

УДК 691.32

*к.т.н. Сороканич С. В.,  
Парамонова А. В.*

*(ИСА и ЖКХ ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР,  
stas.sorokanich.82@mail.ru, anastasia2405@inbox.ru)*

### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ (АЛЮМОШЛАКА И ОТРАБОТАННОГО ГОРЕЛОГО ПЕСКА) ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

*В данной статье исследованы характеристики техногенных отходов алюмошлака (АШ) и отработанного горелого песка (ОГП), а именно: химический состав, гранулометрический состав, радиоактивность.*

**Ключевые слова:** *техногенные отходы, алюмошлак, отработанные формовочные смеси, отработанные горелые пески.*

Донбасс — это крупнейший промышленный регион, который насчитывает сотни промышленных предприятий топливно-энергетического комплекса, горнодобывающей, металлургической, химической промышленности, строительной отрасли. В результате деятельности промышленности на данный момент на территории Луганской Народной Республики накопилось около 1,5 млрд т отходов [1].

Современная промышленность стремится к развитию безотходных технологических процессов, а также широкому применению в производстве всевозможных отходов и вторичных продуктов. Наиболее перспективным направлением по освоению и применению техногенных отходов в производстве является строительная индустрия.

Существуют экологические проблемы, связанные с размещением техногенных отходов, в частности с алюмосодержащими отходами производства, в виде шламов, шлаков, минеральной части углей [2].

Одним из видов отходов, не утилизируемых сегодня, являются отходы алюминия. К ним относятся алюминиевая стружка, шлаки, образующиеся в процессе плавки вторичного алюминиевого сырья, и другие. При хранении этих отходов на открытых полигонах происходит выщелачивание ионов алюминия, повышенное со-

держание которого отрицательно сказывается на окружающей среде и наносит вред здоровью населения [3]. Однако они являются ценным сырьем для производства строительных материалов. Содержание большого количества оксида алюминия и других металлов в алюмошлаках позволяет использовать их в строительной индустрии, а именно при производстве цементных бетонов [4].

Основу алюмосодержащих шлаков составляет оксид алюминия  $Al_2O_3$  — свыше 50 %. По своим физико-химическим и минералогическим свойствам шлаки близки к обогащенной бокситовой руде и могут служить сырьем при изготовлении цементов и бетонов [5]. На предприятиях металлургической и других отраслей промышленности образуются десятки тонн алюмосодержащих отходов, которые, в большинстве своем, направляются в отвалы, значительно ухудшая экологическую обстановку.

Отходы литейного производства — отработанный горелый песок, шлак и пыль из фильтрующих устройств (классифицируется как «опасные отходы») — занимают большую часть поступающих на свалки промышленных отходов.

Одной из проблем литейного производства является сложность утилизации твердых отходов техногенного характера. Ре-

шением этой проблемы является использование промышленных отходов или частичная замена привычных сырьевых материалов в строительной индустрии. Отработанные формовочные смеси, а именно пески, представляют собой пористый материал, благодаря чему его возможно использовать при производстве композиционных материалов на основе портландцемента как агент внутреннего ухода. Внутренний уход за бетоном осуществляется благодаря введению в состав бетона пористых компонентов, которые выполняют функцию «водных резервуаров» в структуре твердеющей цементной системы. Введение водонасыщенного компонента снижает давление в обезвоженных порах, заполняя их жидкостью и предотвращая их появление в пределах гидратирующего цемента [6–7].

Существующие способы переработки этих отходов не позволяют в полной мере решить задачи их использования и устранить экологические проблемы, связанные с их хранением. Поэтому актуальностью темы исследования является возможность применения алюмосодержащих отходов и отработанного горелого песка в строительной индустрии.

**Целью работы** является установление возможности использования техногенных отходов (алюмошлака и отработанного горелого песка) в качестве добавки и мелко-го заполнителя при изготовлении композиционных материалов на основе портландцемента.

Алюмосодержащий отход в исходном виде и в виде отсева представлен на рисунке 1.

В результате сушки и отсева алюмошлака был получен порошок серого цвета, насыпная плотность которого составила  $1150 \text{ кг/м}^3$ . Химический состав отсева алюмошлака представлен в таблице 1.

Зерновой (гранулометрический состав) отсева алюмошлака представлен в таблице 2.

В результате экспериментальных исследований был проведен сравнительный

анализ для установления необходимости предварительного измельчения алюмосодержащей добавки. Для этого было отобрано две просушенные пробы алюмошлака, равные по массе. Первая проба предварительно измельчалась и просеивалась, вторая проба не измельчалась и просеивалась. В качестве контрольного был принят состав без добавления алюмошлака. Составы цементного камня были испытаны на прочность при сжатии по истечении двухсуточного возраста. Результаты испытаний приведены в таблице 3.



а



б

Рисунок 1 Алюмосодержащий отход — алюмошлак: а — в исходном состоянии; б — отсев алюмошлака

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Таблица 1  
Химический состав отсева алюмошлака

Оксиды	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	7,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,52
TiO <sub>2</sub>	0,384
CaO	4,7
MgO	2,56
Na <sub>2</sub> O	2,92
K <sub>2</sub> O	0,39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,009
SO <sub>3</sub>	0,08
Потеря массы при прокаливании	17,97

Таблица 2  
Гранулометрический (зерновой) состав отсева алюмошлака

Алюмошлак	Содержание фракций, %
0,10 мм	0,70
0,08 мм	1,40
0,071 мм	44,15
0,063 мм	3,60
0,050 мм	43,35
0,040 мм	0,80
Менее 0,040 мм	6,00

Так как результаты между измельченной и неизмельченной добавкой алюмошлака разнятся незначительно, а на помол алюмошлака необходимы дополнительные ресурсы, для дальнейших экспериментальных исследований было принято ис-

пользовать неизмельченную просеянную добавку алюмошлака.

Отработанный горелый песок представлен на рисунке 2.

Крупнотоннажные отходы литейного производства, представленные в виде отработанного горелого песка, включают в себя: SiO<sub>2</sub> (80–85 масс. %), CaO (5–7 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4–6 %) [7]. Благодаря тщательному химическому и гранулометрическому контролю отработанные горелые пески характеризуются стабильностью состава.

Химический состав отработанного горелого песка представлен в таблице 4.

Гранулометрический (зерновой) состав отработанного горелого песка представлен в таблице 5.

Физико-механические показатели отработанного горелого песка представлены в таблице 6.

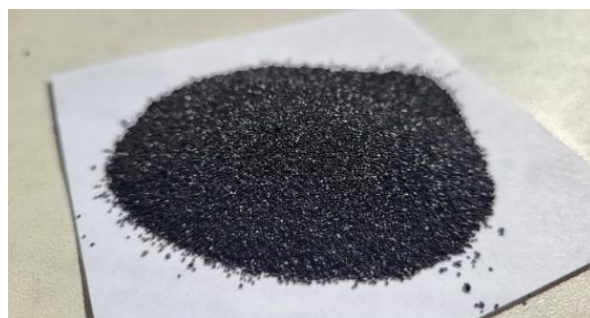


Рисунок 2 Отработанный горелый песок (отход формовочной смеси)

Таблица 3  
Прочность цементного камня с неизмельченной добавкой алюмошлака и с предварительно измельченной добавкой алюмошлака

Компоненты цементной пасты, гр. (%)	Состав №		
	К	1	1'
Портландцемент (ПЦ)	400	400	400
Суперплатификатор(СП-1)	2,4 (0,6)	2,4 (0,6)	2,4 (0,6)
Алюмошлак (АШ)	–	8 (2)	8 (2)
Вода (В, мл)	100	102	102
Водотвердое отношение (В/Т)	0,25	0,25	0,25
Прочность (R <sub>сж</sub> , МПа)	44	55	53

Таблица 4

Химический состав отработанного горелого песка

Формовочный горелый песок	Норма	Фактически
Определение массовой доли сульфидной серы, %	Не более 0,05	0,046
Определение массовой доли диоксида кремния, %	Не менее 99,0	99,44
Определение массовой доли оксида железа, %	Не более 0,20 (очень низкое)	0,04
Потери массы при прокаливании, %	Не более 0,2 (низкие)	0,14
Определение массовой доли влаги, %	Не более 0,5 (сухое)	0,01
pH	Свыше 7 (щелочные)	7,35

Таблица 5

Гранулометрический (зерновой) состав отработанного горелого песка

Размер отверстий сит, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %
2,5	0,0	0,0
1,25	0,04	0,04
0,63	0,28	0,32
0,315	71,51	71,89
0,16	26,77	98,66
<0,16	1,34	100

Таблица 6

Физико-механические показатели отработанного горелого песка

№ п/п	Наименование показателей	Ед. изм.	Результаты
1	Насыпная плотность	кг/м <sup>3</sup>	1294,1
2	Влажность	%	0,1
3	Содержание пылевидно-глинистых частиц	%	5,7
4	Содержание глины в комках	%	0
5	Модуль крупности	%	1,71

Класс использования продукции отработанного горелого песка определялся с использованием метода гамма-спектрометрии, с помощью спектрометрической установки МКС-01А «МУЛЬТИРАД» (зав. № 1630), представленной на рисунке 3 [8].

Результаты измерений представленной пробы ОГП приведены в таблице 7.

Погрешность определения  $\delta = \pm 10\%$ , удельная эффективная активность составила  $A_{эф.м.} = 8,98 \pm 4,04$ .

Исследованный материал — отработанный горелый песок (участок недр «Водоток», Краснодарский район, ЛНР) — относится к I классу использования по радиационному фактору согласно ГН 6.6.1.-6.5.001-98 «Нормы радиационной безопасности Украины» и ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов».



Рисунок 3 Спектрометрическая установка МКС-01А «МУЛЬТИРАД» (зав. № 1630)

Таблица 7

Результаты испытаний по определению удельной эффективной активности естественных радионуклидов в строительных материалах

№ навески	Удельная активность БК/кг		
	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>40</sup> K
25/2	4,25±2,33	1,44±2,59	24,8±21,0
26/2	4,82±2,33	0,75±1,83	8,90±20,4
27/2	8,30±2,83	1,28±1,98	10,8±23,1
28/2	7,42±2,43	1,69±1,75	24,8±22,3
29/2	4,82±2,38	1,48±1,97	9,30±22,6

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. В результате исследований определены исходные характеристики техногенных отходов алюмошлака и отработанного горелого песка, а именно: химический состав, гранулометрический состав.

2. Исследуемый материал — отработанный горелый песок — относится к I классу использования по радиационному фактору и может использоваться для всех видов строительства без ограничений.

3. Использование техногенных отходов алюмошлака и отработанного горелого

песка при производстве строительных материалов позволит улучшить экологическую обстановку региона и снизить нагрузку на окружающую среду.

Результаты полученных исследований подтверждают возможность использования техногенных отходов при производстве композиционных материалов на основе портландцемента. Использование комплексной добавки алюмошлака и отработанного горелого песка позволит получить эффективные быстротвердеющие тяжелые цементные бетоны для ремонтно-восстановительных работ.

### Библиографический список

1. Дрозд, Г. Я. *Экологическая безопасность Донбасса [Текст] : учебное пособие / Г. Я. Дрозд. — Луганск : Ноулидж, 2021. — 438 с.*

2. Карпова, Н. Ю. *Оценка использования алюмосодержащих отходов в производстве строительных материалов [Текст] / Н. Ю. Карпова, А. В. Шаманова, Г. М. Батракова // Вестник ПНИПУ. — 2016. — № 3. — С. 49–61.*

3. Тужилин, А. С. *Физико-химические и технологические исследования комплексной переработки алюминийсодержащих отходов: стружки, шлака, гидроксидного осадка [Текст] : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.16.02 / Тужилин Алексей Сергеевич ; Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН. — М. : Интерконтакт Наука, 2012. — 21 с.*

4. Степанов, С. В. *Комплексный ускоритель твердения цементных бетонов на основе гальванического алюмошлама [Текст] : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.23.05 / Степанов Сергей Викторович ; Казанский государственный архитектурно-строительный университет. — Казань : ПМО КГАСУ, 2012. — 20 с.*

5. Волочко, А. *Использование отходов переработки алюминиевых сплавов (стружка, шлаки) в производстве [Электронный ресурс] / А. Волочков, И. Белов // Архитектурно-строительный портал. — Режим доступа: <https://ais.by/story/743>.*

6. Шалевская, И. А. *Исследование возможности утилизации отходов формовочных смесей [Текст] / И. А. Шалевская, Ю. И. Гутько // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии : сборник научных трудов. — Краматорск : Изд-во ДГМА, 2011. — С. 169–173.*

7. Лахтарина, С. В. *Легкие высокопрочные бетоны с повышенным коэффициентом конструктивного качества [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Лахтарина Сергей Викторович ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. — Макеевка, 2016. — 163 с.*

8. *ТЦ Поиск [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://tcpoisk.ru/catalog/radiation-control/catalog/1539-spektrometricheskij-kompleks-mul-tirad-s-po-progress>.*

© Сороканич С. В.

© Парамонова А. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ПС ДонГТИ Псюком В. В.,  
к.т.н., доц. каф. ПСО ЛГАУ Скотаренко В. В.**

Статья поступила в редакцию 29.09.2022.

**PhD in Engineering Sorokanich S. V., Paramonova A. V.** (*IBA and HCS of LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, stas.sorokanich.82@mail.ru, anastasia2405@inbox.ru*)

**CHARACTERISTICS OF TECHNOGENIC WASTE (ALUMINUM SLAG AND SPENT BURNT SAND) FOR THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON PORTLAND CEMENT**

*In this article, the characteristics of technogenic waste of aluminum slag (AS) and spent burnt sand (SPS) are studied, namely: chemical composition, granulometric composition, radioactivity.*

**Key words:** *technogenic waste, aluminum slag, spent molding mixtures, spent burnt sands.*