

Использование вторичного сырья в производстве строительных материалов

¹**НУРПЕИСОВА Маржан Байсановна**, д.т.н., профессор, marzhan-nurpeisova@rambler.ru,

²**ЕСТЕМЕСОВ Заткали Айранбаевич**, д.т.н., профессор, tselsim@mail.ru,

³**БЕК Айман Аскарқызы**, докторант, aiman.bek.001@gmail.com,

^{3*}**ЖУНУСОВА Гульнара Ергалиевна**, к.т.н., старший преподаватель, lena_gulya@mail.ru,

¹НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет

имени К.И. Сатпаева», ул. Сатпаева, 22а, Алматы, Казахстан,

²ТОО «ЦЕЛСИМ», Алматы, Казахстан, пр. Рыскулова, 95,

³НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,

пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью данных исследований является изучение физико-химических свойств золошлаковых отходов от сжигания экибастузских углей и определение возможности получения из них востребованных строительных материалов для снижения нагрузки на окружающую среду.

Методика. Для изучения фазового состава и структуры золошлаковых отходов использованы методы рентгенофазового и дифференциально-термического и химического анализов на новейших установках ведущих стран (России, Германии, Японии, Швейцарии и др.). **Результаты.** В результате определен химический и гранулометрический состав золошлаков. Выполнен рентгенофазовый и дифференциально-термический анализ. Анализ химического состава экибастузской золы дает представление о составе минеральных веществ угля. Главными составляющими являются оксиды кремния и алюминия, также присутствует большое количество оксида железа. Знание химического состава золы необходимо для решения о возможности использования ее для получения строительных материалов. Таким образом, все проведенные исследования показали возможность использования золошлаковых отходов в качестве вторичного сырья с целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Новизна заключается в разработке технологий, позволяющих повысить степень комплексности и экологической безопасности освоения техногенных отходов – это есть развитие индустриально-инновационной мощи государства бережного отношения к природным ресурсам и окружающей среде.

Практическая значимость заключается в том, что производство строительных материалов быстро окупается, не требует дорогостоящих установок, инструментов и оборудования.

Ключевые слова: золошлаковые отвалы, ТЭЦ, экология, вторичные ресурсы, строительные материалы.

В Казахстане имеется значительное количество тепловых электрических станций. Каждый год увеличивается количество золошлаковых отходов (ЗШО), образующихся на ТЭЦ, ГРЭС, в котельных. Топливо-электроэнергетический комплекс является одним из основных «загрязнителей» окружающей природной среды. Ухудшение экологической обстановки небезосновательно связано с загрязнением атмосферы. Ежегодный выход золы и золошлаковых смесей при сжигании углей в золоотвалах Казахстана составляет более 17 млн т, в золоотвалах накоплено бо-

лее 300 млн тонн отходов золы (рисунок 1).

Сжигая уголь, ТЭЦ получают тепловую энергию и генерируют электрическую. Отрицательной стороной этого процесса является образование побочных продуктов сжигания угля – летучая зола (зола уноса) и шлак.

Актуальность и значимость данной проблемы усиливаются с фактом признания, что техногенные отходы ТЭЦ не перерабатываются, текущие отходы золы накапливаются и занимают огромные площади, что выводит их из землепользования. Развитие

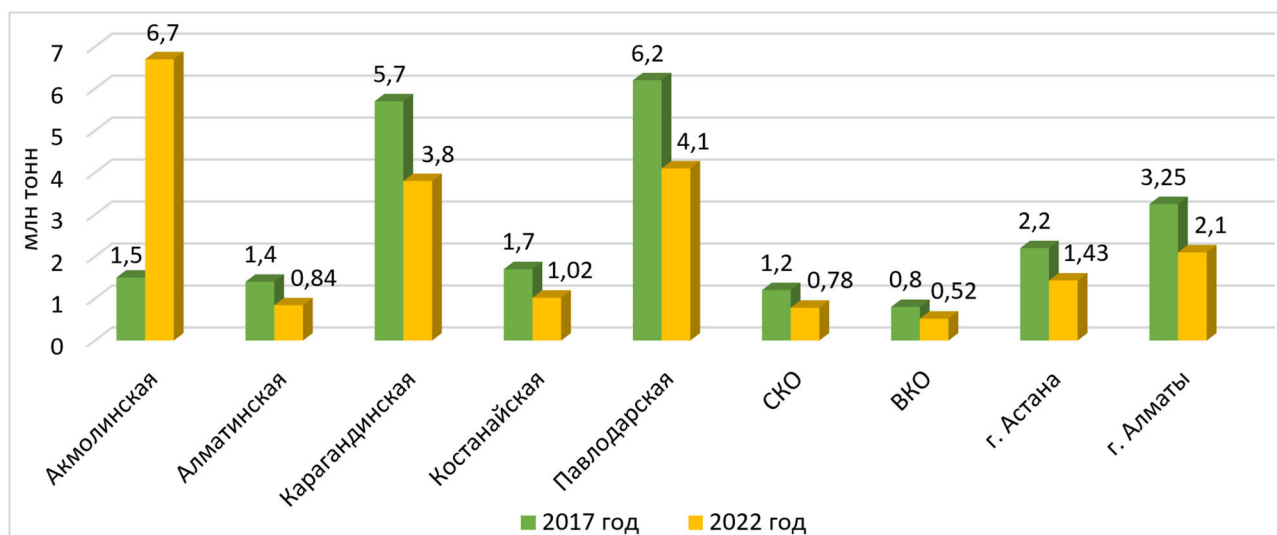


Рисунок 1 – Образование золошлаковых отходов в областях Республики Казахстан

производства электроэнергии и переработка отходов ТЭЦ, в частности золы, от сжигания углей, отнесены к одному из главных государственных приоритетов Казахстана [2].

Остальные области Казахстана употребляют газовое топливо. Совершенно очевидно, что нужно снижать антропогенную нагрузку посредством внедрения региональных нормативов, изменения платы за загрязнения водных объектов и использование отходов энергетики в производстве строительных материалов. Переработка золошлаковых отходов в промышленном масштабе практически отсутствует. Из золошлаковых отходов из угля, вырабатываемых ТЭЦ, в Казахстане перерабатывается около 8% золы (менее 1,9 млн тонн) на исследовательско-производственном уровне. Если использование ЗШО останется на этом уровне, то к 2030 году объём накопленных отходов достигнет 1 млрд тонн.

Сегодня многие страны обладают опытом в разработке эффективных эколого-экономических систем безотходной технологии [3]. Для Казахстана этот опыт полезен в плане использования в области переработки и утилизации золошлаковых отходов. Проблема утилизации шлаков в строительстве остается актуальной задачей, поскольку практически все исследования ограничиваются опытными разработками. Всё это вызывает настоятельную необходимость проведения целенаправленных комплексных исследований как самого шлака, так и материалов на его основе. Поэтому сегодня особую актуальность приобрело управление отходами как одно из ключевых направлений развития «зеленой» экономики в Казахстане, т.е. сохранение и эффективное управление эко-

системами [4].

Наибольший интерес для Казахстана представляет опыт Германии, где федеральное министерство окружающей среды в 1972 году разработало Программу предотвращения отходов. В Германии каждое предприятие-производитель заинтересовано в переработке и в стране существуют крупные перерабатывающие комплексы.

В настоящее время одним из передовых государств по извлечению алюминия из золы является Китай, завод ежегодно производит около 240 млн тонн оксида алюминия и 200 млн тонн силиката калия. В Японии доля вовлечения в хозяйственный оборот ЗШО составляет 96%.

Обзор предшествующих научных работ показал, что существует значительная мировая практика проведения исследований золоотвалов тепловых электростанций. В странах ближнего зарубежья уровень использования зол и шлаков тепловых электрических станций не превышает 7-10%, в странах Европы хорошо развит промышленный симбиоз. В Дании и Германии золошлаки применяются в производство стройматериалов. В Польше, Китае и США процент использования золошлаков составляет примерно 60%.

Рост масштабов строительства в Казахстане требует значительного количества минерального сырья для индустрии строительных материалов. Интенсификация в данном направлении сопряжена с использованием промышленных отходов взамен первичных природных ресурсов с целью удешевления стройматериалов. Использование в индустрии строительных материалов твердых отходов горнорудного производства является

более экономичным по сравнению с производством стройматериалов на базе специальной добычи минерального сырья.

В настоящее время прикладные исследования и научно-технические разработки в области технологий переработки золошлаков выполняются в SatbayevUniversity [5,6] и его филиале Центральной лаборатории сертификации строительных материалов (ЦЕЛСИМ), где и запущен мини-завод по производству вторичного сырья на основе отходов производства.

Рост масштабов строительства в Казахстане требует значительного количества минерального сырья для индустрии строительных материалов. Расширение минеральной сырьевой базы промышленности строительных материалов может быть обеспечено не только путем поиска новых месторождений нерудных полезных ископаемых, но и в результате вовлечения в производство техногенных отходов нерудного сырья. Промышленная переработка техногенного сырья (отходы обогащения и переработки, вскрышные и вмещающие породы), близкого по составу к природному и используемого в традиционных направлениях, практически не отличается от промышленной переработки природного минерального сырья. Интенсификация в данном направлении сопряжена с использованием промышленных отходов взамен первичных природных ресурсов с целью удешевления стройматериалов.

В связи с вышеуказанным является целесообразным использовать отходы как вторичный продукт производственного цикла. Таким образом, целью данной статьи является изучение физико-химических свойств золошлаковых отходов от сжигания экибастузских углей и определение возможности получения из них востребованных строительных материалов.

Объект исследования – золошлаковые отходы ТЭЦ-3 г. Алматы, использующей угли Экибастузского месторождения.

Предмет исследования – определение физико-химических свойств золошлаковых отходов.

Материалы и методы исследования

В данной работе изучались ЗШО ТЭЦ-3 Алматинской электростанции. Алматинская ЭС объединяет 3 теплоэлектроцентрали (ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3), которые обеспечивают теплом и электроэнергией потребителей г. Алматы и Алматинской области Казахстана. Все ТЭЦ используют угли Экибастузского месторождения.

Для определения фазового состава цемента и золы использован модернизированный дифрактометр ДРОН-3М на CuK_α -из-

лучении с программным обеспечением. Рентгенограммы получены в интервале 2θ (углов) от 10 до 70°.

Знание химического состава золошлаковых отходов является необходимым условием для суждения об их свойствах и решения вопроса о возможности использования в различных отраслях народного хозяйства. Для определения химического состава золошлаковых отходов был произведен отбор проб золы с электрофильтров и золошлакотвала согласно методике РД 34.09.603-88 «Методические указания по организации контроля состава и свойств золы и шлаков, отпускаемых потребителям тепловыми электростанциями».

Химический состав золы-уноса установлен с помощью энергодисперсионного рентгено-флуоресцентного спектрометра EDX-8000.

Анализ гранулометрического состава осуществлялся с использованием прибора Analizette 22 MicroTecFritsch GmbH (Германия). Микрофотографию золы-уноса снимали в растровом электронном микроскопе Superprobe-733.

Результаты исследования и их обсуждение

Сжигая уголь, ТЭЦ получают тепловую энергию и генерируют электрическую. Отрицательной стороной этого процесса является образование побочных продуктов сжигания угля – золы-уноса и шлака.

Состав золошлакового материала определялся количественным соотношением входящих в него минералов, которые зависят от минералогического состава исходной части топлива.

На рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 была получена рентгенограмма золы ТЭЦ-3, которая представлена на рисунке 2.

В результате интерпретации данной рентгенограммы были установлены следующие минералы в следующих количествах, в % от кристаллической фазы: гематит Fe_2O_3 – 12,1%, кварц SiO_2 – 32,4%, силлиманит Al_2SiO_5 – 25,9%, муллит $\text{Al}_{4,95}\text{Si}_{1,05}\text{O}_{9,52}$ – 29,6%.

Результаты химического анализа зол отвалов ТЭС от сжигания углей Экибастуза представлены в таблице 1.

Из таблицы отчетливо видно, что основным компонентом, содержащимся в золе, является оксид кремния и алюминия (от 57,7 до 63,9%), также присутствует большое содержание оксида железа, оксида кальция в пробах с золоотвала значительно меньше, чем в пробах с электрофильтра. Вероятнее всего, свободный оксид кальция перешел в карбонат кальция при реакции с углекислым

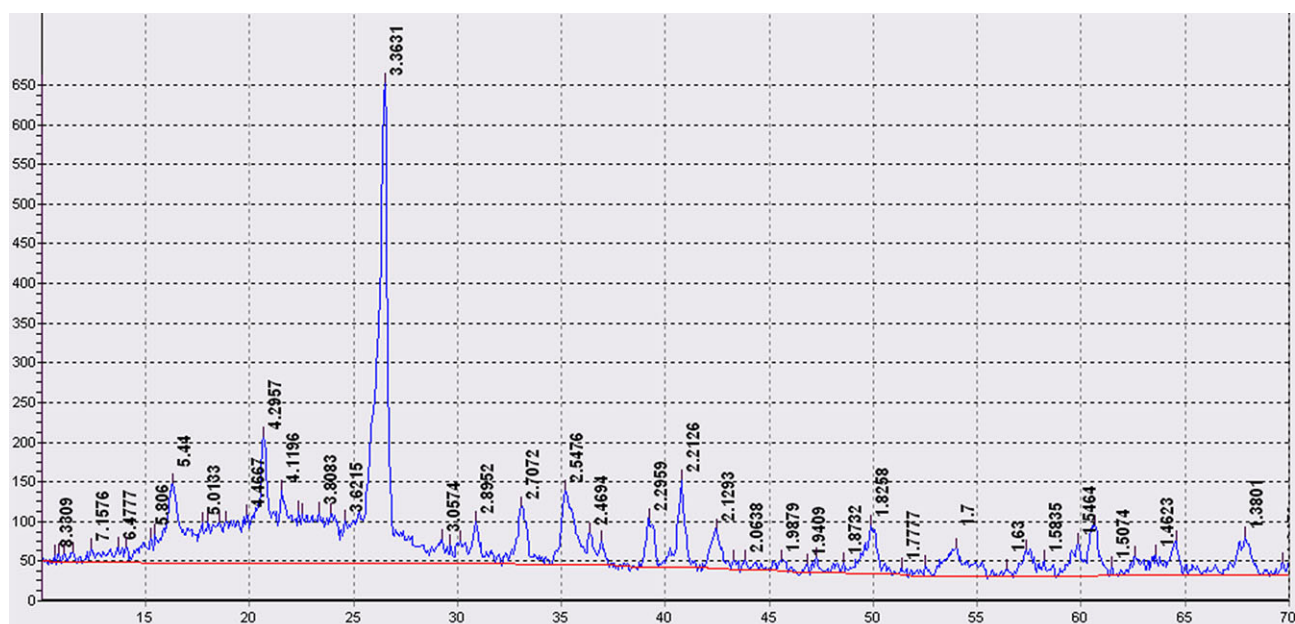


Рисунок 2 – Рентгенограмма золы ТЭЦ-3

Таблица 1 – Результаты химического анализа золоотвалов ТЭС

Наименование ТЭС, золотвалы и их элементы	Состав, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₃	SO ₃
Экибастузская ТЭЦ	56,6	23,64	3,41	4,73	1,54	1,22	0,79	0,09	0,61	3,05
Экибастузская ГРЭС	63,9	25,50	0,80	5,70	0,10	0,90	1,20	-	-	0,20
Павлодарская ТЭЦ	57,7	25,26	2,48	10,1	1,66	0,50	0,02	0,24	-	0,07
Алматинская ТЭЦ-3	57,7	29,6	1,1	6,24	0,35	0,03	-	-	-	1,3

газом, растворенным в воде, которой смывают золы по пульпопроводу.

На рисунке 3 представлен электромикроскопический снимок золы-уноса, из которого видно, что:

- частицы шарообразные, стекловидные и полые, размеры которых простираются от 1 мкм до 50 мкм;
- крупные частицы в своих полостях содержат более мелкие шарообразные частицы (показано стрелкой);
- на поверхности крупных частиц присутствуют, как правило, крепко «приклеенные» мельчайшие обсыпные шарики.

Одним из основных показателей сырьевых материалов является их гранулометрический состав. Чем больше содержание микродисперсных частиц, тем выше пластичность материала. Следовательно, сырье будет обладать высокой связанностью, что положительно скажется на прочностных характеристиках готовых изделий.

Гранулометрический состав Экибастуз-

ской ГРЭС по фракциям распределяется следующим образом: до 0,5 мм – 0,14%; 0,45 мм – 2,26%; 0,25 мм – 3,6%; 0,1 мм – 25,8%; 0,09 мм – 0,84%; 0,08 мм – 12,12%; 0,06 мм – 4,5%; 0,05 мм – 21,46%; 0,045 мм – 21,38%; 0,04 мм – 7,9%. При этом потери при прокаливании (ППП) – около 3%.

В таблице 2 показано распределение фазового состава золы-уноса в зависимости от ее фракционного состава. Анализируя данные этой таблицы, можно сказать следующее:

- зола-унос в основном представлена фракцией, состоящей из частицы размером 100 мкм – 25,8%, размером 80 мкм – 12,12%, размером 50 мкм – 21,46%, размером 45 мкм – 21,38%; в сумме они достигают 80,76%;

- особняком стоит состав частицы с размером 500 мкм, который представлен муллитом (28%), α-кварцем (54%), углеродом (18%) и небольшим количеством стеклофазы (занимая гало площадь на рентгенограмме достигает 6 см²; содержание их от общего

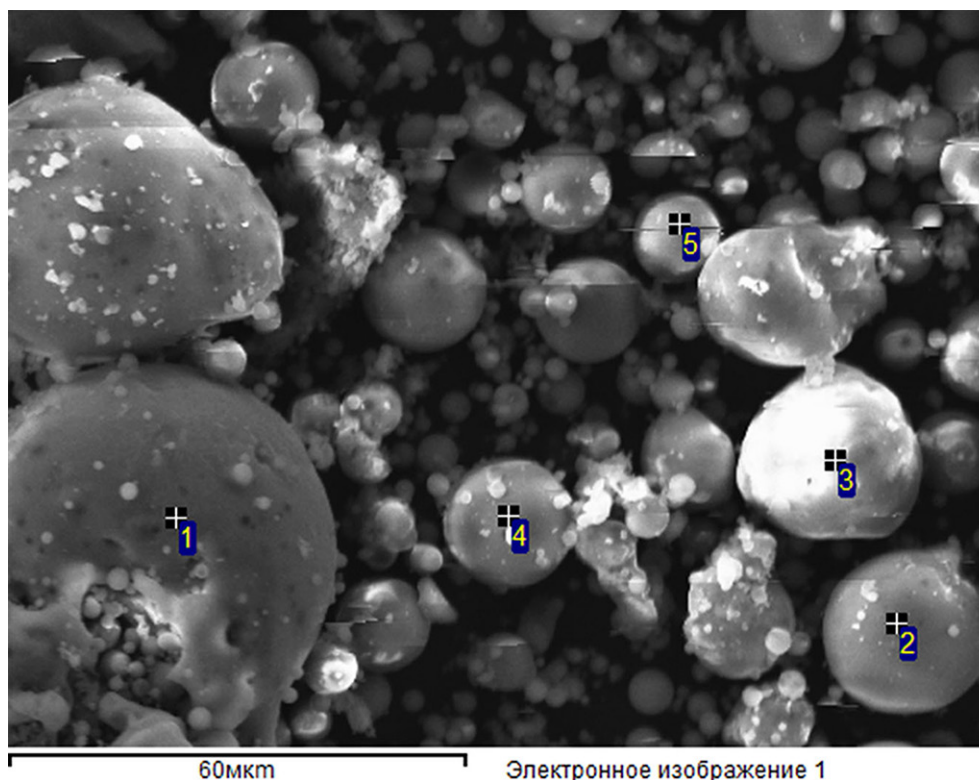


Рисунок 3 – Микрофотография фракций золы в растровом электронном микроскопе

Таблица 2 – Распределение фазового состава золы-уноса в зависимости от ее фракционного состава

Номер сетки сита	Размеры частицы, мкм	Содержание фракции на сите, %	Распределение фазового состава в зависимости от фракции, %				
			Муллит	α-кварц	Силлиманит	Углерод	стеклофаза (занимаемая площадь, см ²)
0,5	500	0,14	28	54	–	18	6
045	450	2,26	44	21	24	11	14
025	250	3,36					
01	100	25,8	46	18	28	8	14,5
009	90	0,84					
008	80	12,12	42	20	31	7	18
0063	63	4,5	47	17	29	7	20
005	50	21,46	50	21	29	–	22
0045	45	21,38	47	25	28	–	23
004	40	7,9	51	14	35	–	23

количества золы-уноса небольшое – всего 0,14%;

- содержание несгоревшего углерода на рентгенограммах фиксируется только в составе крупных фракций – от 500 мкм до 63 мкм; причем в пределах этих фракций содержание его закономерно уменьшается: 18%-7% – от грубой фракции до мелкой.

С целью изучения физико-химических

процессов, протекающих в золошлаковых материалах при их нагревании, проводился дифференциально-термический анализ. На кривой ДТА (рисунок 4) наблюдается широкий эндотермический эффект в области 180°C, связанный с удалением физически связанной влаги, дегидратацией гидроксидов и гидроксосолей [7].

В указанном температурном интервале

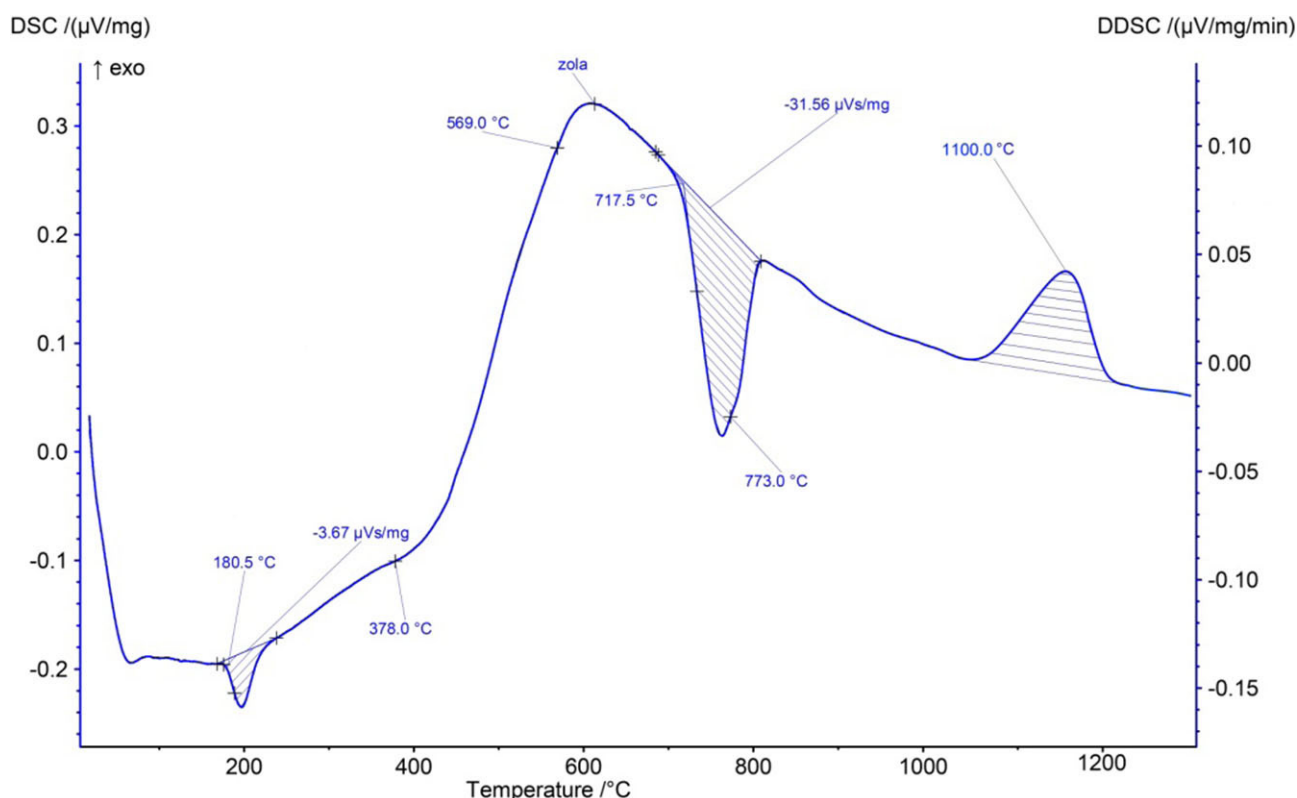


Рисунок 4 – Кривая ДТА золошлакового материала

отщепляется основная часть физически и химически связанной воды, остальная часть удаляется в широком температурном интервале вплоть до 750°C, что свидетельствует о наличии в составе золошлаковых материалов прочно связанных ОН-групп.

В связи с вышесказанным актуальность по использованию золы-уноса в качестве компонента для цемента и бетонных смесей сомнения не вызывает.

Выводы

Проведены комплексные исследования золошлаковых материалов, которые требуют переработки для снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду.

Анализ химического состава экибастусской золы дает представление о составе минеральных веществ угля. Главными составляющими являются оксиды кремния и алюминия, также присутствует большое количество оксида железа. Химический анализ показал, что основными компонентами золошлаковых отходов являются оксиды кремния и алюминия (от 57,7 до 63,9%), также присутствует большое содержание оксида железа, оксида кальция в пробах с золоотвала значительно меньше, чем в пробах с электрофилтра.

Одним из основных показателей является гранулометрический состав. Чем выше

содержание микродисперсных частиц, тем выше пластичность материала, также изделие будет обладать большей прочностью и связанностью. Анализ гранулометрического состава показал, что у 60% частиц размер составляет от 10 до 70 мкм. Из данных видно, что материал является очень тонкодисперсным.

Таким образом, мировой опыт и проведенный анализ химического состава и остальных параметров показывает, что золу-унос можно использовать в различных направлениях народного хозяйства, однако наиболее золоемкими и эколого-экономически эффективными направлениями являются строительные и дорожные отрасли. При использовании золы-уноса в качестве минеральной добавки для цементов и бетонных смесей существенно улучшаются их физико-механические и эксплуатационные свойства. В связи с вышесказанным актуальность по использованию золы-уноса в качестве компонента для цемента и бетонных смесей сомнения не вызывает.

Использование золошлаковых отходов в различных отраслях строительства даст возможность не накапливать золошлаки на золошлакоотвалах и воздействовать на окружающую среду и позволит уменьшить использование природных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные тенденции переработки и использования золошлаковых отходов ТЭС и котельных [Электронный ресурс] / Г.Р. Мингалеева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – Режим доступа: <http://www.scienceeducation.ru>. – Дата доступа: 29.09.2016.
2. Мальчик А.Г. Изучение золошлаковых отходов для использования в качестве вторичных ресурсов / А.Г. Мальчик, С.В. Литовкин // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9-1. – С. 23-27.
3. F. Salguero, J.A. Grande, T. Valente, R. Garrido, M.L. de la Torre, J.C. Fortes, A. Sánchez, Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production, Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – Pp. 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.082>.
4. Jiang Shi, Feng He, Chuqiao Ye, Lan Ni, Junlin Xie, Ni Yang, Xiaoqing Liu. Preparation and characterization of CaO-Al₂O₃-SiO₂ glass-ceramics from molybdenum tailings H Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – Pp. 57-64.
5. Kuldeyev E.I., Nurpeisova M.B., Bek A.A., Ashimova A.A. Waste management is one of the key directions development of «green» economy in Kazakhstan // Moscow: Mine Surveying and Subsurface Use. No. 6. 2022. – Pp. 67-75.
6. Bek A.A., Yestemesov Z.A., Baidzhanov D.O., Fedotenko N.A. Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings // «Eurasian Mining» 1-2022. Pp. 64-74. DOI: 10.17580/em.2022.12
7. M. Nurpeisova, Z. Yestemesov, A. Bek, V. Kim, G. Syndyrbekova. Main characteristics of fly ash Ekibastuz Srpp-2 // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences, no. 2, 2023. – Pp. 168-176. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.292>

Екіншілік шикізатты құрылыс материалдары өндірісінде пайдалану

¹**НУРПЕИСОВА Маржан Байсановна**, т.ғ.д., профессор, marzhan-nurpeisova@rambler.ru,

²**ЕСТЕМЕСОВ Заткали Айранбаевич**, т.ғ.д., профессор, tselsim@mail.ru,

³**БЕК Айман Аскарқызы**, докторант, aiman.bek.001@gmail.com,

^{3*}**ЖУНУСОВА Гульнара Ергалиевна**, т.ғ.к., аға оқытушы, lena_gulya@mail.ru,

¹«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Сәтбаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан,

²«ЦЕЛСИМ» ЖШС, Алматы, Қазақстан, Рысқұлов даңғылы, 95,

³«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Андатпа. Зерттеудің мақсаты – екібастұз көмірінің жануынан пайда болған күл мен қож қалдықтарының физика-химиялық қасиеттерін зерттеу және қоршаған ортаға түсетін ауыртпалықты азайту үшін олардан қажетті құрылыс материалдарын алу мүмкіндігін анықтау.

Әдістеме. Күл және шлак қалдықтарының фазалық құрамы мен құрылымын зерттеу үшін жетекші диірмендердің (Ресей, Германия, Жапония, Швейцария және т.б.) соңғы қондырғыларында рентгендік фаза және дифференциалды термиялық және химиялық талдау әдістері қолданылды.

Нәтижелер. Күл мен шлақтың химиялық және гранулометриялық құрамы анықталды. Рентгендік фаза және дифференциалды термиялық талдау орындалды. Екібастұз күлінің химиялық құрамын талдау көмірдің минералды заттардың құрамы туралы түсінік береді. Негізгі құрамдас бөліктер кремний және алюминий оксидтері болып табылады, сонымен қатар темір оксидінің көп мөлшері бар. Күлдің химиялық құрамын білу оны құрылыс материалдарын өндіруге қолдануға болатынын шешу үшін қажет. Осылайша, барлық зерттеулер қоршаған ортаға антропогендік жүктемені азайту мақсатында күл мен қож қалдықта-

рын екінші реттік шикізат ретінде пайдалану мүмкіндігін көрсетті.

Ғылыми жаңалық техногендік қалдықтарды өңдеудің күрделілік дәрежесін және экологиялық қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік беретін технологияны дамытуда жатыр – бұл табиғи ресурстар мен қоршаған ортаны құрметтейтін мемлекеттің индустриялық-инновациялық қуатын дамыту.

Тәжірибелік маңыздылығы – құрылыс материалдарының өндірісі тез ақталуында, қымбат қондырғыларды, құралдар мен жабдықтарды қажет етпейтіндігінде.

Кілт сөздер: күл және қож сопақшалары, ЖЭС, экология, қосалқы ресурстар, құрылыс материалдары.

Use of Secondary Raw Materials in Production Building Materials

¹**NURPEISSOVA Marzhan**, Dr. of Tech. Sci., Professor, marzhan-nurpeisova@rambler.ru,

²**YESTEMESOV Zatkali**, Dr. of Tech. Sci., Professor, tselsim@mail.ru,

³**BEK Aiman**, Doctoral Student, aiman.bek.001@gmail.com,

^{3*}**ZHUNUSOVA Gulnara**, Cand. of Tech. Sci., Senior Lecturer, lena_gulya@mail.ru,

¹NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Satpayev Street, 22a, Almaty, Kazakhstan,

²«TSeLSIM» LLP, Almaty, Kazakhstan, Ryskulov Avenue, 95,

³NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56, Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of these studies is to study the physical and chemical properties of ash and slag waste from the combustion of Ekibastuz coals and determine the possibility of obtaining demanded building materials from them to reduce the burden on the environment. Methodology. To study the phase composition and structure of ash and slag waste, methods of X-ray phase and differential thermal and chemical analyzes were used on the latest installations of leading mills (Russia, Germany, Japan, Switzerland, etc.).

Results. The chemical and granulometric composition of ash and slag was determined. Performed X-ray phase and differential thermal analysis. Analysis of the chemical composition of the Ekibastuz ash gives an idea of the composition of mineral substances of coal. The main constituents are oxides of silicon and aluminum, there is also a large amount of iron oxide. Knowledge of the chemical composition of ash is necessary to decide whether it can be used to produce building materials. Thus, all studies have shown the possibility of using ash and slag waste as a secondary raw material in order to reduce the anthropogenic load on the environment.

The novelty lies in the development of technology that allows to increase the degree of complexity and environmental safety of the development of man-made waste – this is the development of the industrial and innovative power of the state of respect for natural resources and the environment.

The practical significance lies in the fact that the production of building materials quickly pays off, does not require expensive installations, tools and equipment.

Keywords: ash and slag ovals, thermal power plant, ecology, secondary resources, building materials.

REFERENCES

1. Sovremennye tendencii pererabotki i ispol'zovanija zoloshlakovyh othodov TJeS i kotel'nyh [Elektronnyj resurs] / G.R. Mingaleeva [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2014. – No. 6. – Rezhim dostupa: <http://www.scienceeducation.ru>. – Data dostupa: 29.09.2016.
2. Mal'chik A.G. Izuchenie zoloshlakovyh othodov dlja ispol'zovanija v kachestve vtorichnyh resursov / A.G. Mal'chik, S.V. Litovkin // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2015. – No. 9-1. – Pp. 23-27.
3. F. Salguero, J.A. Grande, T. Valente, R. Garrido, M.L. de la Torre, J.C. Fortes, A. Sánchez. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production, Construction and Building Materials. – 2014. – Vol. 54. – Pp. 363-368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.082>.
4. Jiang Shi, Feng He, Chuqiao Ye, Lan Hi, Junlin Xie, Hi Yang, Xiaoqing Liu. Preparation and characterization of CaO-AlO-SiO₂ glass-ceramics from molybdenum tailings H Materials Chemistry and Physics. – 2017. – Vol. 197. – Pp. 57-64.
5. Kuldeyev E.I., Nurpeisova M.B., Bek A.A., Ashimova A.A. Waste management is one of the key directions development of «green» economy in Kazakhstan // Moscow: Mine Surveying and Subsurface Use. No. 6. 2022. – Pp. 67-75.
6. Bek A.A., Yestemesov Z.A., Baidzhanov D.O., Fedotenko N.A. Effective strengthening solutions for fractured rock masses using tailings // «Eurasian Mining» 1-2022. Pp. 64-74. DOI: 10.17580/em.2022.12
7. M. Nurpeissova, Z. Yestemesov, A. Bek, V. Kim, G. Syndyrbekova. Main characteristics of fly ash Ekibastuz Srpp-2 // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences, no. 2, 2023. – Pp. 168-176. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.292>