

С.В. СОКОЛОВА¹, М.Н. БАРАНОВА², Д.И. ВАСИЛЬЕВА², Ю.А. ХОЛОПОВ¹¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ОГНЕУПОРНОСТИ ЖАРОСТОЙКИХ БЕТОНОВ

Аннотация. В статье проанализированы вопросы вторичного использования промышленных отходов. Основным направлением развития строительного производства является применение новых материалов, снижение материалоемкости, обеспечение механизации и индустриализации строительства, увеличение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций, внедрение безотходных технологий в производстве строительных материалов за счет использования отходов промышленных производств и уменьшения загрязнения. Важным является изготовление бетонов и растворов с повышенными физико-термическими свойствами для футеровок тепловых агрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях (повышенная температура, агрессивная среда, контакт материала футеровки с газами, расплавами металлов и флюсов). Жаростойкие бетоны применяются в черной и цветной металлургии, химической и нефтеперерабатывающей, нефтехимической, энергетической, машиностроительной и целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве строительных материалов. Внедрение жаростойкого бетона осуществляется путем применения новых конструктивных элементов для тепловых агрегатов, наиболее целесообразных с теплотехнической и с технологической сторон, что неосуществимо при использовании штучных керамических огнеупоров. Компоненты жаростойких бетонов – тонкомолотые добавки и заполнители обычно изготавливают из дорогостоящих материалов (шамота, муллита, хромита, магнезита, циркона и т.д.). Для изготовления добавок требуются энергозатратные операции по помолу и расसेву, усложняющие и удорожающие технологию производства заполнителей. Замена дефицитных и дорогих компонентов местными материалами и разработка технологии получения жаростойких бетонов на химических связующих с использованием недефицитных материалов, особенно отходов промышленности является важной задачей. Рассмотрены перспективы применения глиноземсодержащих отходов в качестве добавок в жаростойкие бетоны, что позволяет повысить долговечность и огнеупорность строительных материалов. Изучен отработанный тонкодисперсный катализатор ИМ-2201, который используется в нефтехимии и является алюмохромистым отходом. Изучены состав и свойства данного отхода и изменение свойств бетона при внесении добавок. Показано, что свойства бетонов меняются после введения в состав алюмохромистого отхода в заданном количестве (5, 10 и 15%). Повышается их средняя плотность, термическая прочность и другие свойства. Улучшение физико-термических характеристик зависит от структуры и новообразований в полученных образцах. Образцы бетона проанализированы при помощи петрографического метода и показано, что добавка алюмохромистого отхода способствует уплотнению структуры за счет заполнения порового пространства стекломассой и кристаллами новообразований в цементирующей массе.

Ключевые слова: жаростойкие бетоны, промышленные отходы, вторичное использование отходов, алюмохромистые отходы.

S.V. SOKOLOVA¹, M.N. BARANOVA², D.I. VASILIEVA², Y.A. KHOLOPOV¹¹Samara State Transport University, Samara, Russia²Samara State Technical University, Samara, Russia

POSSIBILITIES OF USING INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE HEAT RESISTANT CONCRETE DURABILITY AND REFRACTORINESS

© Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А., 2023

Abstract. The article analyzes recycling of industrial waste. The main direction of construction production development is the use of new materials, reduction of material intensity, providing mechanization and industrialization of construction, increasing the operational characteristics of products and structures, the implementation of wasteless technologies in building materials at the expense of industrial waste and pollution reduction. It is important to produce concretes and mortars with enhanced physical and thermal properties for linings of thermal units operating in difficult operating conditions (high temperature, aggressive environment, contact of lining material with gases, metal melts and fluxes). Heat-resistant concretes are used in ferrous and non-ferrous metallurgy, chemical and oil refining, petrochemical, power, machine building, pulp and paper industry, in building materials. The introduction of heat-resistant concrete by using new structural elements for thermal units, the most appropriate from the thermal and technological side, which is not feasible when using piece ceramic refractories. Components of heat-resistant concretes - fine grind additives and aggregates are usually made of expensive materials (chamotte, mullite, chromite, magnesite, zircon, etc.). The production of additives requires energy-intensive milling and sieving operations, which complicate and increase the cost of aggregate production technology. The replacement of scarce and expensive components by local materials and the development of technology for obtaining heat-resistant concrete on chemical binders using non-deficient materials, especially industrial waste is an important task. The prospects of using alumina-containing wastes as additives in heat-resistant concretes, which allows increasing durability and refractoriness of construction materials. The used fine-dispersed catalyst IM-2201, which is used in petrochemistry and is an alumina-chromium waste, was studied. The composition and properties of this waste and the change in the properties of concrete with the introduction of additives have been studied. It was shown that the properties of concrete change after the introduction of alumina-chromium waste in a given amount (5, 10 and 15%). Their average density, thermal strength and other properties are increased. The improvement of physical and thermal characteristics depends on the structure and new formation in the obtained samples. Concrete samples were analyzed using petrographic method and it was shown that the addition of aluminochrome waste contributes to densification of the structure due to filling the pore space with glassy mass and newly formed crystals in the cementitious mass.

Keywords: heat-resistant concrete, industrial waste, waste recycling, aluminous chloride waste.

Введение

В результате роста промышленного производства происходит накопление разнообразных отходов, объемы которых постоянно увеличиваются. Управление промышленными отходами, в том числе их переработка и вторичное использование, стало глобальной задачей в промышленно развитых странах мира, поскольку традиционное размещение их на полигонах и захоронение не является экологически безопасным способом и наносит огромный вред окружающей среде. Широко обсуждаются возможности использования промышленных и строительных отходов для создания геополимеров, вяжущих компонентов бетонов, жаростойкого цемента, кирпичей с высокой пористостью, керамики и др. [1-5]. Утилизация твердых отходов и их повторное применение в качестве строительных материалов признана одной из наилучших экономических и экологических стратегий в мире для достижений устойчивого развития. В том числе это способствует снижению выбросов углекислого газа и уменьшению объемов потребления сырья. Например, для производства одной тонны цемента требуется 1,9 тонны сырья (известняка, глины, железной руды) и приводит к образованию больших объемов CO_2 . (около 7% от общей массы мировых выбросов) [6].

В Государственном докладе о состоянии и об охране окружающей среды РФ, опубликованном в 2021 г., отмечается, что в стране происходит рост образования различных отходов, данная динамика сохраняется с 2012 г. Исключением являлся 2020 г., когда произошло снижение объемов образовавшихся отходов до 6956 млн. т., что было меньше, чем в два предыдущих года и объяснялось влиянием пандемии COVID-19. Например, в 2021 г. произошло увеличение объемов отходов на 21,5% (до 8448,6 млн т отходов производства и потребления) по сравнению с предыдущим годом [7].

По данным доклада Министерства лесного хозяйства, охраны окружающей среды и природопользования Самарской области, содержащего информацию об экологической ситуации за 2021 г., в регионе образовалось 4079,49 тысяч тонн отходов, из них

промышленных отходов – 2783,68 тысяч тонн (68%). В целом в регионе отмечается динамика уменьшения образования промышленных отходов с 3800,10 тыс. тонн в 2017 г. Структура обращения с промышленными отходами в Самарской области за последние три года (с 2019 г.) характеризуется ростом объемов утилизированных отходов более чем в два раза (с 1152 тыс. т в 2019 г. до 2348 тыс. т в 2021 г.), а также уменьшением переданных на захоронение отходов (с 584 тыс. т до 331 тыс. т) [8].

В соответствии с ФЗ №89 «Об отходах производства и потребления» к мероприятиям по обращению с отходами относится деятельность по сбору, накоплению, транспортировке, обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов. Наиболее экологичным является не накопление или захоронение отходов на полигонах, даже после их обработки в целях снижения токсичности, а вторичное использование промышленных отходов. Широкими возможностями для вторичного использования промышленных отходов обладает сфера производства строительных материалов, что связано с крупными объемами строительства, а также его материалоемкостью и номенклатурой изделий.

Следовательно, в условиях постоянного роста образования отходов увеличение вторичного использования промышленных отходов является актуальной задачей. Использование отходов промышленности в качестве добавок, улучшающих свойства строительных материалов, способствует одновременному решению как экологических, так и экономически вопросов. Одновременно сокращаются объемы отходов высокой степени опасности, которые нужно хранить на полигонах или утилизировать, а также уменьшаются расходы на приобретение добавок для улучшения свойств стройматериалов [9-13].

На территории Самарской области, которая относится к промышленно высокоразвитым регионам, проблема сокращения объемов хранения и утилизации промышленных отходов за счет их вторичного использования стоит очень остро [14-16]. Изучение ряда промышленных отходов, образующиеся на промышленных предприятиях Самарской области, показано, что по своему составу и свойствам некоторые из них близки к природному сырью, используемому для производства строительных материалов [17-19]. Поэтому актуальным является создание смешанных жаростойких вяжущих на основе глиноземсодержащих шламов с применением гидравлических цементов и химических связок. Можно предположить, что по основным свойствам (термостойкости, прочности и химической стойкости) эти вяжущие не будут уступать традиционным.

Целью статьи является исследование влияния на долговечность и огнеупорность жаростойких композитов внесение в них шамотносиликатнатриевой добавки, образованной из отработанного катализатора ИМ-2201, который представляет собой алюмохромистый отход.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) рассмотреть состав и свойства промышленного отхода на основе отработанного катализатора ИМ-2201;
- 2) определить физико-термические показатели и проанализировать изменение огнеупорности и долговечности жаростойкого бетона, в который в качестве добавок были внесены промышленные отходы;
- 3) изучить петрографию образовавшегося цементного камня, с целью подтверждения улучшения его физико-механических характеристик.

Модели и методы

При проведении исследования использованы следующие методы: рентгеноструктурный анализ, Фраунгоферовская дифракция, петрографическое изучение.

Катализатор ИМ-2201 является отходом нефтехимии и представляет собой порошок бледно-зеленого цвета с тонкодисперсными частицами. Он имеет в составе оксиды хрома и алюминия (корунд – α Al_2O_3), а также второстепенные оксиды, количество которых ограничено в составе катализатора, например, кремнезем и др.

Основным методом определения частиц, диапазон размерности которых составил 1–192 мкм, являлась Фраунгоферовская дифракция, а также лазерное рассеяние лучей He-Ne по

16-ти каналам, каждый из которых содержит чувствительные детекторы. Измерения производились на анализаторе «PRO – 7000» фирмы «СЭИСИН», Япония [20]. Достижение наивысшей точности результата измерения 320 обусловлено непрерывным повтором позиций в обработке компьютера.

Результаты исследования и их анализ

При помощи циркуляции через измерительную кювету раствора, его перемешивании и ультразвуковой обработке эмульсии, а также добавке поверхностно-активного вещества была достигнута необходимая гомогенность рабочей суспензии.

На основании результатов измерений были получены следующие выходные данные (в виде таблиц и графиков):

- средний размер частиц и их распределение по объёмам;
- поверхностное распределение по площадям;
- числовое распределение частиц;
- удельная поверхность порошка по расчетам.

Исследование частиц тонкодисперсного катализатора ИМ-2201 представлено на рисунке 1.

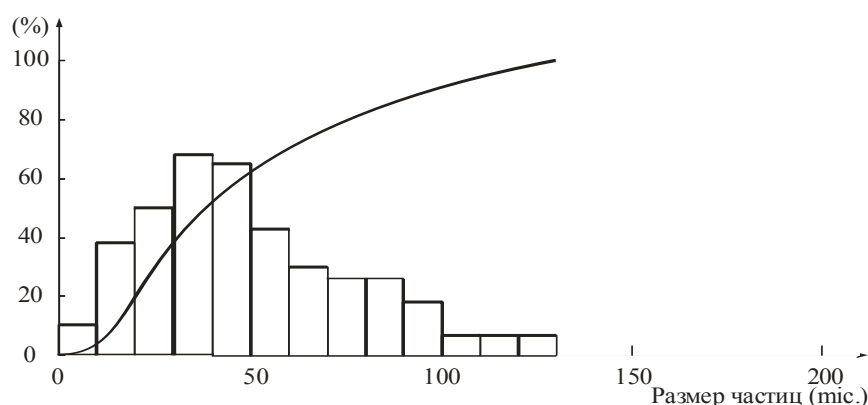


Рисунок 1 – Размеры частиц отработанного катализатора ИМ-2201

Опираясь на рисунок 1 видно, что основная масса исследуемого катализатора содержит частицы менее 50 мкм, что составляет примерно 70%, причём их диаметр по средневзвешенному результату равен 0,048 мм. В свою очередь плотность составляет от 4150 до 4300 кг/м³, при изменении насыпной массы в диапазоне 950 - 1150 кг/м³.

Температура плавления у алюмохромистого отхода составляет от 2050 до 2100 °С, при том, что его основная зависимость от количества R₂O, т.е. от содержания плавней.

Благодаря рентгеноструктурному анализу [20] состава катализатора, было ясно установлено наличие в нём корунда ($\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$) и оксида хрома (Cr_2O_3), что отражено на рисунке 2.

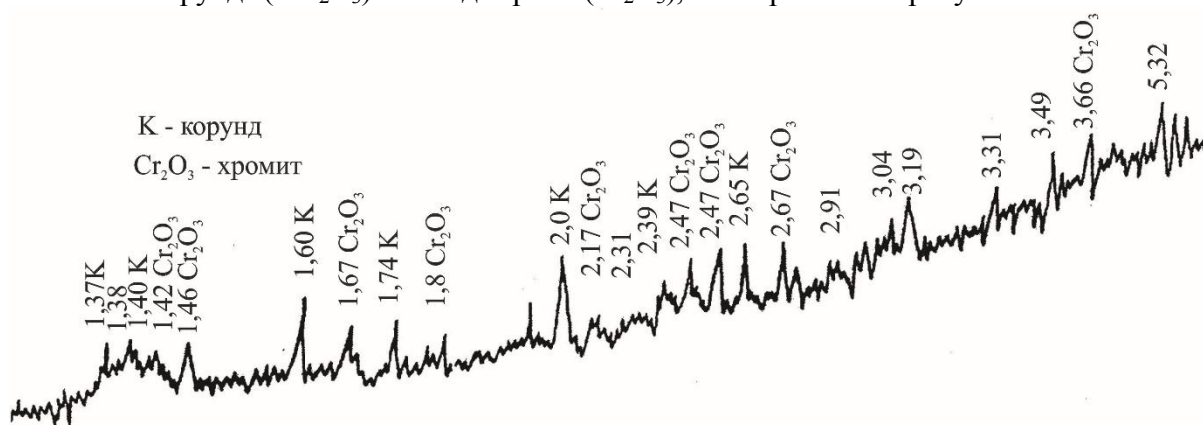


Рисунок 2 – Рентгенограмма алюмохромистого отработанного катализатора ИМ – 2201

Химический состав (таблица 1) обожжённого алюмокальцевого шлама (АКШ), служившего отвердителем жидкостекольного вяжущего наряду с глинозёмистым цементом (ГЦ) в интервале схватывания от 20 до 55 мин [21] и изменение огнеупорности вяжущего вещества в зависимости от типа отверждающей добавки выражено графиком (рисунок 3).

Таблица 1 – Химический состав алюмокальцевого шлама с очистных сооружений Самарского металлургического завода

Содержание, масс. %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	п.п.п.	Σ
8,16	14,6	0,8	26,32	8,24	1,58	1,36	38,88	99,94
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	п.п.п.	Σ

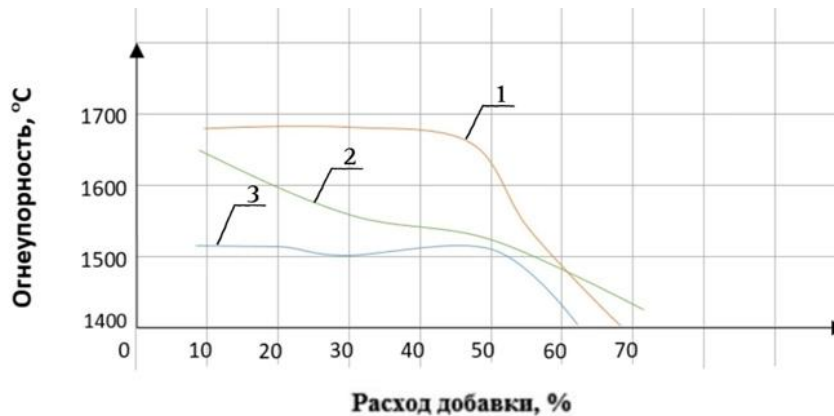


Рисунок 3 – Огнеупорность жидкостекольных вяжущих композиций в зависимости от типа отвердителя и количества тонкомолотой добавки

1 - обожженный алюмокальцевый шлам; 2 - глинозёмистый цемент; 3 - Na₂SiF₆; добавка - отработанный катализатор ИМ-2201

На основе силикатнатриевого вяжущего с добавкой алюмохромистого отхода были проведены исследования жаростойких бетонов, результаты которых можно наблюдать в таблице 2 [22].

Таблица 2 – Физико-термические показатели жаростойких бетонов на основе силикатнатриевого вяжущего с алюмохромистым отходом

Показатель	Показатели свойств бетонов после введения в состав алюмохромистого отхода в заданном количестве, %		
	5	10	15
Температура использования, °C	1400	1450	1500
Средняя плотность, кг/м ³	1950-2000	2000-2050	2050-2100
Предел прочности при сжатии, МПа:			
после сушки, 200 °C	29,1	27,4	24,3
после обжига при 1400°C	36,5	37,1	36,2
после обжига при 1450°C	-	37,8	37,1
после обжига при 1500°C	-	-	36,8
Огневая усадка, %	0,41	0,205	0,14
Температура деформации под нагрузкой 0,2 МПа, °C			
начало деформации	1360	1405	1460
4 %-ная деформация	1410	1465	1510
40%-ная деформация	1460	1510	1565
Термическая стойкость, водные теплосмены (марка по термостойкости)	28 (Т ₁ 20)	31 (Т ₁ 30)	33 (Т ₁ 30)
Класс бетона по предельно допустимой температуре применения	И14	И14	И15

Улучшение физико-термических характеристик, в значительной мере, зависит от структуры и новообразований в полученных образцах [14]. Данные показатели были исследованы петрографическим методом на поляризационном микроскопе в проходящем и отраженном свете. Для сравнения отбирались два вида цементного камня, обожженных при температуре 1200°C: один – на жидкостекольных вяжущих при силикатнатриевом отвердителе с добавкой алюмохромистого отхода; второй – на основе алюмокальцевого вяжущего с добавкой алюмохромистого отхода.

Образцы подготавливались в виде тонких сколов и порошков. В сколах фиксировалась структура, а в порошковых препаратах определялось фазовое состояние и новообразования.

Сущность метода состоит в том, что в плоскости скола образца определяется размер и очертание порового пространства и составляющих зерен. Определяется длина отрезков, соответствующих каждому поровому пространству или зерну. При этом описывается их конфигурация, а также характер взаимного соотношения.

Образцы цементного камня с добавкой алюмохромистого отхода в составе силикатнатриевого отвердителя имеют светлую окраску однородного состава. Структура аморфно-мелко-зернистая неравномерно пористая. Четко различаются мелкие включения белого цвета в аморфной силикатной массе. Включения по контуру оплавлены и состоят из минеральных новообразований. Размер зерен колеблется от 0,01 до 0,5 мм, преобладают – 0,1 мм. Поры неправильной формы, чаще трещинные, изолированные и не равномерно распределены в аморфно-зернистой массе. Размер пор колеблется от 0,1 до 1,0 мм, преобладают – 0,5 мм (рисунок 4).



Рисунок 4 – Микроструктура цементного камня на основе силикатнатриевого вяжущего с добавкой 10% алюмохромистого отхода (микрофото М.Н. Барановой)

Образцы цементного камня на основе алюмокальцевого вяжущего с добавкой 10% алюмохромистого отхода имеют агрегатное строение со светло серыми включениями неправильной формы, размером от 0,05 до 1,5 мм с показателем преломления 1,68, слабым плеохроизмом, что соответствует кристаллической форме новообразований. Размер данных кристаллов составляет 0,002 – 0,005 мм. Структура образца тонкопористая с редкими поровыми образованиями в виде щелевидных прямых или изогнутых трещинок (рисунок 5). Размер трещинок по ширине от 0,05 до 0,15 мм, а по длине от 0,01 до 0,5 мм, приобретая уплотнение за счет заполнения порового пространства стекломассой с кристаллами новообразований, выполняющих роль армирования.

Уплотнение структуры и армирование аморфной составляющей новообразующими кристаллами повышает прочность, устойчивость к истиранию, огнеупорность, химическую стойкость, способность усиливать контактную зону с вмещающими наполнителями, кроме этого, снижают водопоглощение.



Рисунок 5 – Микроструктура цементного камня на основе алюмокальцевого вяжущего с добавкой 10% алюмохромистого отхода (микрофото М.Н. Барановой)

Таким образом, петрографический метод показал, что добавка алюмохромистого отхода способствует уплотнению структуры за счет заполнения порового пространства стекломассой и кристаллами новообразований в цементирующей массе.

Для исследования на поляризационном микроскопе был создан плоский скол и порошок, предназначенный для изучений в иммерсионной жидкости. Свет во время проведения опыта с увеличением от 36 крат до 120, был отраженный и проходящий.

Изображение порового пространства уплотнённой структуры за счёт добавления алюмохлористого отхода, выявляется по контуру зёрен трещинами в интервале от 0,01 - 0,03 мм до 0,05-0,08 и представлено на рисунке 4.

Неизменённые обломки кварца ($\approx 5-7\%$) при исследовании встречаются на поверхностной части зёрен голубого оттенка при включении муллита, чему предшествует выделение бесцветного стекла в основной массе с преломлением света в пределах от 1,62 до 1,65.

Однородная светлая масса при добавке 10% алюмокальцевого вяжущего является микроструктурой цементного камня. На рисунке 5 можно рассмотреть небольшие прямые либо же изогнутые трещиноватости шириной 0,05–0,15 мм и длиной 0,1–1,5 мм. Крупные зерна сцементированы стекломассой, по их контуру расположены тонкие поры. Пространство изолированных и тонких пор заполнено мелкими зернами изометрической формы, имеющей стеклянный блеск.

На существование новообразований указывает тонкая оболочка зерен из связующей массы, имеющая слабое двупреломление, сливную уплотненность структуры со стеклянным блеском. Размерность новообразований до 0,05 мм, причем преломление имеет прямое погасание, слабый плеохроизм и составляет 1,64. Единичные включения с черным цветом, имеющие сильный стеклянный блеск и вид расплава до 0,5–0,8 мм соответствуют железосодержащему стеклу и выделяются в основной массе.

Цементирующая масса обожжённого камня на основе алюмокальцевого вяжущего имеет очень мелкие включения стекломассы при том же показателе преломления и слабом плеохроизме и соответствует кристаллической форме новообразований с размерностью 0,002–0,005 мм.

Структура описанного выше камня неравномерно зернистая, мелкопористая, причем при добавлении алюмохромистого отхода обретает уплотненность и меньшую пористость, что влечет за собой уменьшение пор от 0,08 до 0,01-0,02 мм.

Таким образом, заполненность порового пространства стекломассой и новообразованиями с кристаллической формой в цементирующей массе камня приводит к

уплотнению структуры, благодаря добавлению алюмохромистого отхода, что и показал рассматриваемый петрографический метод.

Выводы

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- 1) вторичное использование промышленных отходов в технологии огнеупорных материалов при изготовлении высокотемпературных промышленных агрегатов является путем решения глобальной проблемы, связанной с ростом накопления опасных отходов, не имеющих эффективных способов безопасного захоронения и утилизации;
- 2) состав и свойства промышленного отхода - тонкодисперсного отработанного катализатора ИМ-2201 характеризуются следующими показателями: средний размер зерен основной массы (около 70%) – менее 50 мкм; средневзвешенный диаметр зерен– 0,048 мм; насыпная масса – 950-1150 кг/м³; плотность – 4150 – 4300 кг/м³; температура плавления колеблется в пределах 2050-2100⁰С.
- 3) алюмокальциевый шлам (АКШ) – нанотехногенный отход Самарского металлургического завода имеет наноразмерность 40-80 нм; в его химическом составе содержатся в основном оксиды алюминия, кальция и магния. Химический состав шлама и его высокая дисперсность являются основными факторами, определяющими его применение в составе жаростойкого композита.
- 4) были подобраны составы жаростойких композитов на различных видах отвердителей: жидкого стекла, глинозёмистого цемента и обожжённого алюмокальциевого шлама, в которые вводилась тонкомолотая добавка – отработанным катализатором ИМ-2201. Проведенные испытания показали, что наиболее высокими показателями по огнеупорности обладают образцы, изготовленные на основе обожжённого алюмокальциевого шлама.
- 5) изучение петрографии образовавшегося цементного камня подтвердило улучшение его физико-механических характеристик в виде уплотнения структуры и армирования аморфной составляющей новообразующимися кристаллами, повышающими прочность, устойчивость к истиранию, огнеупорность, химическую стойкость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ali Allahverdi, Mostafa Mahinroosta, Recycling Aluminosilicate Industrial Wastes Into Geopolymer: A Review, Editor(s): Saleem Hashmi, Imtiaz Ahmed Choudhury, *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier. 2020. Pp. 490-507. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11475-4>.
2. Mahfooz Soomro, Vivian W.Y. Tam, Ana Catarina Jorge Evangelista, 3 - Industrial and agro-waste materials for use in recycled concrete, Editor(s): Vivian W.Y. Tam, Mahfooz Soomro, Ana Catarina Jorge Evangelista, *In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering Recycled Concrete*. Woodhead Publishing. 2023. Pp. 47-117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85210-4.00009-6>.
3. Yue Liu, Yan Zhuge, Wei Fan, Weiwei Duan, Lei Wang, Recycling industrial wastes into self-healing concrete: A review, *Environmental Research*, 2022. Vol. 214. Part 4. 113975. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113975>.
4. Changzai Ren, Shuang Wu, Wenlong Wang, Lei Chen, Yonghui Bai, Tingting Zhang, Huan Li, Yuxiao Zhao, Recycling of hazardous and industrial solid waste as raw materials for preparing novel high-temperature-resistant sulfoaluminate-magnesia aluminum spinel cement, *Journal of Building Engineering*, 2023. Vol. 64. 105550. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105550>.
5. Runfeng Li, Yang Zhou, Cuiwei Li, Shibo Li, Zhenying Huang, Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity, *Construction and Building Materials*, 2019. Vol. 213. Pp. 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.040>.
6. Chang Sun, Lulu Chen, Jianzhuang Xiao, Amardeep Singh, Jiahao Zeng, Compound utilization of construction and industrial waste as cementitious recycled powder in mortar, *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. Vol. 170. 105561. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105561>.
7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2022. 684 с.
8. Доклад об экологической ситуации в Самарской области за 2021 год. Выпуск 32. Самара, 2022. 162 с.

9. Гальцева Н.А., Попов П.В., Котов Д.А., Голотенко Д.С. Вторичное использование отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5(89). С. 572-581.
10. Безденежных М.А., Муниева Э.Ю., Жуков А.Д. Строительные материалы и экология // Перспективы науки. Тамбов. 2017. № 11 (98). С. 39-42.
11. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530.
12. Киянец А.В. Эффективность применения продуктов вторичной переработки полиэтилентерефталата в бетонах // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487.
13. Перфилов В.А., Вольская О.Н. Утилизация промышленных отходов для повышения экологической безопасности окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. № 2. С. 205-212.
14. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Баранова М.Н. [и др.] Перспективы использования глиноземсодержащих отходов промышленности в производстве жаростойких бетонов // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 7. С. 13-19. doi:10.18412/1816-0395-2021-7-13-19.
15. Васильева Д.И., Воронин В.В., Власов А.Г. Экологическое состояние окружающей среды как важнейший фактор развития территории // Здоровая окружающая среда - основа безопасности регионов: Материалы первого международного экологического форума в Рязани. Том II. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2017. С. 33-36.
16. Васильева Д.И., Власов А.Г. Динамика земельного фонда Самарской области / Д. И. Васильева, // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы : Материалы 5-й международной научно-практической конференции. / Отв. ред. С.И. Павлов. Самара: СГСПУ, 2016. С. 166-169.
17. Баженов Ю.М. Технология бетона. М., 2002. 500 с.
18. Арбузова Т.Б. Утилизация глиноземсодержащих осадков промстоков. Самара, 1991. 136 с.
19. Хлыстов А.И., Божко А.В., Соколова С.В., Рязов Р.Т. Получение прогрессивных и эффективных огнеупорных футеровочных материалов // First International Scientific-Technical Conference "Ecology and life protection of industrial-transport complexes". Сборник трудов. Тольятти, 2003. С. 186-189.
20. Соколова С.В. Исследование процессов структурной модификации жаростойких композитов растворами фосфатов/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Самара. 2006. 198 с.
21. Соколова С.В. Структурно-химическая модификация жаростойких композитов // Композиционные материалы: разработка и применение: монография / под ред. М.Ю. Звездиной. Новосибирск: Изд.АНС «СибАК». 2017. 180 с.
22. Хлыстов А.И. Жаростойкие бетоны на основе отходов промышленности Самарской области; монография. Самара: АСА СамГТУ, 2017. 171 с.

REFERENCES

1. Ali Allahverdi, Mostafa Mahinroosta, Recycling Aluminosilicate Industrial Wastes Into Geopolymer: A Review, Editor(s): Saleem Hashmi, Imtiaz Ahmed Choudhury, *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, Elsevier, 2020. Pp. 490-507. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11475-4>.
2. Mahfooz Soomro, Vivian W.Y. Tam, Ana Catarina Jorge Evangelista, 3 - Industrial and agro-waste materials for use in recycled concrete, Editor(s): Vivian W.Y. Tam, Mahfooz Soomro, Ana Catarina Jorge Evangelista, In Woodhead Publishing *Series in Civil and Structural Engineering Recycled Concrete*, Woodhead Publishing, 2023. Pp. 47-117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85210-4.00009-6>.
3. Yue Liu, Yan Zhuge, Wei Fan, Weiwei Duan, Lei Wang, Recycling industrial wastes into self-healing concrete: A review, *Environmental Research*, 2022. Vol. 214. Part 4. 113975. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113975>.
4. Changzai Ren, Shuang Wu, Wenlong Wang, Lei Chen, Yonghui Bai, Tingting Zhang, Huan Li, Yuxiao Zhao, Recycling of hazardous and industrial solid waste as raw materials for preparing novel high-temperature-resistant sulfoaluminate-magnesia aluminum spinel cement, *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 64. 105550. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2022.105550>.
5. Runfeng Li, Yang Zhou, Cuiwei Li, Shibo Li, Zhenying Huang, Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity, *Construction and Building Materials*, 2019. Vol. 213. Pp. 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.040>.
6. Chang Sun, Lulu Chen, Jianzhuang Xiao, Amardeep Singh, Jiahao Zeng, Compound utilization of construction and industrial waste as cementitious recycled powder in mortar, *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. Vol. 170. 105561. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105561>.
7. On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2021. State Report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2022. 684 p. (rus)
8. Report on the ecological situation in the Samara region for the year 2021. Issue 32. Samara, 2022. 162 p. (rus)

9. Galtseva N.A., Popov P.V., Kotov D.A., Golotenko D.S. Secondary use of industrial waste. *Engineering Herald of the Don*. 2022. No. 5(89). Pp. 572-581. (rus)
10. Bezdenezhnykh M.A., Munieva E.Y., Zhukov A.D. Construction materials and ecology. *Perspectives of Science*. Tambov. 2017. No. 11 (98). Pp. 39-42. (rus)
11. Ivanova T.A., Kolesnikova L.G. Evaluation of the effectiveness of concrete scrap as a coarse aggregate for concrete. *Engineering Herald of the Don*, 2022. No. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530. (rus)
12. Kiyanets A.V. Effectiveness of polyethylene terephthalate recycled products application in concrete. *Engineering Herald of Don*, 2022. No. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487. (rus)
13. Perfilov V.A., Volskaya O.N. Utilization of industrial waste to improve environmental safety. *South of Russia: Ecology, Development*. 2016. T. 11. No. 2. Pp. 205-212. (rus)
14. Khlystov A.I., Sokolova S.V., Baranova M.N. [et al.] Prospects of using alumina-containing industrial wastes in production of heat-resistant concretes. *Ecology and Industry of Russia*. 2021. T. 25. No. 7. Pp. 13-19. doi:10.18412/1816-0395-2021-7-13-19. (rus)
15. Vasilyeva D.I., Voronin V.V., Vlasov A.G. Ecological condition of environment as the major factor of territory development // Healthy environment - the basis of regional security: Materials of the First International Ecological Forum in Ryazan. Volume II. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev, 2017. Pp. 33-36. (rus)
16. Vasilyeva D.I., Vlasov A.G. Dynamics of the land fund of Samara region. Bio-ecological regionalism: world, Russian and regional problems : Materials of the 5th international scientific and practical conference. Ed. by S.I. Pavlov. Samara: SGSPU, 2016. Pp. 166-169. (rus)
17. Bazhenov Y.M. Concrete Technology. M. 2002. 500 p. (rus)
18. Arbuzova T.B. Utilization of alumina-containing industrial waste sludge. Samara, 1991. 136 p. (rus)
19. Khlystov A.I., Bozhko A.V., Sokolova S.V., Riyazov R.T. Preparation of progressive and effective refractory lining materials/ First International Scientific-Technical Conference "Ecology and life protection of industrial-transport complexes". Coll. of Papers, Pp. 186-189. Togliatti, 2003. (rus)
20. Sokolova S.V. Research of processes of structural modification of heat-resistant composites by the phosphate solutions (in Russian). Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Samara. 2006. 198 p. (rus)
21. Sokolova S.V. Structural and chemical modification of heat-resistant composites // Composite materials: development and application: monograph. Edited by M.Yu. Novosibirsk: Publishing house ANS "SibAK". 2017. 180 p. (rus)
22. Khlystov A.I. Heat-resistant concretes based on industrial wastes of Samara region; monograph. Samara: ASA SamGTU, 2017. 171 p. (rus)

Информация об авторах:

Сokolova Светлана Владимировна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры Железнодорожный путь и строительство.
E-mail: sokolova9967@mail.ru

Баранова Маргарита Николаевна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов.
E-mail: mnbaranova@yandex.ru

Васильева Дарья Игоревна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов.
E-mail: vasilievadi@mail.ru

Холопов Юрий Александрович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экология».
E-mail: kholopov@bk.ru

Information about authors:

Sokolova Svetlana Vl.

Samara State Transport University, Samara, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of Railway track and construction Department.
E-mail: sokolova9967@mail.ru

Baranova Margarita N.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of structural mechanics, engineering geology, bases and foundations department.
E-mail: mnbaranova@yandex.ru

Vasilieva Daria Ig.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate of biological sciences, associate professor of structural mechanics, engineering geology, bases and foundations department.
E-mail: vasilievadi@mail.ru

Kholopov Yuriy Al.

Samara State Transport University, Samara, Russia,
candidate of agricultural sciences, associate professor, Head of the Department "Life Safety and Ecology".
E-mail: kholopov@bk.ru