сушке шихты, класс	высокочувствительная	высокочувствительная	среднечувствительная	среднечувствительная	малочувствительная
Усадка высушенного кирпича, %	6,2	5,9	5,3	4,8	4,2

Окончание таблицы 6

Трещины согласно требованиям ГОСТа 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия					
Трещины шириной раскрытия более 0,5 мм, количество трещин	18	2	-	-	-
Сквозная трещина	3 (не допуск.)	1	-	-	-
Посечка	22	12	5	-	-
Примечание: 1. Сквозная трещина, проходящая через всю толщину изделия, протяжённостью более половины ширины изделия. С таким браком изделие не соответствует требованию ГОСТа. 2. Посечка – трещина шириной раскрытия не более 0,5 мм					

В настоящее время на кирпичных заводах кирпич-сырец сушится в туннельных сушках в течение 24-55 часов в зависимости от глины, ее количества и свойств (в первую очередь от чувствительности к сушке) и от отошителя также в зависимости от количества и свойств.

Сушка кирпича-сырца, полученного по составам №1-5 (табл. 6) реализовывалась в производственных условиях, соблюдая следующие параметры сушки: время – 48 (двое суток), температура – 50-80°C, а отработанного теплоносителя – 25- 40°C, при расходе теплоносителя на одну туннель – 3000-10000 м³/ч. Технические показатели (физико-механические) кирпича после термообработки представлены в табл. 7.

Таблица 7

Технические показатели кирпича

Показатель	Составы				
	1	2	3	4	5
1. Прочность при сжатии, МПа	8,5	10,2	12,8	13,4	12,2
2. Прочность при изгибе, Мпа	1,5	2,3	2,6	2,8	2,7
3. Морозостойкость, циклы	7	19	27	35	30
4. Сквозная трещин	4	1	-	-	-
5. Черная сердцевина	-	-	-	есть	расширенная
Марка кирпича	-	100	125	125	100
Примечание: черная сердцевина: Участок внутри изделия, обусловленный образованием в процессе обжига изделия оксида железа (II).					

3. Результаты и обсуждение

Как видно из табл. 6 образцы из состава №1 после сушки не соответствуют требованию нормативов по количеству разрывов без разрушения, количеству сквозных трещин и многочисленных посечек в результате высокой чувствительности шихты к сушке.

Чувствительность к сушке — это признак (характеристика) противоположный представлению о трещиностойкости сформованного полуфабриката при его сушке. Основанием для происхождения трещин в первую очередь служит разный рост усадки как по поверхности, так и по сечению полуфабриката, в итоге чего в вышеперечисленных местах возникают напряжения, переходящие в трещины [1, 5, 6]. Исследованиями выявлено, что трещинообразование при производстве кирпича наблюдается в следующих пропорциях: в туннельных сушилках -51% (от общего количества трещин) и после обжига (в печах) – 49%, приблизительно в равных частях, как и в работе [16].

Металлургический шлак, введенный в керамическую массу на основе кыштырлинской глины даже в количестве 10%, снижает количество трещин, повышает прочность (при сжатии и изгибе) и морозостойкость. Оптимальным составом для выпуска керамического кирпича является состав №3, содержащий 15% шлака, марка кирпича при

таком содержании соответствует М125 и отсутствуют различные виды брака на изделиях. Дальнейшее увеличение содержания металлургического шлака не снижает марочность кирпича, но при этом появляются различные виды брака, например черная сердцевина (табл. 7).

Возникновение «черной сердцевины» объясняется возникновением градиента температур при термообработке керамического кирпича, причем следует отметить, что внутренние слои имеют меньшую температуру, чем внешние [16, 17]. При температуре обжига в области 950-1000°C на поверхности кирпича протекает эндотермическая реакция: $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$, (1) а во внутренней части происходит реакция обратного характера: $2\text{CO} = \text{CO}_2 + \text{C}$. (2)

Следствием этих реакций послужило появление разности парциальных давлений между СО и СО₂, которая в последствии с поверхности диффундирует во внутрь кирпича. Внутренние слои с накоплением углерода окрашиваются в чёрный цвет.

Заключение

1. Установлено, что образцы из кыштырлинской глины без применения отошителей не соответствуют требованию ГОСТа по количеству разрывов без разрушения, количеству сквозных трещин и многочисленных посечек в результате высокой чувствительности шихты к сушке.

2. Исследованиями выявлено, что трещинообразование при производстве кирпича на основе глины Кыштырлинского месторождения без применения отошителей наблюдается в следующих пропорциях: в туннельных сушилках -51% (от общего количества трещин) и после обжига (в печах) – 49%, приблизительно в равных частях, как и в работе.

3. Металлургический шлак, введенный в керамическую массу на основе кыштырлинской глины даже в количестве 10%, снижает количество трещин, повышает прочность (при сжатии и изгибе) и морозостойкость. Оптимальным составом для выпуска керамического кирпича является состав, содержащий 15% шлака, марка кирпича при таком содержании соответствует М125 и отсутствуют различные виды брака на изделиях. Дальнейшее увеличение содержания металлургического шлака не снижает марочность кирпича, но при этом появляются различные виды брака, например черная сердцевина.

Список литературы / References

1. Тезиков Н.Н. Обзор керамических материалов. // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 6. С. 28-38. [Tezikov N.N. Review of ceramic materials. // International student scientific bulletin. – 2018. – No. 6. P. 28-38.]
2. Толкачев В.Я. Кирпич керамический. СПб: Наука и производство, 2014. 160 с. [Tolkachev V.Ya. Ceramic brick. St. Petersburg: Science and Production, 2014. 160 p.]
3. Nailia Rakhimova, Montmorillonite clays in Portland clinker-reduced, non-clinker cements, and cement composites: A review, Construction and Building Materials, Volume 411, 2024, 134678, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134678.
4. Толкачева А.С., Павлова И.А. Технологии тонкой керамики. Екатеринбург, Уральский университет, 2018. 184 с. [Tolkacheva A.S., Pavlova I.A. Technologies of fine ceramics. Ekaterinburg, Ural University, 2018. 184 p.]
5. Khuziakhmetova, K. Polymer mixtures based on polyvinyl chloride for the production of construction materials / K. Khuziakhmetova, L. Abdrakhmanova, R. Nizamov // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 169. – P. 14-21. – DOI 10.1007/978-3-030-80103-8_2. – EDN TDMAAU.
6. Наномодификация древесной муки золями кремниевой кислоты / Л. А. Абдрахманова, Р. К. Низамов, А. И. Бурнашев, В. Г. Хозин // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2012. – Т. 4, № 3. – С. 56-67. – EDN OYXUCB. [Nanomodification of wood flour with silicic acid salts / L. A. Abdrakhmanova, R. K. Nizamov, A. I. Burnashev, V. G. Khozin // Nanotechnology in construction: scientific online journal. – 2012. – Vol. 4, No. 3. – P. 56-67. – EDN OYXUCB.]

7. Vdovin, E. A. Modification of cement-bound mixtures with sodium formate additives for the construction of pavement bases at low air temperatures / E. A. Vdovin, V. F. Stroganov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Conference Interstroyneh - 2019, ISM 2019, Kazan, September, 12–13, 2019. Vol. 786. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012065. – DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012065. – EDN CZWWRN.
8. Residues from fuel and power industries and glass industry as a basis of building materials / G. Medvedeva, A. Lifanteva, A. Yusupova, R. Kashapov // IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, April, 29, 2020. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012095. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012095. – EDN OIZMFR.
9. Егорова Л.Р. Исследование керамических материалов, полученных из легкоплавких глин с применением кремнистых пород // Научный прогресс. М.: 2017, №8. 19–23. [Egorova L.R. Study of ceramic materials obtained from low-melting clays using siliceous rocks // Scientific progress. M.: 2017, No. 8. P. 19–23.]
10. Дубинецкий В.В., Вдовин К.М., Бутримова Н.В. Синтез модифицированного керамического материала на базе кальцийсодержащего техногенного сырья // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №11. С. 66-71. [Dubinetsky V.V., Vdovin K.M., Butrimova N.V. Synthesis of modified ceramic material based on calcium-containing technogenic raw materials // Industrial and civil construction. 2017. No. 11. P. 66-71.]
11. Ерохин Ю.В., Захаров А.В., Леонов Л.В. Вещественный состав шлаков Карабашского медеплавильного завода // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2019. №3. С. 11-15. [Erokhin Yu.V., Zakharov A.V., Leonov L.V. The material composition of slag from the Karabash copper smelter // Bulletin of the Moscow State Technical University named after G.I. Nosov. 2019. No.3. P. 11-15.]
12. Рахимов Р. З. Экология, металлургия, минеральные вяжущие вещества и промышленность строительных материалов // Строительные материалы. – 2022. – № 9. – С. 26-31. – DOI 10.31659/0585-430X-2022-806-9-26-31. – EDN MOIBYZ. [Rakhimov, R. Z. Ecology, metallurgy, mineral binders and the construction materials industry // Construction materials. – 2022. – No. 9. – P. 26-31. – DOI 10.31659/0585-430X-2022-806-9-26-31. – EDN MOIBYZ]
13. Vasilev, K.O., Makarenko, S.V., Khokhryakov, O.V., Khozin, V.G. Production of ash ceramics using ash and slag mixtures of thermal power plants and local raw materials of the Irkutsk region. / American Institute of Physics Conference Series 2434. doi:10.1063/5.0091786
14. Development of road soil cement compositions modified with complex additive based on polycarboxylic ether / P. E. Bulanov, E. A. Vdovin, L. F. Mavliev, D. A. Kuznetsov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Tomsk, December, 04–06, 2017. Vol. 327. – Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 032014. – DOI 10.1088/1757-899X/327/3/032014. – EDN XXESMX.
15. Тараканов О.В., Шешкина К.А. Применение отходов производства и местных сырьевых ресурсов в производстве строительных материалов // Вестник магистратуры. 2014. Том 1. №12. С. 82-85. [Tarakanov O.V., Steshkina K.A. The use of industrial waste and local raw materials in the production of building materials // Bulletin of the magistracy. 2014. Volume 1. No. 12. P. 82-85.]
16. Гнездов Е.Н., Ракутина Д.В., Бухмиров В.В. Исследование качества керамического кирпича после сушки и обжига по технологии фирмы «FUCHS» // Вестник ИГЭУ. 2005. Вып. 1. С. 1-5. [Gnezdov E.N., Rakutina D.V., Bukhmirov V.V. Investigation of the quality of ceramic bricks after drying and firing according to FUCHS technology // Bulletin of IGEU. 2005. Issue 1. P. 1-5.]
17. Эркенов М. М., Ананьева С. Н. Определение качества обжига керамического кирпича // Строительные материалы. 1993. №3. С. 14-16. [Erkenov M. M., Ananyeva S. N. Determination of the quality of firing ceramic bricks // Building materials. 1993. No.3. P. 14-16.]

18. Абдрахимов В.З. Исследование железосодержащего традиционного природного и техногенного сырья на спекание керамических материалов. Влияние ионов Fe^{2+} и Fe^{3+} на образование низкотемпературного муллита. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительного университета. 2009. 428 с. [Abdrakhimov V.Z. Research of iron-containing traditional natural and man-made raw materials for sintering ceramic materials. The effect of Fe^{2+} and Fe^{3+} ions on the formation of low-temperature mullite. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering. 2009. 428 p.]

Информация об авторах

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

Information about the authors

Vladimir Z. Abdrakhimov, doctor of technical sciences, professor, Samara State University of Economics, Samara, Russian Federation
Email: 3375892@mail.ru