

УДК 504.75.06

DOI: 10.17277/voprosy.2022.03.pp.023-031

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ ИХ УТИЛИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Д. В. Бесполитов, Н. Д. Шаванов, П. П. Панков,
Н. А. Коновалова, Е. А. Корякина**

*ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск, Россия;
Забайкальский институт железнодорожного транспорта –
филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Чита, Россия*

Ключевые слова: зола уноса; золошлаковая смесь; золошлаковые отходы, строительные материалы; утилизация отходов.

Аннотация: Приведены результаты исследования состава, свойств и особенностей строения золошлаковых отходов (г. Чита, Забайкальский край) для установления возможности их утилизации в строительной индустрии. Образцы золы уноса и золошлаковой смеси изучены методами дифференциальной сканирующей калориметрии, термогравиметрии, атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, рентгенофазового анализа. Установлено, что золошлаковые отходы относятся к категории непучинистых, показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) составил менее 370 Бк/кг, поэтому их можно использовать в строительной индустрии без ограничений. Выявлено, что зола уноса по гидравлическим свойствам отно-

Бесполитов Дмитрий Викторович – аспирант кафедры «Техносферная безопасность», e-mail: dimazabizht2018@mail.ru, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск; младший научный сотрудник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг»; Шаванов Николай Дмитриевич – аспирант кафедры «Техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Иркутск; Панков Павел Павлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг»; Коновалова Наталия Анатольевна – кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, начальник НИ ПТБ «ЗабИЖТ-Инжиниринг»; Корякина Елена Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность», Забайкальский институт железнодорожного транспорта – филиал ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения», Чита, Россия.

сится к скрыто активным, а золошлаковая смесь – к инертным материалам, следовательно, использовать их в качестве самостоятельного вяжущего не представляется возможным. При вовлечении золошлаковых отходов в составы строительных материалов требуется их модификация стабилизирующими добавками различной природы.

Введение

Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. предусматривает рост производства электроэнергии, что неизбежно приведет к увеличению добычи горючих полезных ископаемых и мощному антропогенному воздействию на экологические системы. Угольные технологии, используемые в производстве электроэнергии, характеризуются выбросами в атмосферу значительного спектра химических веществ и частиц микроразмерного ряда, а также невысоким техническим уровнем хранения золошлаковых отходов [1]. Большая часть микроэлементов, находящихся в угле, практически не улавливается электрофильтрами и попадает в атмосферу в виде газообразной фазы или аэрозолей [2].

За рубежом большая часть золошлаковых отходов подлежит утилизации. Степень их утилизации в Японии составляет 82 %, Европейских странах – 31 %, США – 52 % [3]. На территории Российской Федерации порядка 90 % золошлаковых отходов накапливается в золоотвалах [4].

Высокодисперсные частицы золы являются источником загрязнения окружающей среды радионуклидами. В золошлаковых отходах отмечено превышение концентраций урана и тория в 3-4 раза [5]: бурый уголь (Кемеровская обл.) содержит 139 г/т урана; золошлаковые отходы – 902,6 г/т [6].

Процесс пыления золоотвалов выступает значительной техногенной нагрузкой, так как нахождение в воздухе в течение длительного времени высокодисперсной золы приводит к ухудшению санитарного состояния территорий, способствует деградации почв и изменению геохимии ландшафтов [7, 8]. Молибден и селен, находящиеся в составе золошлаковых отходов, накапливаются в растительных тканях и представляют опасность для животных. Водная миграция химических элементов в результате выщелачивания приводит к изменению природных характеристик водных ресурсов и может вызывать загрязнение питьевых вод. В этой связи утилизация золошлаковых отходов в технологических цепочках различных отраслей народного хозяйства представляется актуальной задачей.

Золошлаковые отходы, обладая богатым химическим составом и особыми эксплуатационными характеристиками, могут являться ценным вторичным минеральным сырьем для многих отраслей промышленности. Данные отходы могут быть востребованы в строительной индустрии для производства керамики и кирпича [9], активной добавки к вяжущим [10], теплоизоляционных материалов [11], композиционных материалов [12, 13], бетона [14, 15] и др.

Возможность утилизации золошлаковых отходов в строительной индустрии определяется наличием в их составе компонентов, ухудшающих эксплуатационные характеристики и затрудняющих технологические процессы.

Цель работы – изучить состав, свойства и особенности строения золошлаковых отходов Забайкальского края для установления возможности их утилизации в составах строительных материалов.

Материалы и методы

Исходными сырьевыми материалами выбраны зола уноса (**ЗУ**) ТЭЦ-2 (г. Чита, Забайкальский край) и золошлаковые смеси (**ЗШС**), отобранные в Вагоноремонтном депо Чита (Забайкальская дирекция инфраструктуры, ОАО «РЖД»).

Химический состав определяли с привлечением метода атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС) посредством спектрометра эмиссионного Optima 5300DV 167-403 нм (Perkin Elmer, США), схемы ICP84T, ICP95A.

Фазовый состав минерального сырья изучали методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0, $I = 20$ мА, $U = 25$ кВ, Ni – фильтр, $2\theta - 5...55^\circ$, излучение – $\text{CuK}\alpha$, шаг сканирования $0,05^\circ$. Для расшифровки минералогического состава проб использовали программу поиска фаз EVA (Diffraplus PDF-2, 2007 г.).

Термический анализ образцов осуществлен с помощью методов дифференциальной сканирующей калориметрии (**ДСК**) и дифференциальной термогравиметрии (**ДТГ**) на синхронном термоанализаторе STA 449F1 (NETZSCH, Германия). Образцы (30 мг) нагревали в платиновых тиглях в интервале температур $30...800^\circ\text{C}$ в динамической атмосфере аргона, скорость – $10^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Влажность и зерновой состав золошлаковых отходов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 8735–88. Среднюю и насыпную плотности образцов изучали по ГОСТ 9758–2012. Битумоемкость золы уноса установлена по ГОСТ 32766–2014, стойкость шлакового щебня против силикатного и железистого распада – ГОСТ 9758–2012. Морозоопасность золошлаковых отходов оценивали с помощью прибора УПГ-МГ4 «Грунт» в соответствии с требованиями ГОСТ 28622–2012.

Результаты и обсуждение

Золошлаковые отходы образованы при сжигании Уртуйских углей. Зерновой состав ЗУ и ЗШС приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1

Зерновой состав золы уноса

Остаток на ситах, масс.%	Диаметр отверстий контрольных сит, мм						
	1,25	0,63	0,315	0,14	0,08	0,071	< 0,071
Частный	0,32	2,42	41,65	19,17	6,22	3,52	26,72
Полный	0,32	2,74	44,39	63,55	69,77	73,28	100,00

Таблица 2

Зерновой состав золошлаковой смеси

Остаток на ситах, масс.%	Диаметр отверстий контрольных сит, мм									
	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,08	0,071	< 0,071
Частный	3	10	12	10	13	24	15	9	3	1
Полный	3	13	25	35	48	72	87	96	99	100

В составе золошлаковых отходов нормативными документами регламентируется содержание оксидов CaO, SO₃, MgO, K₂O, Na₂O. При вовлечении золошлаковых отходов в составы бетонов важным является обеспечение равномерности изменения объема при твердении, поэтому в составе отходов должно быть MgO; CaO_{св}; CaO не более 5; 5; 10 масс.% соответственно. По требованиям сульфатостойкости верхний предел сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃, а также суммарное содержание щелочных оксидов K₂O и Na₂O должны составлять не более 3 масс.%. Химический состав золошлаковых отходов представлен в табл. 3.

Данные об основных физических свойствах изучаемых золошлаковых отходов показывают, что удельная поверхность частиц золы составляет 276 м²/кг, золошлаковой смеси – 251 м²/кг (при норме не менее 150 м²/кг) (табл. 4).

В зависимости от показателя гидравлической активности золошлаковые отходы могут использоваться как самостоятельное вяжущее или как малоактивная гидравлическая добавка в сочетании с цементом. Это определяется присутствием в составе золошлаковых отходов кальция в свободном или связанном виде; модулем основности (гидросиликатный модуль); силикатным (кремнеземистым) модулем; коэффициентом качества (показывает отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность к снижающим ее оксидам) (см. табл. 4). Выявлено, что ЗУ по гидравлическим свойствам относится к скрыто активным, а ЗШС – к инертным материалам.

Золы уноса, различные по составу, могут быть подвержены размягчению и плавлению в интервалах температур 1050...1470 и 1250...1710 °С соответственно. Исследуемая зола характеризуется недостаточно выраженной термической активностью, вызванной низким содержанием углестого вещества (рис. 1, а, табл. 5).

Таблица 3

Алюмосиликатный состав золошлаковых отходов

Образец	ω, масс.%											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	CaO	CaO _{св}	C	п.п.п.
ЗУ	53,0	20,6	8,5	1,4	0,2	1,4	1,2	0,7	9,2	0,4	1,1	1,8
ЗШС	63,1	13,7	8,4	0,9	0,3	0,8	0,7	0,1	6,1	< 0,1	2,5	2,6

Примечание. п.п.п – потери при прокаливании

Таблица 4

**Показатели гидравлической активности и физические свойства
золошлаковых отходов**

Показатель	ЗУ	ЗШС
Влажность, %	0,59	0,59
Плотность, кг/м ³ :		
насыпная	660	685
истинная	2240	1595
Удельная поверхность, м ² /кг	276	251
Полный остаток зольной фракции, %	25,39	24
Битумоемкость, г	54	–
Стойкость распада, %:		
железистому	–	7,69
силикатному	–	40
Модуль основности M_0	0,17	0,11
Силикатный модуль M_c	1,82	2,86
Коэффициент качества K	0,58	0,32
Содержание, масс. %:		
CaO _{общ}	9,24	6,10
CaO _{своб}	0,40	< 0,1
Группа активности	скрыто-активные	инертные

Экзоэффект при 494 °С вызван окислением 1,1 % углерода, присутствие которого в пробе подтверждается данными химического анализа (см. табл. 3). Потеря массы составила 1,89 %. Ступени, связанные с разложением карбонатов на ТГ-кривой не наблюдается. При температурах 680 и 715 °С на ДТГ-кривой отмечается незначительное увеличение скорости потери массы, а нагревание образца в интервале 25...400 °С вызывает потерю 0,3 % адсорбированной воды.

Изучение образца золошлаковой смеси показало (рис. 1, б, табл. 5) отсутствие адсорбированной воды и органических веществ. Четко проявлен эндотермический эффект фазового перехода α -кварца в β -кварц, энтальпия фазового перехода составила 0,2 Дж/г (в пересчете на чистый кварц – 1,7 %). Остальная часть образца золошлаковой смеси является термически инертным веществом.

Фазовый состав золы уноса по данным рентгенофазового анализа: кварц, кальцит, полевой шпат, гетит и рентгеноаморфная фаза. Золошлаковая смесь имеет фазовый состав: кварц, альбит, анортит, микроклин.

Для образцов ЗУ и ЗШС показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ (²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K) составил 248 и 203 Бк/кг соответственно. Согласно требованиям СанПиН 2.6.1.2523-09 и ГОСТ 30108–94, изученные золошлаковые отходы могут применяться в строительной индустрии без ограничений.

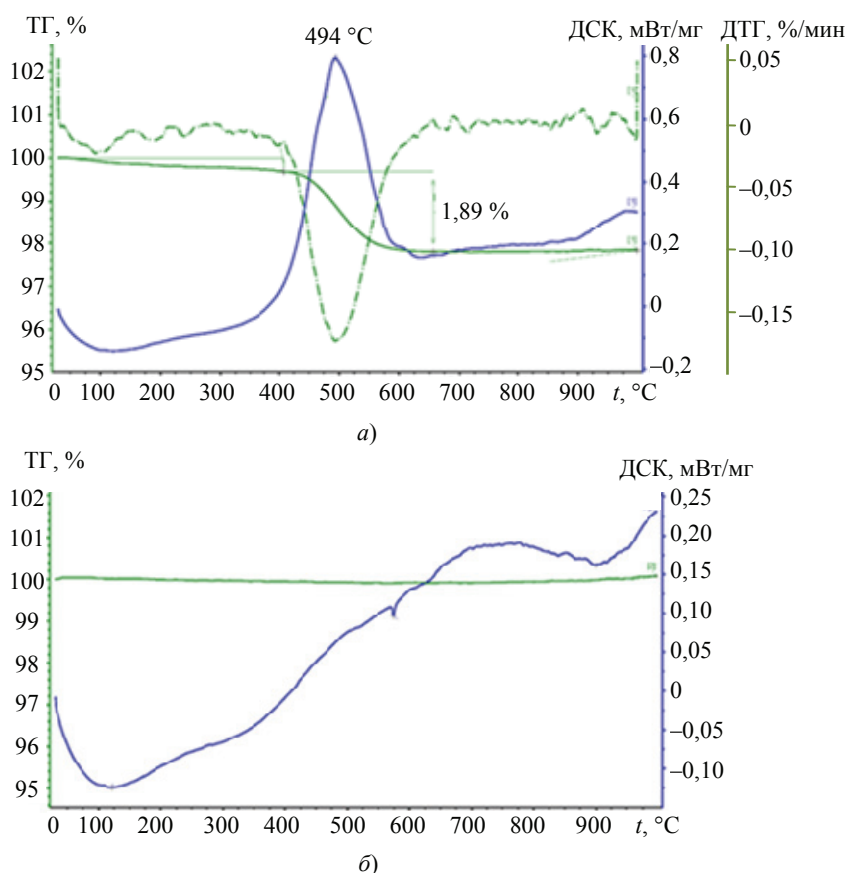


Рис. 1. Термограммы золошлаковых отходов в условиях атмосферного воздуха:
a – зола уноса; *б* – золошлаковая смесь

Таблица 5

Результаты термического анализа золошлаковых отходов

Образец	Потеря массы Δm , %, при температуре, °C									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
ЗУ	0,08	0,18	0,22	0,30	1,22	2,16	2,20	2,21	2,20	2,18
ЗШС	0,00	0,03	0,05	0,07	0,10	0,10	0,11	0,09	0,05	+0,50

Выявлено, что золошлаковые отходы являются непучинистыми, поэтому их можно использовать для получения дорожно-строительных материалов.

Таким образом, ЗУ представляет собой низкодисперсный материал с содержанием пылевидной и шлаковой составляющей 26,72 и 44,39 % соответственно. Удельная поверхность частиц золы составила $276 \text{ м}^2/\text{кг}$ (при норме не менее $300 \text{ м}^2/\text{кг}$), остаток зольной фракции 25,39 % (при норме не более 15 %), битумоемкость составила 54 г (при норме не более 80 г). Зола обладает скрыто-активными гидравлическими свойствами.

Золошлаковая смесь по зерновому составу относится к типу С – сред-незернистая: наибольшая крупность зерен 20 мм, содержание шлаковой составляющей 48,0 % (при норме 10 – 50 %), в том числе фракции щебня (5...20 мм) 13,0 %, песковой фракции (2,5...0,63 мм) – 35,0 %. Удельная поверхность частиц – 251 м²/кг (при норме не менее 150 м²/кг), стойкость шлакового щебня железистому распаду – 7,69 % (при норме не более 5 %), силикатному распаду – 40,0 % (при норме не более 8 %). По химическому составу ЗШС является инертным материалом.

Синхронный термический анализ золошлаковых отходов позволили выявить, что доля несгоревшего остатка в золе уноса составляет около 2 % (в пределах нормы). В составе золошлаковой смеси присутствуют фаза кварца (1,7 %), незначительное количество адсорбированной воды и органических веществ. Изученные золошлаковые отходы можно отнести к многофазным полиминеральным системам, утилизация которых в строительной индустрии потребует их модификации стабилизирующими добавками различной природы.

Список литературы

1. Characterization and Quantification of Persistent Organic Pollutants in Fly Ash from Coal Fueled Thermal Power Stations in India / S. K. Sahu, R. C. Bhangare, P. Y. Ajmal [et al.] // *Microchemical Journal*. – 2009. – Vol. 92, Issue 1. – P. 92 – 96. doi: 10.1016/j.microc.2009.02.003
2. Крылов, Д. А. Микроэлементы в топливе и золошлаковых отходах угольных электростанций / Д. А. Крылов // *Энергетик*. – 2012. – № 11. – С. 36 – 39.
3. Энтин, З. Б. Еще раз о золах-уносе ТЭС для производства цемента / З. Б. Энтин, Н. Стржалковская // *Цемент и его применение*. – 2009. – № 2. – С. 106 – 111.
4. Адеева, Л. Н. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности / Л. Н. Адеева, В. Ф. Борбат // *Вестник Омского университета*. – 2009. – № 2 (52). – С. 141 – 151.
5. Овсейчук, В. А. Радиационные выбросы от угольных ТЭС / В. А. Овсейчук, Д. А. Крылов, Г. П. Сидорова // *Вестник Забайкальского гос. ун-та*. – 2012. – № 10 (89). – С. 24 – 29.
6. Нифантов, Б. Ф. Горно-геологическое и технологическое значение распределения ценных и токсичных элементов в кузнечных углях / Б. Ф. Нифантов, А. Н. Заостровский, О. Н. Занина // *Уголь*. – 2009. – № 12 (1004). – С. 59 – 61.
7. Проблемы токсичности золошлаковых отходов / Б. С. Ксенофонов, И. А. Буторова, А. С. Козодаев [и др.] // *Экология и промышленность России*. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 4 – 9. doi: 10.18412/1816-0395-2017-2-4-9
8. Borm, P. J. A. Toxicity and Occupational Health Hazards of Coal Fly Ash (CFA). A Review of Data and Comparison to Coal Mine Dust / P. J. A. Borm // *Annals of Occupational Hygiene*. – 1997. – Vol. 41, Issue 6. – P. 659 – 676.
9. Abdrakhimov, V. Z. Use of Aluminum-Containing Waste in Production of Ceramic Materials for Various Purposes / V. Z. Abdrakhimov // *Refractories and Industrial Ceramics*. – 2013. – Vol. 54, No. 1. – P. 7 – 16. doi: 10.1007/s11148-013-9540-8
10. Papadakis, V. G. Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems: Part 1. Low-calcium Fly Ash / V. G. Papadakis // *Cement and Concrete Research*. – 1999. – Vol. 29, Issue 11. – P. 1727 – 1736. doi: 10.1016/S0008-8846(99)00153-2

11. Использование отходов теплоэнергетики в производстве теплоизоляционных материалов, пропитанных расплавом серы / Г. А. Медведева, Р. Т. Ахметова, Ю. Н. Пятко, И. Ш. Сафин // Изв. Казанского гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2014. – № 2 (28). – С. 237 – 243.

12. Утилизация отходов теплоэнергетики в водостойкие композиционные материалы / Г. А. Медведева, Р. Т. Ахметова, Ю. Н. Пятко [и др.] // Изв. Казанского гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2013. – № 2 (24). – С. 320 – 325.

13. Effect of Slag on the Mechanical Properties and Bond Strength of Fly Ash – Based Engineered Geopolymer Composites / Y. Ling, K. Wang, W. Li [et al.] // Composites Part B: Engineering. – 2019. – Vol. 164. – P. 747 – 757. doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2019.01.092

14. Dandautiya, R. Utilization Potential of Fly Ash and Copper Tailings in Concrete as Partial Replacement of Cement Along with Life Cycle Assessment / R. Dandautiya, A. P. Singh // Waste Management. – 2019. – Vol. 99. – P. 90 – 101. doi: 10.1016/j.wasman.2019.08.036

15. Satpathy, H. P. Development of Sustainable Lightweight Concrete Using Fly Ash Cenosphere and Sintered Fly Ash Aggregate / H. P. Satpathy, S. K. Patel, A. N. Nayak // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 202. – P. 636 – 655. doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.01.034

References

1. Sahu S.K., Bhangare R.C., Ajmal P.Y. [et al.] Characterization and Quantification of Persistent Organic Pollutants in Fly Ash from Coal Fueled Thermal Power Stations in India, *Microchemical Journal*, 2009, vol. 92, issue 1, pp. 92-96, doi: 10.1016/j.microc.2009.02.003

2. Krylov D.A. [Trace elements in the fuel and ash and slag waste of coal-fired power plants], *Energetik* [Power engineer], 2012, no. 11, pp. 36-39. (In Russ.)

3. Entin Z.B., Strzhalkovskaya N. [Once again about fly ash from thermal power plants for the production of cement], *Tsement i yego primeneniye* [Cement and its application], 2009, no. 2, pp. 106-111. (In Russ., abstract in Eng.)

4. Adeyeva L.N., Borbat V.F. [Ash of CHPP is a promising raw material for industry], *Vestnik Omskogo universiteta* [Bulletin of the Omsk University], 2009, no. 2 (52), pp. 141-151. (In Russ., abstract in Eng.)

5. Ovseychuk V.A., Krylov D.A., Sidorova G.P. [Radiation emissions from coal thermal power plants], *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Transbaikal State University], 2012, no. 10 (89), pp. 24-29. (In Russ., abstract in Eng.)

6. Nifantov B.F., Zaostrovskiy A.N., Zanina O.N. [Mining-geological and technological significance of the distribution of valuable and toxic elements in Kuznetsk coals], *Ugol'* [Coal], 2009, no. 12 (1004), pp. 59-61. (In Russ.)

7. Ksenofontov B.S., Butorova I.A., Kozodayev A.S., Afonin A.V., Taranov R.A. [Problems of toxicity of ash and slag wastes], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, vol. 21, no. 2, pp. 4-9, doi: 10.18412/1816-0395-2017-2-4-9 (In Russ.)

8. Borm P.J.A. Toxicity and Occupational Health Hazards of Coal Fly Ash (CFA). A Review of Data and Comparison to Coal Mine Dust, *Annals of Occupational Hygiene*, 1997, vol. 41, issue 6, pp. 659-676.

9. Abdrakhimov V.Z. Use of Aluminum-Containing Waste in Production of Ceramic Materials for Various Purposes, *Refractories and Industrial Ceramics*, 2013, vol. 54, no. 1, pp. 7-16, doi: 10.1007/s11148-013-9540-8

10. Papadakis V.G. Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems: Part 1. Low-calcium Fly Ash, *Cement and Concrete Research*, 1999, vol. 29, issue 11, pp. 1727-1736, doi: 10.1016/S0008-8846(99)00153-2

11. Medvedeva G.A., Akhmetova R.T., Pyatko Yu.N., Safin I.Sh. [The use of heat power waste in the production of heat-insulating materials impregnated with sulfur melt], *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2014, no. 2 (28), pp. 237-243. (In Russ., abstract in Eng.)
12. Medvedeva G.A., Akhmetova R.T., Pyatko Yu.N., Safin I.Sh., Stroganov V.F., Akhmetova A.Yu. [Utilization of heat power waste into waterproof composite materials], *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2013, no. 2 (24), pp. 320-325. (In Russ., abstract in Eng.)
13. Ling Y., Wang K., Li W., Shi G., Lu P. Effect of Slag on the Mechanical Properties and Bond Strength of Fly Ash - Based Engineered Geopolymer Composites, *Composites Part B: Engineering*, 2019, vol. 164, pp. 747-757, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2019.01.092
14. Dandautiya R., Singh A.P. Utilization Potential of Fly Ash and Copper Tailings in Concrete as Partial Replacement of Cement Along with Life Cycle Assessment, *Waste Management*, 2019, vol. 99, pp. 90-101, doi: 10.1016/j.wasman.2019.08.036
15. Satpathy H.P., Patel S.K., Nayak A.N. Development of Sustainable Lightweight Concrete Using Fly Ash Cenosphere and Sintered Fly Ash Aggregate, *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 202, pp. 636-655, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.01.034
-

Studying the Composition and Properties of Ash and Slag Waste for their Disposal in the Construction Industry

**D. V. Bespolitov, N. D. Shavanov, P. P. Pankov,
N. A. Konovalova, E. A. Koryakina**

*Irkutsk State University of Communications, Irkutsk, Russia;
Trans-Baikal Institute of Railway Transport –
Branch of Irkutsk State University of Railway Transport, Chita, Russia*

Keywords: fly ash; ash and slag mixture; ash and slag waste; building materials; recycling.

Abstract: The results of a study of the composition, properties and structural features of ash and slag waste (Chita, Trans-Baikal Territory) are presented to establish the possibility of their disposal in the construction industry. Samples of fly ash and ash and slag mixture were studied by differential scanning calorimetry, thermogravimetry, inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, X-ray phase analysis. It has been established that ash and slag wastes belong to the category of non-porous, the indicator of the specific effective activity of natural radionuclides A_{eff} (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) was less than 370 Bq/kg, so they can be used in the construction industry without restrictions. It was revealed that the hydraulic properties of fly ash are classified as latently active, and the ash and slag mixture is inert materials, therefore, it is not possible to use them as an independent binder. When adding ash and slag wastes to the composition of building materials, their modification with various stabilizing additives is required.

© Д. В. БЕСПОЛИТОВ, Н. Д. ШАВАНОВ, П. П. ПАНКОВ,
Н. А. КОНОВАЛОВА, Е. А. КОРЯКИНА, 2022