

Ö.K. Aksoy – университет Памуккале, факультет науки и искусств, факультет биологии, Денизли, Турция.

Лаура Кажыгелдиева – магистр педагогических наук, преподаватель кафедры естественно-научных дисциплин университета имени Шакарима города Семей, Казахстан.

Редакцияға енуі 02.02.2024

Өңдеуден кейін түсуі 05.04.2024

Жариялауға қабылданды 26.04.2024

DOI: 10.53360/2788-7995-2024-2(14)-54



MPHTI: 67.09.91

С.С. Алдабергенова¹, Ж.Т. Ибраева¹, Р.К. Ниязбекова¹, М.М. Какимов², А.С. Майконов^{1,3}

¹Казахстанский институт стандартизации и метрологии,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Мангилик Ел, 11

²Казахский агротехнический исследовательский университет им.С. Сейфуллина,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Женис, 62

³Казахстаско-Британский технический университет,
050000, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Толе Би, 59

*e-mail: zhanna.83-01@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ СОСТАВОВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: В данной статье приведены исследования в области хранения и накопления золошлаковых отходов угольных электростанций в Республике Казахстан. Рассматриваются аспекты переработки, а также варианты утилизации золошлаковых отходов. Описан гранулометрический и химический состав, где выявлены результаты исследования сырого вещества. Грануляционный анализ состава показывает, что 60% частиц имеют размеры в пределах 10-70 мкм. Так же определены коэффициенты кислотности (Ph) и основности отходов угольных электростанций, а также установлен класс материала. В статье описана новая технология производства композиционных материалов с применением золошлаковых отходов. Определена зависимость добавления золошлаковых отходов в состав цементных смесей при производстве композиционных материалов. Установлены оптимальные параметры обжига муфельной печи в зависимости от изменения температуры. Изучены физико-механические свойства полученных материалов, а также такие показатели как: теплопроводность, прочность на сжатие. По результатам исследований получены новые методы переработки золошлаковых отходов. Для снижения антропогенного воздействия на окружающую среду было проведено комплексное исследование золошлаковых отходов, нуждающихся в переработке. В исследованиях были выявлены признаки в основном шве: кислотные и основные коэффициенты, силикатные коэффициенты и коэффициенты качества, основная задача, которых дальнейшее изучение физико-химических закономерностей отходов при разных видах термической обработки и дальнейшее использование золошлаковых отходов в промышленности. При этом учитываются, что кислая зола характеризуется нестабильным химическим составом и не имеет вяжущих свойств, однако при добавлении ускорителей становится вязкой, что улучшает качественные показатели.

Ключевые слова: золошлаки, химический и гранулометрический состав, радионуклидная радиоактивность, композиционные материалы, предел прочности.

Введение

По данным Всемирной угольной ассоциации, за последние два столетия на долю угольной промышленности приходилось около 38% мирового производства электроэнергии, а 13% всего добываемого угля используется в черной металлургии [1,4,6]. Развитие этой отрасли характеризуется стабильностью по сравнению, например, с нефтяной промышленностью. Среди них большая доступность разведанных ресурсов и постоянная стабильность спроса со стороны энергетической и металлургической отраслей. Из всех регионов наибольшее количество угля добывается и потребляется в Азиатско-Тихоокеанском

регионе. Угольный рынок здесь активно развивается благодаря относительной дешевизне угля. Спрос на рядовой уголь на мировом рынке значительно увеличился в связи с ростом его потребления энергетикой Китая. Кроме того, рост потребления угля в странах Азиатско-Тихоокеанского региона подкрепляется постоянно снижающимся весом угля в европейских странах, которые все больше ориентируются на природный газ и возобновляемые источники энергии [2,9]. Так, например, согласно статистическим данным, Китай имеет больше угольных электростанций, чем любая другая страна мира: по состоянию на июль 2022 года в Китае насчитывалось 1118 угольных электростанций, что почти в четыре раза больше, чем у второй по величине страны – Индии. На долю Китая приходится более 50% мировой выработки электроэнергии на угле [3]. Уголь является одним из важнейших видов топлива и в Республике Казахстан, что связано с огромными запасами и низкой себестоимостью добычи. По подтвержденным запасам угля Республика Казахстан занимает восьмое место в мире, содержит 3,4% мировых запасов под землей и входит в десятку крупнейших производителей угля на мировом рынке. Распределение прогнозных ресурсов угля по регионам Республики Казахстан неравномерно, основная их часть сосредоточена в северных и центральных областях.

По данным Министерства энергетики Республики Казахстан, основным потребителем угля в Казахстане является энергетический сектор. Следует учесть, что в стране имеется порядка 100 тепловых электростанций, из которых 30% работают на угле и вырабатывают электроэнергию путем сжигания угля. Такие тепловые электростанции составляют 70% от всего энергетического баланса Казахстана. Сжигание угля концентрируется в неметаллы, поэтому угольная зола содержит гораздо более высокие концентрации токсичных загрязняющих веществ и металлов на единицу объема, чем в не переработанном состоянии. Негативным аспектом этого процесса является образование летучей и донной золы, которые являются побочными продуктами сжигания угля, угольная зола наносит огромный экологический ущерб окружающей среде. Когда угольную золу сбрасывают или оставляют высыхать, она поднимается в воздух. После выброса в воздух "летучая" пыль от угольной золы может мигрировать за пределы площадки. В результате рабочие и жители близлежащих районов подвергаются воздействию большого количества крупных (PM10) и мелких (PM2.5) твердых частиц, которые могут вызывать различные заболевания, включая респираторные, онкологические и сердечно-сосудистые [4,9]. Оценка рисков, проведенная Агентством по охране окружающей среды США, также показала, что пик загрязнения от золоотвалов наступает спустя длительное время после сброса отходов. Например, пик загрязнения от золоотвалов прогнозируется через 78-105 лет после начала эксплуатации золоотвала [5,8]. Отвалы угольной золы, построенные и эксплуатируемые не в соответствии с передовыми стандартами, представляют собой значительный риск загрязнения грунтовых и поверхностных вод, а также воздуха на прилегающей территории. Загрязняющие вещества из угольной золы могут просачиваться со дна золоотвала в грунтовые воды, стекать в реки, озера и другие поверхностные воды, высыхать и распространяться на населенные пункты. Таким образом, старые золоотвалы по-прежнему представляют собой весьма значительную экологическую опасность, даже если они больше не принимают новые отходы. Например, исследование агентства по охране окружающей среды США показало, что пребывание рядом с грязным пеплом увеличивает риск повреждения печени, почек, легких и других органов, поскольку концентрация токсинов находится на значительно более высоком уровне. В этой связи необходимо как можно скорее решить проблему золоотвалов в Казахстане. Кроме того, по данным комиссии Республики Казахстан по классификации отходов, данный вид отходов относится к «зеленому» списку и относится к категории безвредных, поэтому его использование ограничено [5,6].

Таким образом, данная статья посвящена изучению золошлаковых отходов на примере Экибастузской теплоэлектростанции с изучением физико-химических свойств золы шлаковых отходов, с целью возможности их применения как вторичный ресурс для снижения антропогенного влияния на окружающую среду.

Материалы и методы исследования

Проводился анализ золошлаковых отходов Экибастузских ТЭЦ, отбор проб производился с учетом погодных условий, времени года и сроков накопления. Химический состав золы анализировали при отборе более 70 проб, где определено, что состав золошлаковых отходов включает 98-99% основных золообразующих макроэлементов, таких как Si, Al, Fe, O, Ca, Ti, Mg, S, K, Na, остальные элементы составляют всего 01%. В шлаке, после сгорания угля концентрируются такие вещества, как Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb и др. При нагревании образцов выше 1000°C в муфельных печах те элементы, что составляют менее 0,1% улетучиваются из зоны высоких температур и оседают в циклонах и электрофильтрах при температуре 110-120°C. Следует отметить, что такие показатели как температура горения, соотношение воздух/топливо и размеры частиц угля сильно варьируют в зависимости от марки, класса угля, выше приведенный химический состав выявлен в Экибастузских ТЭЦ с учетом применяемого угля (табл. 1).

Таблица 1 – Среднее значение физико-химического содержания пробы золы из золоотвала Экибастузских ТЭЦ, %

№ п/п	Элемент	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
1	Al	17,346	19,608	20,932
2	Si	40,919	52,327	56,737
3	P	0,610	0,717	0,680
4	S	0,199	0,079	0,298
5	Cl	0,126	0,172	0,136
6	K	1,629	2,207	1,597
7	Ca	9,926	3,350	3,844
8	Ti	2,847	3,170	2,718
9	V	0,059	0,060	0,057
10	Mn	0,405	0,303	0,370
11	Fe	24,916	16,999	11,656
12	Ni	0,001	0,002	0,002
13	Zn	0,018	0,032	0,021
14	Ga	0,013	0,014	0,014
15	As	0,004	0,004	0,004
16	Rb	0,012	0,015	0,013
17	Sr	0,236	0,237	0,183
18	Y	0,025	0,025	0,026
19	Zr	0,140	0,166	0,151
20	Nb	0,006	0,006	0,005
21	Str	0,028	0,025	4,773
22	Te	0,018	0,017	4243
23	Ba	0,287	0,254	0,22
24	Eu	0,162	0,115	0,076
25	Yb	0,017	0,016	0,011
26	Pb	0,004	0,009	0,006
27	Nd	0,001	0,002	0,002
28	Lu	0,013	0,014	0,014
29	Rh	0,008	0,009	0,009

Фазово-минералогический состав золы определяется соединениями неорганических компонентов в угле, а также физико-химическими процессами, протекающими при горении угля. Неорганические элементы в основном сосредоточены в виде кварца, сидерита (FeCO_3) и минералов каолиновой группы.

В качестве примесей имеются в составе пирит (FeS_2), гидрослюда, магнезия (магнезит MgCO_3 , карбонаты кальция (арагонит CaCO_3 и кальцит CaCO_3), полевые шпаты).

Значительно изменяется содержание железа в угле, при этом образуются довольно крупные концентрации соединения железа таких как сидерит и пирит. При сжигании угля на первой стадии все органоминеральные соединения разрушаются и образую

кислородсодержащие соединения, которые вступают в химическое взаимодействие друг с другом и материалом из чего изготовлен котел. Более важные термические изменения происходят с неорганическими соединениями как основных золообразующих элементов, так и микроэлементов.

При исследовании химического состава золы углей, наибольшее содержание оксида кремния и окиси кальция содержащееся в золе Экибастузского угля.

Для этого был изучен состав проб и произведен ситовой анализ пробы № 1-2-3 для гранулометрической характеристики золошлаков, состоящих из частиц определенного размера. Анализ произведен путем просеиванием навески материала через набор сит, различающихся размером ячеек (2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,04 мм).

Для изучения возможности использования золы, собранной на золоотвалах и золошлаконакопителях, был определен элементный состав с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра. Анализ проводился на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре модели Epsilon1 [7]. Пробы золы отбирались как из электрофилтра, так и из золоотвала.

При исследованиях золоотвалы имели серые примеси и взвеси, при использовании образцов золы залитых электрофилтрами. Данный показатель зависит от минерального состава применяемого угля и может изменяться в зависимости от электростанции. Золошлаковые отходы состоят из таких основных компонентов как кремний и оксид алюминия. Состав изученного золошлакового отхода включает в себя среднее содержание оксида алюминия, низкое содержание оксида кальция, а также высокое содержание оксида железа. Химический состав представлен в таблице 1. Данные приведены выборочно из 70 проб и носят среднее значение химического состава золошлаковых отходов.

Согласно результатам анализа объемного распределения частиц золы, представленных на рисунках 1-3, содержание пробы золы Экибастузских ТЭЦ размеры частиц приблизительно сопоставимы. Так же в таблице показаны результаты, где содержание оксида кальция в первом образце в 2 раза выше контрольного образца. Согласно исследованиям при взаимодействии углекислого газа с ЗШО выявлено наличие оксида кальция, который превращается в карбонат кальция. Данные рентгено-фазного анализа, подтверждают наличие высокого содержания карбоната кальция в образце № 1 и указан в таблице 1 и на рисунке 1.

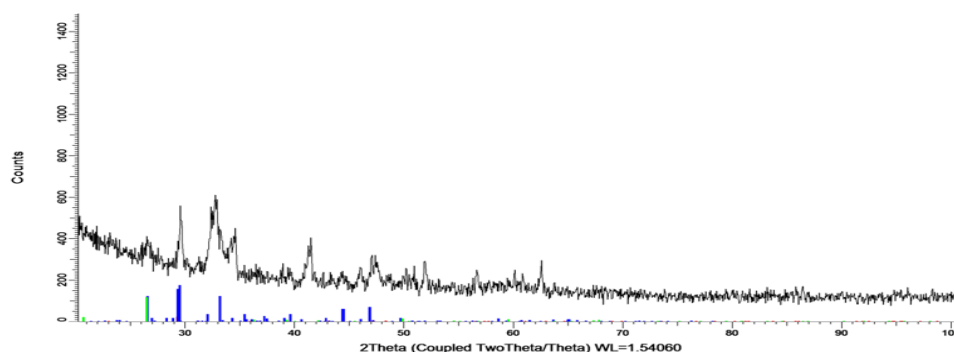


Рисунок 1 – Рентгенофазовый анализ пробы золы

Химический состав ЗШО является главным показателем вязкости материала. Увеличение размера частиц влияет на текучесть материала, что положительно влияет на общие характеристики испытываемых образцов и улучшают качественные показатели как: долговечность, износостойкость и др. Содержание частиц образцов ЗШО, указаны на рисунке 2.

Гранулированные соединения очень важны для определения адсорбционной способности сырья. На рисунке 3 показаны результаты исследования гранулометрического состава сырого вещества. Грануляционный анализ состава показывает, что 60% частиц имеют размеры в пределах 10-70 мкм.

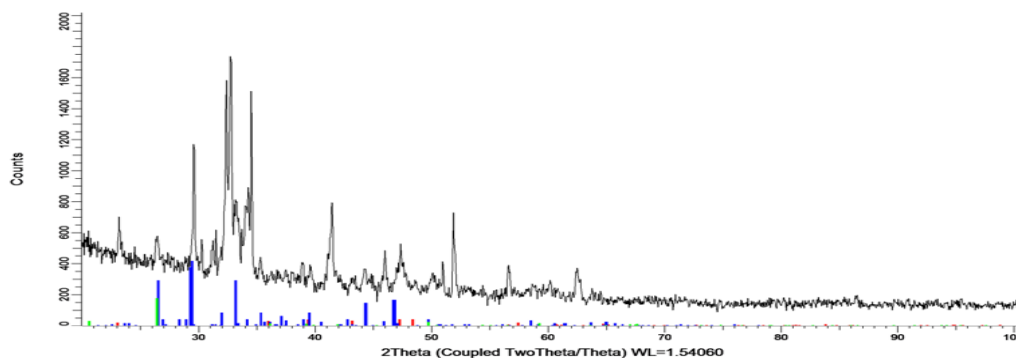


Рисунок 2 – Распределение частиц проб золы по размерам

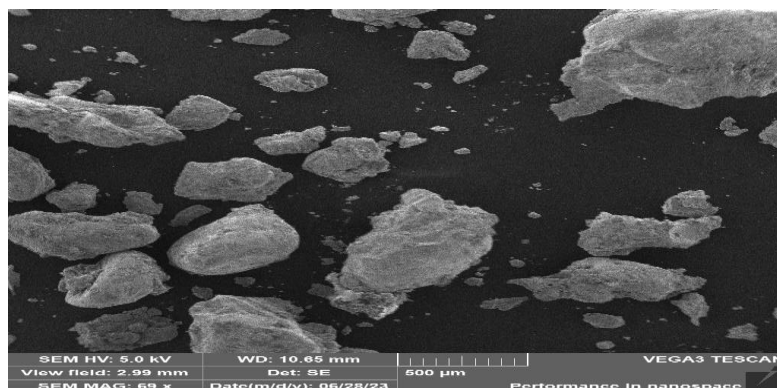


Рисунок 3 – Микрофотографии частиц проб золы

На рисунке 3 представлены частицы образцы золы под микроскопом, в диапазоне увеличения в 500 раз, данный рисунок показывает, что исследуемые образцы очень мелкодисперсны [10]. Данные частицы неистертого шлака были нанесены на углеродную ленту с площадью поверхности 25 мм², также для проводимости сверху было проведено напыление тонкого слоя углерода, при 20 кВ ускоряющего напряжения, время накопления 30 с и 10 мм рабочее расстояние. Элементный состав отдельных частиц определяли с помощью программного обеспечения EDAX Esprit. Эта программа основана на полуколичественном анализе с относительной точностью 5-15% в зависимости от выявленного элемента. Поверхность образца был разделен на шесть полей зрения и рассмотрены в режиме отраженных электронов при увеличении $\times 500$. Для анализа было выбрано несколько отдельных частиц. Минералогический состав золошлаков определяли с помощью дифракции рентгеновских лучей на рентгенофлуоресцентном энергодисперсионном спектрометре модели Epsilon1. Образец был помещен в кювету, а затем на пластиковый держатель для анализа. Полуколичественный минералогический анализ рентгеновских дифрактограмм одного образца был проведен с использованием программного обеспечения Diffrac.Eva.V3.2.

Применение летучей золы как составной части композиций на основе цементов объяснимо с точки зрения равномерного распределения частиц золы в объеме. Гидравлическая активность летучих зол определяется химико-минералогическим и гранулометрическим составами. Летучие золы ТЭЦ имели от 5 до 9,3% свободной извести. Гидравлическая активность зол обусловлена наличием свободной CaO, определяющей высокое значение pH их водных вытяжек (отношение золы к воде 1:10).

Определение прочности на изгиб осуществляется с использованием специальной комбинированной машины (в нашем случае Точприбор) для испытаний образцов из раствора или с использованием специального приспособления, вставляемого в пресс. Испытание на изгиб проводится до разрушения образца на две половинки (рис. 4).

Опоры и верхняя часть при нагружении образцов должны иметь круглую форму диаметром $(10,0 \pm 0,5)$ мм, а расстояние между нижними опорами – $(100 \pm 0,5)$ мм. Длина опорных элементов – от 45 до 50 мм.



Рисунок 4 – Определение прочности на изгиб

Предел прочности образца при изгибе R_f вычисляется по следующей формуле (1):

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b^3}, \quad (1)$$

где:

R_f – предел прочности при изгибе (в МПа);

b – ширина поперечного сечения призмы (в мм);

F_f – максимальная нагрузка, предшествующая моменту разрушения образца (в ньютонах);

l – расстояние между опорными элементами (в мм).

Для каждого установленного срока испытаний изготовили по три образца (одна форма). Образец-призму устанавливали в испытательную машину и нагружали до разрушения при постоянной скорости нарастания нагрузки $(0,05 \pm 0,01)$ МПа/с. Полученные результаты испытаний на изгиб приведены в таблице 2. С увеличением дозировки золы уноса в качестве замены заполнителя прочность на сжатие увеличивается, по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 2 – Результаты испытания на изгиб

№	Образец	Летучая зола %	Срок	Прочность на изгиб (МПа)
1	Контрольный образец (М450)	0	3	2,25
2		0	7	3,56
3		0	28	4,1
4	С добавлением летучей золы	5	3	1,46
5		10	3	1,74
6		15	3	1,82
7		5	7	3,79
8		10	7	4,4
9		15	7	5,7
10		5	28	6,1
11		10	28	6,5
12		15	28	7,2
13		20	3	1,84
14		30	3	2,14
15		40	3	2,42
16		20	7	4,01
17		30	7	5,34
18		40	7	6,29
19		20	28	7,3
20		30	28	8,1
21		40	28	9,6

Определение прочности при сжатии в соответствии с требованиями стандартов предполагает испытание образцов цемента кубической формы (размером 8 на 4 см), выдержанных в воде в заданных условиях (температура и давление) в течение определенного периода времени. После извлечения из охлажденной ванны с водой (при температуре $(27^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C})$) образцы цементного камня сразу же помещают в испытательную

машину (Пресс гидравлический ПГМ-500) для определения прочности при сжатии (рис. 5). Данный прибор представляет собой автоматический гидравлический пресс с цифровым управлением, предназначенный для испытания предела прочности при сжатии стандартных цементных кубиков. Испытание начинается с помещения образца в пресс. Затем, когда запущена программа, пресс, зажмет образец с очень малым усилием. Далее, гидравлическая система автоматически будет нагружать образец с выбранным усилием до разрушения образца. Прочность на сжатие образца считывается с цифрового дисплея датчика по принципу «задержка пикового показания».



Рисунок 5 – Исследование образцов на сжатие

Испытание производили следующим образом. Образцы устанавливают одной из ранее отмеченных граней на нижнюю опорную плиту прессы центрально по оси прессы, пользуясь разметкой, нанесенной на его плите. Подачу масла регулировали таким образом, чтобы нагрузка на образец возрастала непрерывно и равномерно со скоростью 64 кгс/см² в секунду. Образец доводят до полного разрушения. Достигнутое в процессе испытания максимальное усилие принимают за величину разрушающей нагрузки Р, кгс.

Предел прочности образца на сжатие R_c вычисляется по следующей формуле (2):

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2)$$

где:

R_c – предел прочности на сжатие (в мега Паскалях);

F_c – максимальное усилие, предшествующее разрушению образца;

1600 – площадь накладных пластин, (40x40 мм) мм².

Результаты испытаний на сжатие приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытания на прочность при сжатии

№ п/п	Образец	Летучая зола %	Срок	Прочность на сжатие (МПа)
1	Контрольный образец (М450)	0	3	7,8
2		0	7	12,5
3		0	28	18,2
4	С добавлением летучей золы	5	3	5,56
5		10	3	8,5
6		15	3	9,6
7		5	7	12,2
8		10	7	13,1
9		15	7	15,5
10		5	28	19,4
11		10	28	21,5
12		15	28	23,8
13		20	3	13,26
14		30	3	15,16
15		40	3	15,18
16		20	7	23,5
17		30	7	25,6
18		40	7	27,5
19		20	28	30,8
20		30	28	30,5
21		40	28	32,6

Полученные результаты показывают, что все прочностные показатели для бетона с содержанием золы уноса больше, чем для контрольного образца бетона. Наибольшее значение получено для бетона, содержащего 15% золы уноса, так как увеличение прочности составляет 22,11%. Наименьшее значение связано с контрольным образцом не содержащий в себе золу и суперпластификатор. Наилучшие показатели по теплопроводности также показал образец, содержащий 15% золы уноса в сравнении с контрольным образцом, где разница в теплопроводности является 51,47%. На рисунках 4-5 показаны микрофотографии твердевших образцов, где видно, что частицы золы-уноса, содержащие алюминаты, способствует образованию гидросульфоалюминатов кальция и активно адсорбируются на поверхностях частиц.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении термической обработки золы и шлака изменения физико-химических процессов определен дифференциальный термический анализ, который показан на рисунке 4. Данная кривая отражает изменения при термической обработки, что указывает на разрушение физической связки воды в составе с гидрооксидами, где температурный диапазон составляет 180°C.

На рисунке 6 показана кривая изменения ДТА, где отражено экзотермическое воздействие в диапазоне 378°C – 569°C, что является началом горения твердых отходов летучей золы.

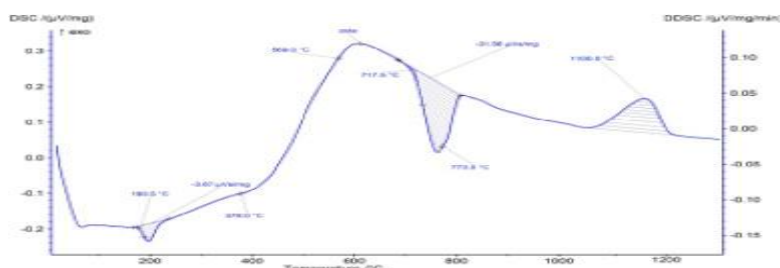


Рисунок 6 – Кривая ДТА пробы золы

При максимальной температуре 1150°C образуется высокое содержание муллита, максимальный эффект содержания доломита достигается при температуре 773°C. Данное исследование показало, что высокое содержание муллита достигается за счет стабильного соединения ионов алюминия и производных кальция, что отражается при нагревании образцов в диапазоне температур 950-1100°C.

Таблица 4 – Влияние температуры спекания на прочность материала

Температура термообработки, °C	Прочность, МПа
950	2
1000	2
1050	7
1100	15

При проведении РФА наличие образования октагидрата оксида натрия, гидрооксидаальбитипер натрия формируется при температуре 950°C, что отражено на рисунке 6 и 7. Данный анализ отражает высокое содержание муллита.

Особенностью золошлака является то, что он относится к первому классу материалов, применяемых в строительстве, где в норме установлено содержание ЗШО не превышающее 176 БК/кг.

С целью использования ЗШО, следует обратить внимание на требование классификации основных коэффициентов, таких как кислотность, вязкость, текучесть, а также коэффициентов качества.

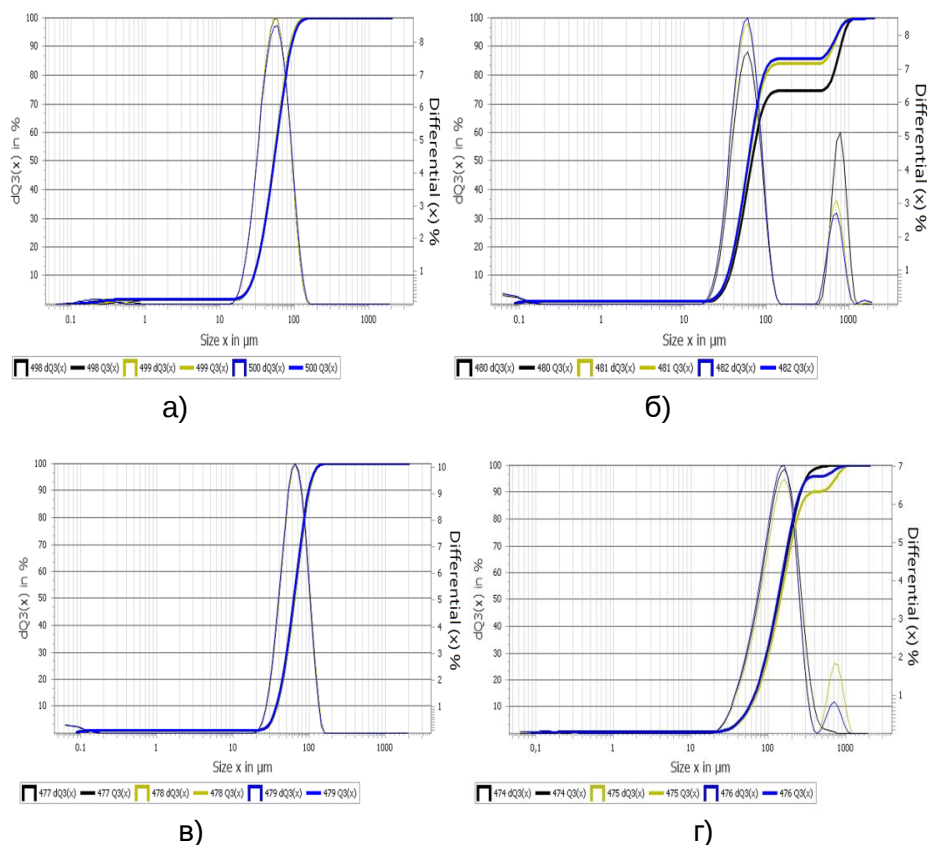


Рисунок 7 – Рентгенофазовый анализ пробы, обожженного при температуре 950°C

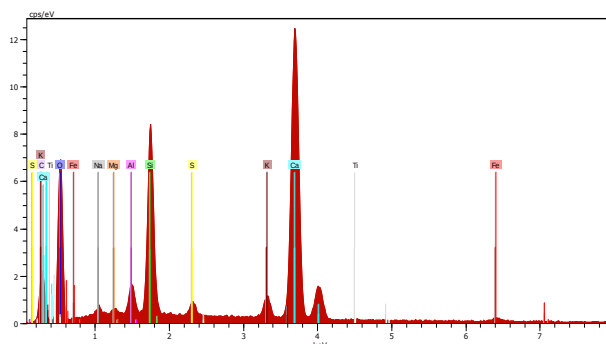


Рисунок 8 – Рентгенофазовый анализ пробы, обожженного при температуре 1100°C

При проведении вышеперечисленных исследований выявлено высокое содержание кислотности в золе и шлаке. Исследования показали, что в изучаемых пробах, отобранных в Экибастузских ТЭЦ, присутствуют минеральные и техногенные частицы. Нестабильный химический состав в исследуемых образцах характеризует кислую среду и содержит в себе преобладание оксида кремния над свободным оксидом кальция. Что подразумевает наличие низких показателей вязкости, которые можно улучшить при добавлении ускорителя коагуляции.

Заключение

В ходе исследований осуществлен комплексный анализ золошлаковых отходов, для улучшения экологической обстановки и снижения влияния антропогенного воздействия на окружающую среду. Обоснована образование отходов и их закономерности при термической обработке. Химический анализ золошлаковых остатков показал наличие содержания 56,15% оксида кремния и 21,94% оксида алюминия. Микроскопический анализ гранул выявил, что 65% частиц имеют размер 10-70мкм. Эффективная удельная активность радионуклидов в золе и шлаке, рассчитанная на основе изотопной активности радия (^{227}Ra), тория (^{231}Nd) и

калия (40 К), составляет 176 БК/кг. Результаты исследования качественных показателей ЗШО позволяет использовать золу в качестве вторичного сырья в строительстве. Сегодня многие страны пошли по пути использования в качестве сырья не природных, а техногенных материалов и изготовления из них принципиально новых видов продукции. Результаты проводимых исследований позволяют утверждать, что золошлаковые отходы Экибастузских ТЭЦ содержат весь спектр известных на сегодняшний день микросферических образований, зафиксированных в составе золошлаков. Возможность их применения в перечисленных областях производства не вызывает сомнения [15, 16]. В Республике Казахстан золошлаковые отходы используются и перерабатываются в неполном объеме, что дает возможность применять данный материал в строительной промышленности. Использование золошлаковых отходов может существенно уменьшить финансовые затраты и негативное последствие выбросов на окружающую среду.

Список литературы

1. Всемирная Ассоциация Угля, <https://www.worldcoal.org>
2. Maria Seidler and Ken Malloy: A COMPREHENSIVE SURVEY OF COAL ASH LAW AND COMMERCIALIZATION: National Association of Regulatory Utility Commissioners | January 2020
3. Audit Report, DOE-OIG-19-08, U.S. DOE (Nov. 2018), https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/11/f58/DOE-OIG-19-08_0.pdf
4. Gupta, T., Miller A., and Mohan, Y, Current Perspective, Challenges and Opportunities for Fly Ash Utilizations and Pond Reclamation in Australian Scenario, Submission made to the Senate Standing Committee on Environment and Communications inquiry into Rehabilitation of Mining and Resources Projects as it relates to Commonwealth Responsibilities, Submission 74.2, 28 June 2018; Winn, Paul, Lynch, Joanna, and Woods, Georgina, Out of the Ashes: Water Pollution and Lake Macquarie's ageing coal-fired power stations, Hunter Community Environment Centre, 2019, 63 p.
5. Hazardous and Solid Waste Management System; Identification and Listing of Special Wastes; Disposal of Coal Combustion Residuals From Electric Utilities, Proposed Rule, 40 Code of Federal Regulations § 257, 261, 264, 265, 268, 271, Subparts 302.35, 302.128, 302.138 (June 21, 2010).
6. US EPA, Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, February 2014, available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/ccr_bu_eval.pdf
7. Ash Development Association of Australia, <http://www.adaa.asn.au/resource-utilisation/ccp-utilisation>, accessed 25 June 2019.
8. Исмагулова Г.Е. Проблемы модернизации Казахстанской электроэнергетики / Г.Е. Исмагулова. – 2003.
9. S. Slesinger, Coal Ash: Why it is better recycled than as a waste (Feb. 13, 2014) <https://www.nrdc.org/experts/scott-slesinger/coal-ash-why-it-better-recycled-waste>; US EPA, Methodology for Evaluating Encapsulated Beneficial Uses of Coal Combustion Residuals (2014), <https://www.epa.gov/coalash/methodology-evaluating-encapsulated-beneficial-uses-coal-combustion-residuals>.
10. Resource Recovery Order under Part 9, Clause 93 of the Protection of the Environment Operations (Waste) Regulation 2014 (NSW); Coal Ash Order 2014 (NSW) Part 4: Generator requirements Мальчик А.Г., Литовкин С.В. Изучение золошлаковых отходов для их использования в качестве вторичных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9-1. – Р. 23-27; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7431> (датаобращения: 05.06.2023).
11. Дмитриев И.И. Золошлаковые отходы в составе бетона / И.И. Дмитриев, А.М. Кириллов // Строй Много. – 2017. – № 3(8). URL: <http://stroymnogo.com/science/tech/zoloshlakovye-otkhody-v-sostave-bet/>
12. Волженский А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А.В. Волженский, И.А. Иванов, Ю.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 198 с.
13. Дворкин Л. И. Физико-механические свойства активированных цементно-золевых вяжущих / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин // Технологии бетонов. – 2010. – № 11-12. – С. 35-37.

14. Malhotra V.M. High-Perfor-mance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. / V.M. Malhotra, P.K. Mehta // Supple- mentary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. – Ottawa, Canada, 2005. – 124 p.
15. Энтин З.Б. Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента / З.Б. Энтин, Н.В. Стржалковская // Цемент и его применение. – 2009. – № 2. – Р. 106-111.
16. Кожемяко С.И. / Стратегия повторного возобновления ресурсов из золошлаковых отходов ТЭС генерирующих предприятий входящих в состав «Сибирской Энергетической Ассоциации» / С.И. Кожемяко, Д.В. Бондарь, В.Р. Шевцов // СЭА, Новосибирск, 2009.

References

1. Vsemirnaya Associaciya Ugly a, <https://www.worldcoal.org>. (In Russian).
2. Maria Seidler and Ken Malloy: A COMPREHENSIVE SURVEY OF COAL ASH LAW AND COMMERCIALIZATION: National Association of Regulatory Utility Commissioners | January 2020
3. Audit Report, DOE-OIG-19-08, U.S. DOE (Nov. 2018), https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/11/f58/DOE-OIG-19-08_0.pdf. (In English).
4. Gupta, T., Miller, A., and Mohan, Y, Current Perspective, Challenges and Opportunities for Fly Ash Utilizations and Pond Reclamation in Australian Scenario, Submission made to the Senate Standing Committee on Environment and Communications inquiry into Rehabilitation of Mining and Resources Projects as it relates to Commonwealth Responsibilities, Submission 74.2, 28 June 2018; Winn, Paul, Lynch, Joanna, and Woods, Georgina, Out of the Ashes: Water Pollution and Lake Macquarie's ageing coal-fired power stations, Hunter Community Environment Centre, 2019, 63 p. (In English).
5. Hazardous and Solid Waste Management System; Identification and Listing of Special Wastes; Disposal of Coal Combustion Residuals From Electric Utilities, Proposed Rule, 40 Code of Federal Regulations § 257, 261, 264, 265, 268, 271, Subparts 302 35,128, 35,138 (June 21, 2010). (In English).
6. US EPA, Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, February 2014, available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/ccr_bu_eval.pdf. (In English).
7. Ash Development Association of Australia, <http://www.adaa.asn.au/resource-utilization/ccp-utilisation>, accessed 25 June 2019. (In English).
8. Ismagulova G.E. Problemy modernizacii Kazakhstan skoelektro energetiki. 2003. (In Russian).
9. S. Slesinger, Coal Ash: Why it is better recycled than as a waste (Feb. 13, 2014) <https://www.nrdc.org/experts/scott-slesinger/coal-ash-why-it-better-recycled-waste>; US EPA, Methodology for Evaluating Encapsulated Beneficial Uses of Coal Combustion Residuals (2014), [tps://www.epa.gov/coalash/methodology-evaluating-encapsulated-beneficial-uses-coal-combustion-residuals](https://www.epa.gov/coalash/methodology-evaluating-encapsulated-beneficial-uses-coal-combustion-residuals). (In English).
10. Resource Recovery Order under Part 9, Clause 93 of the Protection of the Environment Operations (Waste) Regulation 2014 (NSW); Coal Ash Order 2014 (NSW) Part 4: Generator requirements Mal'chik A.G., Litovkin S.V. IZUCHENIE ZOLOSHLAKOVY HOTHODOV DLYA SPOL'ZOVANIYA V KACHESTVE VTORICHNYH RESURSOV // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. – 2015. – № 9-1. – P. 23-27; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=7431> (dataobrashcheniya: 05.06.2023). (In English).
11. Dmitriev I.I., Kirillov A.M. Zoloshlakovy othody v sostave betona // StrojMnogo, 2017. – №3 (8). URL: <http://stroymnogo.com/science/tech/zoloshlakovy-otkhody-v-sostave-bet/>. (In Russian).
12. Volzhenskij A. V. Primenenie zol i toplivnyh shlakov v proizvodstve stroitel'nyh materialov / Volzhenskij A.V., Ivanov I. A., Vinogradov YU. N.. – M.: Strojizdat, 1984. – 198 p. (In Russian).
13. Dvorkin L.I. Fiziko-mekhanicheskie svojstva aktivirovannyh cementno-zol'nyh vyazhushchih / Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. // Tekhnologii betonov. – 2010. – № 11-12. – 35-37 p. (In Russian).
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Perfor-mance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. Supple- mentary Cementing Materials for Sustainable Development Inc. – Ottawa, Canada, 2005. – P. 124. (In English).
15. Entin Z.B., Strzhalkovskaya N.V. Eshche raz o zolakh-unosa TES dlya proizvodstva cementa // Cement i ego primeneniye. – 2009. – № 2. – S. 106–111. (In Russian).

16. Kozhemyako S.I., Bondar' D.V., Shevcov V.R. / Strategiya povtornogo vozobnovleniya resursov iz zoloshlakovykh othodov TES generiruyush chihpredp riyativho dyashchih v sostav «Sibirskoy Energeticheskoy Associacii». – SEA, Novosibirsk, 2009. (In Russian).

Информация о финансировании

Данное исследование финансировалось Министерством торговли и интеграции Республики Казахстан (Грант № BR12967699 «Создание нормативной базы, научно-технических основ эффективных композиционных и smart материалов с использованием отходов промышленности»).

С.С. Алдабергенова¹, Ж.Т. Ибраева[†], Р.К. Ниязбекова¹, М.М. Какимов², А.С. Майконов^{1,3}

¹Қазақстан стандарттау және метрология институты,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Мәңгілік Ел д-ы, 11

²С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті,

010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс д-ы, 62

³Қазақстан-Британ техникалық университеті,

050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Төле би к. 59.

e-mail: zhanna.83-01@list.ru

КҮЛ-ҚОЖ ҚАЛДЫҚТАРЫН ҚАЙТА ӨНДЕУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАҢУ

Бұл мақалада Қазақстан Республикасындағы көмір электр станцияларының күл-қож қалдықтарын сақтау және жинақтау саласындағы зерттеулер келтірілген. Қайта өңдеу аспектілері, сондай-ақ күл-қож қалдықтарын кәдеге жарату нұсқалары қарастырылады. Гранулометриялық және химиялық құрамы сипатталған, қышқылдық коэффициенттері (рН) және көмір электр станцияларының қалдықтарының негізділігі анықталған, сондай-ақ материал класы анықталған. Мақалада күл-қож қалдықтарын қолдана отырып композициялық материалдарды өндірудің жаңа технологиясы сипатталған. Композициялық материалдарды өндіру кезінде цемент қоспаларының құрамына күл-қож қалдықтарын қосудың тәуелділігі анықталды. Температураның өзгеруіне байланысты муфельді пештің оңтайлы күйдіру параметрлері орнатылған. Алынған материалдардың физика-механикалық қасиеттері, сондай-ақ жылу өткізгіштік, қысу беріктігі сияқты көрсеткіштер зерттелді. Зерттеу нәтижелері бойынша күл-қож қалдықтарын өңдеудің жаңа әдістері алынды. Қоршаған ортаға антропогендік әсерді азайту үшін қайта өңдеуді қажет ететін күл-қож қалдықтарын кешенді зерттеу жүргізілді. Зерттеулерде негізгі тігістеі белгілер анықталды: қышқыл және негізгі коэффициенттер, силикат коэффициенттері және сапа коэффициенттері, олардың негізгі міндеті термиялық өңдеудің әртүрлі түрлеріндегі қалдықтардың физика-химиялық заңдылықтарын одан әрі зерттеу және өнеркәсіпте күл-қож қалдықтарын одан әрі пайдалану. Бұл қышқыл күлдің тұрақсыз химиялық құрамымен сипатталатынын және тұтқыр қасиеттері жоқ екенін ескереді, бірақ үдеткіштерді қосқанда ол тұтқыр болады, бұл сапа көрсеткіштерін жақсартады.

Түйін сөздер: күл және шлак материалы, химиялық және гранулометриялық құрамы, радионуклидтердің белсенділігі композиттік материалы, созылу беріктігі.

S.S. Aldabergenova¹, Zh.T. Ibrayeva[†], R.K. Niyazbekova¹, M.M. Kakimov², A.S. Maikonov^{1,3}

¹Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Mangilik El str, 11

²Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin,

010000, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis str, 62

³Kazakhstan-British Technical University,

050000, Republic of Kazakhstan, Almaty, st. Tole Bi, 59.

RECYCLING AND USE OF ASH AND SLAG WASTE

This article presents research in the field of storage and accumulation of ash and slag waste from coal-fired power plants in the Republic of Kazakhstan. Aspects of recycling are considered, as well as options for the disposal of ash and slag waste. The granulometric and chemical composition is described, the acidity (Ph) and basicity coefficients of coal-fired power plant waste are determined, and the material class is established. The article describes a new technology for the production of ceramic products using ash and slag waste. The

dependence of the addition of ash and slag waste to the composition of clay mixtures in the production of ceramic products has been determined. The optimal firing parameters of the muffle furnace have been determined depending on the temperature change. The physical and mechanical properties of the obtained materials, as well as such indicators as: thermal conductivity, compressive strength, have been studied. According to the research results, new methods of processing ash and slag waste have been obtained. To reduce the anthropogenic impact on the environment, a comprehensive study of ash and slag waste in need of recycling was conducted. The research revealed signs in the main seam: acid and basic coefficients, silicate coefficients and quality coefficients, the main task of which is to further study the physico-chemical patterns of waste in various types of heat treatment and the further use of ash and slag waste in industry. At the same time, it is taken into account that acidic ash is characterized by an unstable chemical composition and has no astringent properties, however, when accelerators are added, it becomes viscous, which improves quality indicators.

Key words: ash and slag material, chemical and granulometric composition, activity of radionuclides, composite material, tensile strength.

Сведения об авторах

Сауле Салимжановна Алдабергенова – доктор PhD, специалист, Казахстанский институт стандартизации и метрологии»; e-mail: ass_1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6297-7632>.

Жанна Туармановна Ибраева* – магистр технических наук, специалист, Казахстанский институт стандартизации и метрологии; e-mail: zhanna.83-01@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3573-0439>.

Римма Калманбаевна Ниязбекова – д.т.н., научный руководитель; e-mail: rimma.n60@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>.

Мухтарбек Муханович Какимов – к.т.н., доцент кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-12195>.

Аслан Серикович Майконов – специалист, Казахстанский институт стандартизации и метрологии, докторант 3 курса АО «Казахстанско-Британский технический университет»; e-mail: amaykonov@gmail.com.

Авторлар туралы мәліметтер

Сауле Салимжановна Алдабергенова – PhD докторы, Қазақстанстан стандарттау және метрология институты; e-mail: ass_1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6297-7632>.

Жанна Туармановна Ибраева* – техникалық ғылымдарының магистрі, Қазақстанстан стандарттау және метрология институты; e-mail: zhanna.83-01@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3573-0439>.

Римма Калманбаевна Ниязбекова – т.ғ.д., Қазақстанстан стандарттау және метрология институты; e-mail: rimma.n60@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>.

Мухтарбек Муханович Какимов – т.ғ.к., «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының доценті, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-12195>.

Аслан Серікұлы Майконов – Қазақстанстан стандарттау және метрология институты, «Қазақстан-Британ техникалық университеті» АҚ 3 курс докторанты, amaykonov@gmail.com.

Information about the authors

Saule Salimzhanovna Aldabergenova – PhD, Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology; e-mail: specialist, ass_1982@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6297-7632>.

Zhanna Tuarmanovna Ibrayeva* – Master of Technical Sciences, Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology; e-mail: zhanna.83-01@list.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3573-0439>.

Rimma Kalmanbayevna Niyazbekova – Doctor of Technical Sciences, Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology; e-mail: rimma.n60@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>.

Mukhtarbek Mukhanovich Kakimov – candidate of technical sciences, associate professor of the department of Technology of Food and Processing Production, of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: muhtarbek@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1190-12195>.

Aslan Serikovich Maikonov – Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology, 3 year doctoral student at JSC «Kazakhstan-British Technical University», e-mail: amaykonov@gmail.com.

Поступила в редакцию 01.03.2024
Поступила после доработки 02.04.2024
Принята к публикации 03.04.2024