

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

---

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ  
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА  
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 3 (2023)

---

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**  
выходит 1 раз в квартал

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания  
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем  
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,  
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

**Подписной индекс – 76129**

<https://doi.org/10.48081/GZVJ4547>

**Импакт-фактор РИНЦ – 0,189**

---

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);  
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);  
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);  
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

**Члены редакционной коллегии:**

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);  
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);  
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);  
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);  
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

**Зарубежные члены редакционной коллегии:**

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);  
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);  
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);  
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);  
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);  
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);  
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);  
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);  
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);  
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);  
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);  
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);  
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);  
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 53.37.91

<https://doi.org/10.48081/RTBP8301>**\*Н. К. Досмухамедов<sup>1</sup>, Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. А. Аргын<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы.\*e-mail: [nurdos@bk.ru](mailto:nurdos@bk.ru)**ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ:  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПО УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ**

*В работе проведен анализ современных методов переработки золы от сжигания углей и их влияние на окружающую среду. Показано, что с развитием угольной отрасли растет выход золошлаковых отходов, которые занимают большие территории для хранения и их отрицательное влияние на окружающую среду.*

*В работе разработана технологическая схема комплексной переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего продукта с высоким до 50 % содержанием железа, чистого кремнезема с содержанием 99,9 % SiO<sub>2</sub> и металлургического глинозема марки Г-0, пригодного для производства алюминия.*

*Показано, что от переработки 1 т золы по новой технологии дополнительно можно получать товарные продукты с высокой добавленной стоимостью: ~100 кг железосодержащего продукта, ~400 кг чистого SiO<sub>2</sub> и около 265 кг металлургического глинозема (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) марки Г-0.*

*Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли путем полной их утилизации с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью и повысить эффективность ТЭЦ работающих на сжигании угля за счет вовлечения в переработку отходов золы в качестве дополнительного источника сырья.*

*Ключевые слова: золошлаки, переработка, технология, технологические расчеты, алюминий, цветные металлы, РЗЭ, распределение.*

**Введение**

Угольные электростанции ежегодно производят большие объемы золы. 50 % летучей золы, произведенной в США, утилизируются в различных областях хозяйства. Большая часть золы расположена на полигонах и зольных лагунах. Зола содержит опасные микроэлементы (As, В, Cr, Mo, Ni, Se, Sr и V), которые оказывают негативное влияние на окружающую среду из-за потенциального выщелачивания кислотными дождями и грунтовыми водами. Зола – крупнейший вид отхода. Ежегодно в США производится более 100 миллионов тонн. Объемы

ежегодного выхода золы в разрезе развитых стран в млн. т: Индия – 112, Китай – 100, Германия – 40 и Великобритания – 15 [1, 2, 3].

В Российской Федерации действует более 170 тепловых электростанций (ТЭЦ) на угольном топливе, в которых сжигается ежегодно 650 млн. т угля с образованием 300 млн. т золы. Под хранение золошлаковых отходов в России отчуждено более 20 тыс. км<sup>2</sup> земельных участков, на которых находится 1,3–1,5 млрд. т золы [4].

Зола выгодно отличается от обычных месторождений полезных ископаемых, находится на поверхности и не требует больших затрат на добычу. По вещественному составу золу можно рассматривать как самостоятельное комплексное сырье для извлечения целого спектра ценных металлов. Накопленные объемы золы очень значительны, и с каждым годом продолжают расти в геометрической прогрессии.

Результаты технологических опытов процесса 2-х стадийного выщелачивания огарка соляной кислотой показывают, что построение технологии с целью ее оптимизации, в части сокращения расхода соляной кислоты и снижения объема раствора, не является однозначным [5, 6]. При 2-х стадийном выщелачивании, несмотря на двухкратное снижение объема раствора качество растворов, направляемых на дальнейший процесс кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия, оставляет желать лучшего. Алюминий содержащие растворы характеризуются повышенным содержанием примесей, г/л: 69,05 Са; 0,46 Si; 1,81 Fe, что оказывает существенное влияние на извлечение кремнезема и качество получаемых продуктов в дальнейших процессах. Хотя во второй стадии и удается получение кремнезема высокого качества, % масс: Са – 0,02; Al – 0,01; Fe – 0,02, циркуляция получаемого при этом промежуточного раствора состава, г/л: 5,86 Са; 1,86 Si; 1,89 Al; 0,07 Fe, ведет к потерям алюминия и кремния между продуктами. Как следствие, при организации процесса 2-х стадийного выщелачивания огарка не достигается высокого извлечения кремнезема в конечный товарный продукт. Извлечение кремния в товарный продукт составляет 98,1 %, против 99,7 %, соответствующей извлечению кремнезема в условиях одностадийного выщелачивания огарка соляной кислотой с 50-ти процентным ее избытком. Исходя из этого, применение одностадийного выщелачивания огарка представляется более перспективным. В пользу этого свидетельствует и то, что с практической точки зрения применение 2-х стадийного выщелачивания усложняет аппаратурно-технологическую схему общей технологии в целом. Выбор и использование 2-х-стадийной технологии выщелачивания огарка должно осуществляться исходя из конкретных условий и возможности предприятий.

Ввиду отсутствия рациональной технологии переработки золы они не используются, а продолжают накапливаться, занимая большие территории и выводя их из землепользования. Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли республики за счет повышения эффективности ТЭЦ путем вовлечения их в переработку в качестве дополнительного источника сырья с полной их утилизацией и получением товарных продуктов с высокой добавленной

стоимостью. Исключение использования дорогостоящих материалов и реагентов, образования дополнительных твердых и/или жидких отходов, расширение ассортимента товарной продукции снизит издержки производства на ТЭЦ. Значительно уменьшатся объемы накопленной золы, сократятся энерго- и материальные затраты, расходуемые на складирование и хранение золы. Для эффективной глубокой очистки газов от  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$ , получаемых при обжиге золы совместно с  $\text{CaCl}_2$ , можно использовать технологии, описанные в работах [7, 8, 9].

С экономической точки зрения применение новой технологии для комплексной переработки золы обеспечит стабильные условия для селективного извлечения ценных металлов в товарные продукты за счет использования новых технических решений («ноу-хау»). К примеру, по новой технологии при комплексной переработке 1 т золы (при усредненном ее составе) можно получить ~100 кг железосодержащего продукта, ~560 кг чистого  $\text{SiO}_2$  и около 265 кг металлургического глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) марки Г-0.

В настоящей работе приведены результаты технологических результатов по переработке золы ТЭЦ-2 г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/час золы.

Материалы и методы. Расчеты проведены для переработки золошлаковых отходов ТЭЦ-2 г. Алматы состава, % масс: 2,54 Са; 27,16 Si; 14,12 Al; 5,34 Fe; 0,52 Mg; 0,67 Ti; прочие.

Технологические расчеты проведены с использованием специально разработанной программы авторами настоящей работы с учетом оптимальных параметров и режимов каждого отдельно взятого процесса.

Результаты и обсуждение. Принципиальная технологическая схема комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ с получением чистого кремнезема и металлургического глинозема представлена на рис.1.

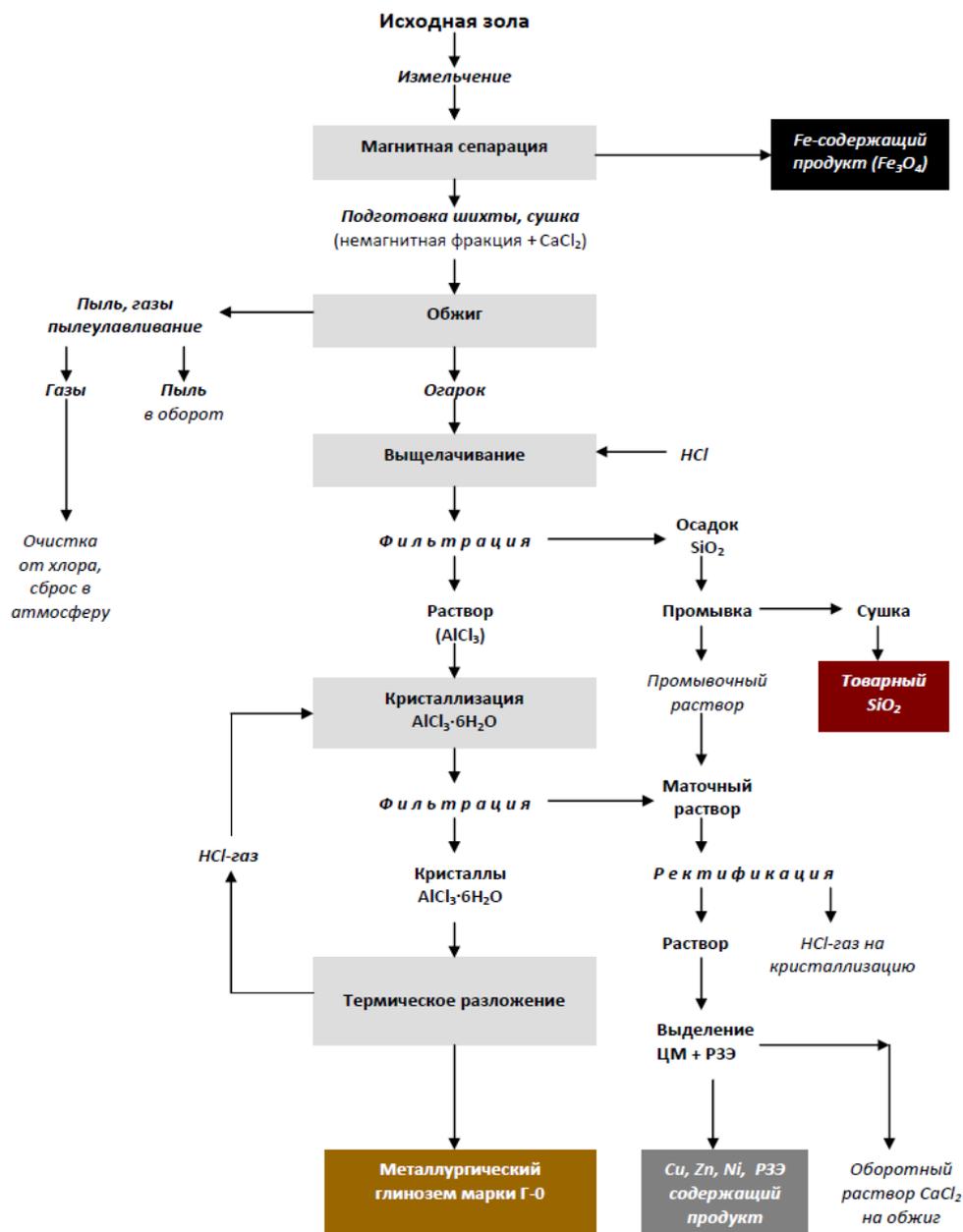


Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема комплексной переработки золошлаковых отходов ТЭЦ с получением товарных продуктов.

По результатам технологических расчетов для переработки золы с удельной производительностью 100 кг/ч золы были установлены оптимальные параметры и режимы каждого отдельно взятого процесса, которые приведены в табл.1.

Таблица 1 – Технологические параметры и режимы процессов

№№\пп	Наименование процесса	Параметры и режимы	Значения
1	Измельчение исходной золы	Крупность	100 меш
2	Магнитная сепарация золы с получением товарного железосодержащего продукта	Выход железосодержащего продукта / содержание железа / извлечение железа в товарный продукт, %	10 / 50 / 80.
3	Обжиг немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция в окислительной атмосфере	Температура Продолжительность Расход CaCl <sub>2</sub>	1100 °C 1 час 2 раза больше стехиометрии для разложения муллита
4	Выщелачивание огарка соляной кислотой с получением товарного кремнезема	Т:Ж Температура Продолжительность Концентрация HCl	1:3 60 °C 1 час 30 %
5	Кристаллизация гексагидрата хлорида алюминия	Температура Расход HCl-газа Концентрация HCl Продолжительность Промывка кристаллов	60 °C 0,5 л/мин 26-30 % 1 час Многоразовая, HCl (30 %)
6	Термическое разложение AlCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	Температура Продолжительность	450-500 °C 1 час
7	Ректификация маточного раствора	Расход NH <sub>4</sub> OH (25 %) Температура Продолжительность	Избыток 1,2 от стехиометрии для разложения хлоридов цветных металлов и РЗЭ 293 К 90 мин.

Магнитная сепарация исходной золы

Количество и состав продуктов магнитной сепарации показан в табл.2.

Таблица 2 – Количество и состав продуктов магнитной сепарации

Продукты	Кол-во, кг	Содержание элементов, % масс.				
		Ca	Si	Al	Fe	ЦМ+РЗЭ*

Магнитная фракция	9,23	0,85	2,63	2,92	47,63	-
Немагнитная фракция	90,77	2,03	29,23	14,56	1,3	0,03
*ЦМ, ppm: 22 Cu, 221 Zn, 55 Ni; P3Э, ppm: 29 Sc, 45 Y.						

Обжиг немагнитной фракции золы

Выход огарка после обжига составляет 154,41 кг. Состав полученного огарка приведен в табл.3.

Таблица 3 – Химический состав огарка

Элементы	кг	%
Ca	41,73	27,03
Si	26,16	16,94
Al	13,85	8,97
Fe	0,94	0,61
Σ (ЦМ+P3Э)	0,05	0,03

Выщелачивание огарка соляной кислотой

В процессе выщелачивания получается чистый кремнезем – 56,11 кг, промывочный раствор в количестве 143,87 кг и раствор, направляемый на процесс кристаллизации, в количестве 410,03 кг.

Химические составы продуктов выщелачивания приведены в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4 – Химический состав кремнезема

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,01
Si	26,16	46,63
Al	0,01	0,01
Fe	0,02	0,04

Таблица 5 – Химический состав промывочного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	1,71	1,19	4,25
Si	-	-	-
Al	01	0,07	2,31
Fe	0,01	0,01	0,01
Σ (ЦМ+P3Э)	0,01	0,004	0,0001

Таблица 6 – Химический состав раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	40,01	9,76	68,0
Al	13,74	3,35	35,37
Fe	0,92	0,22	0,5
Σ (ЦМ+РЗЭ)	0,04	0,01	0,002

**Кристаллизация гексагидрата хлорида алюминия (ГХА)**

В процессе кристаллизации выход ГХА составляет 97,44 кг. Выход маточного раствора – 312,69 кг. Химические составы продуктов показаны в таблицах 7, 8.

Таблица 7 – Химический состав ГХА

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,01
Al	13,7	14,06
Fe	0,003	0,003

Таблица 8 – Химический состав маточного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	40,0	12,79	57,18
Si	-	-	-
Al	0,05	0,02	0,69
Fe	0,92	0,29	0,38
Σ (ЦМ+РЗЭ)	0,04	0,01	0,23

**Термическое разложение ГХА**

Продуктами термического разложения ГХА является металлургический глинозем марки Г-0 – 26,05 кг и раствор, в количестве 234,6 кг, направляемый на ректификацию для выделения цветных металлов и РЗЭ. Химические составы глинозема и раствора показаны в таблицах 9, 10.

Таблица 9 – Химический состав глинозема

Элементы	кг	%
Ca	0,01	0,05
Al	13,7	52,6
Fe	0,003	0,01

Таблица 10 – Химический состав раствора, направляемого на ректификацию

Элементы	кг	%	г/л
Ca	35,2	15,0	190,4
Si	-	-	-
Al	0,14	0,06	2,29

Fe	0,23	0,1	1,28
Σ (ЦМ+РЗЭ)	0,01	0,004	0,3

Ректификация раствора с выделением цветных металлов и РЗЭ

В процессе ректификации выделяется 0,04 кг осадка цветных металлов, содержащих РЗЭ, и оборотный раствор хлорида кальция в количестве 234,64 кг, который направляется в голову технологической схемы – на обжиг золы.

Извлечение цветных металлов, содержащих РЗЭ, составляет 99,9 %.

Химический состав оборотного раствора хлорида кальция приведен в таблице 11.

Сводный материальный баланс комплексной технологии переработки золы с удельной производительностью 100 кг/час представлен в таблице 12.

Таблица 11 – Химический состав оборотного раствора

Элементы	кг	%	г/л
Ca	35,74	14,99	190,4
Al	0,43	0,18	2,29
Fe	0,24	0,1	1,28

Сравнительный анализ полученных результатов с данными балансовых опытов по переработке золы в количестве 2000 г [10] показывают хорошую согласованность между собой, что свидетельствует о высокой эффективности разработанной технологии.

Из табл.12 видно, что при переработке золы с удельной производительностью 100 кг/час получается 9,23 кг товарного железосодержащего продукта с высоким содержанием в нем железа (47,63 %), чистого кремнезема в количестве 56,11 кг с извлечением кремнезема в товарный продукт 96,33 % и 0,04 кг промежуточного продукта, содержащего цветные металлы и РЗЭ.

I – количество, кг; II – содержание, %; III – распределение, %.

Наименование	кг	%	Al			Si			Ca			Fe			(Cu+Zn+Ni)+РЗЭ			
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
<b>Загружено:</b>																		
Зола	100	9,59	14,12	14,12	100	27,16	27,16	100	2,54	2,54	6,09	5,34	5,34	100	0,05	0,05	100	
CaCl <sub>2</sub>	183,63	17,61							39,19	36,13	93,91							
HCl (30 %)	759,01	72,79																
NH <sub>4</sub> OH (25 %)	0,12	0,01																
<b>Всего:</b>	<b>1042,76</b>	<b>100,0</b>	<b>14,12</b>		<b>100</b>	<b>27,16</b>		<b>100</b>	<b>41,73</b>		<b>100</b>	<b>5,34</b>		<b>100</b>	<b>0,05</b>		<b>100</b>	
<b>Получено:</b>																		
Магнитная фракция	8,19	0,79	0,40	4,87	2,82	0,21	2,60	0,78	0,02	0,20	0,04	4,42	54,0	82,82				
Кремнезем	58,87	5,65	0,01	0,01	0,04	16,12	27,38	59,35	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,22				
Глинозем Г-0	26,58	2,55	13,57	51,04	96,09				0,01	0,05	0,03	0,003	0,01	0,05				
ЦМ и РЗЭ продукт	0,04	0,001													0,04	99,9	80,00	
Пыль, газы	301,98	28,96							1,69	0,56	4,05	0,638	0,21	11,95				
Оборотные газы HCl	382,15	36,68																
Оборотный раствор CaCl <sub>2</sub>	264,6	25,37	0,16	0,06	1,12				40,0	15,12	95,86	0,26	0,1	4,96	0,01	0,004	20,00	
<b>Всего:</b>	<b>1042,76</b>	<b>100,0</b>	<b>14,12</b>		<b>100</b>	<b>27,16</b>		<b>100</b>	<b>41,73</b>		<b>100</b>	<b>5,34</b>		<b>100</b>	<b>0,05</b>		<b>100</b>	

Таблица 12 – Сводный материальный баланс технологии комплексной переработки золы ТЭЦ г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/час

**Выводы**

Разработана технологическая схема комплексной переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего продукта с высоким до 50 % содержанием железа, чистого кремнезема с содержанием 99,9 %  $\text{SiO}_2$  и металлургического глинозема марки Г-0, пригодного для производства алюминия.

Показано, что от переработки 1 т золы по новой технологии дополнительно можно получать товарные продукты с высокой добавленной стоимостью: ~100 кг железосодержащего продукта, ~400 кг чистого  $\text{SiO}_2$  и около 265 кг металлургического глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) марки Г-0.

Использование разработанной технологии комплексной переработки золы позволит стимулировать развитие энергетической отрасли путем полной их утилизации с получением товарных продуктов с высокой добавленной стоимостью и повысить эффективность ТЭЦ работающих на сжигании угля за счет вовлечения в переработку отходов золы в качестве дополнительного источника сырья.

На основании результатов по комплексной переработке золы ТЭЦ-2 г. Алматы с удельной производительностью 100 кг/ч выданы данные по выходу продуктов, определены оптимальные параметры и технологические режимы каждого отдельно взятого процесса, составляющих основу общей технологии.

Информация о финансировании. Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан на 2021–2023 годы по приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технологии, безопасные изделия и конструкции» проекта № AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1 **Elliot Roth and other.** Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017. – May 9–11.

2 **Aakash, D., Manish, K. Jain.** Fly ash – waste management and overview: A Review // Recent Research in Science and Technology. – 2014. – Vol. 6(1). – P. 30–35.

3 **Suhas, V. Patil, Suryakant, C. Nawle, Sunil, J. Kulkarni.** Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1659–1663.

4 **Черкасова, Т. Г. и др.** Угольные отходы, как сырье для получения редких и рассеянных элементов // Вестник Кубанского государственного технического университета. – 2016. – № 6. – С.185–189.

5 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Technology of ash and slag waste processing by chloridizing roasting // Metallurgist. – 2022. – Vol. 66. – P. 180–189. DOI 10.1007/s11015-022-01315-0.

6 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A.** Integrated Chlorination Technology For Producing Alumina And Silica From Ash-Slag Waste Of The Tpp Of Kazakhstan // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 23. – P. 1432-1446. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.140>.

7 **Dosmukhamedov, N., Kaplan, V.** Flue gas purification from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1–12.

8 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Egizekov, M. G., Argyn, A. A.** Behavior of the components of carbon-containing ash from the combustion of power coals under the conditions of chlorination roasting // Eurasia Mining. – 2022. – № 2. – P. 40–44.

9 **Жолдасбай, Е. Е., Аргын, А. А., Досмухамедов, Н. К.** Инновационные технологии для утилизации отходов от сжигания угля – ядро устойчивого развития угольной отрасли // Горный журнал Казахстана. – 2023. – № 5. – С. 24–30.

10 **Досмухамедов, Н. К., Жолдасбай, Е. Е.** Балансовые опыты комплексной переработки золы хлорированием с получением металлургического глинозема и кремнезема // Горный журнал Казахстана. – 2022. – № 10. – С. 44–52.

#### REFERENCES

1 **Elliot Roth and other.** Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017, May 9-11.

2 **Aakash, D., Manish, K. Jain.** Fly ash – waste management and overview: A Review // Recent Research in Science and Technology. –2014. – Vol. 6(1). – P. 30-35.

3 **Suhas, V. Patil, Suryakant C. Nawle, Sunil, J. Kulkarni.** Industrial Applications of Fly ash: A Review // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1659–1663.

4 **Cherkasova, T. G. i dr.** Ugol'ny`e otxody`, kak sy`r`e dlya polucheniya redkix i rasseyanny`x e`lementov [Coal waste as a raw material for the production of rare and dispersed elements] // Vestnik Kubanskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2016. – № 6. – P. 185–189.

5 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Technology of ash and slag waste processing by chloridizing roasting // Metallurgist. – 2022. – Vol. 66. – P. 180–189. DOI 10.1007/s11015-022-01315-0.

6 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A.** Integrated Chlorination Technology For Producing Alumina And Silica From Ash-Slag Waste Of The Tpp Of Kazakhstan // Journal of Materials Research and Technology. – 2023. – Vol. 23. – P. 1432–1446. [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.12.140>.

7 **Dosmukhamedov, N., Kaplan, V.** Flue gas purification from SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> using molten mixture of alkali metal carbonates // International Journal of Coal Preparation and Utilization. – 2021. – P. 1–12.

8 **Dosmukhamedov, N. K., Zholdasbay, E. E., Egizekov, M. G., Argyn, A. A.** Behavior of the components of carbon-containing ash from the combustion of power coals under the conditions of chlorination roasting // Eurasia Mining. – 2022. – № 2. – P. 40–44.

9 **Zholdasbay, E. E., Argyn, A. A., Dosmuxamedov, N. K.** Innovacionny`e texnologii dlya utilizacii otxodov ot szhiganiya uglya – yadro ustojchivogo razvitiya ugol`noj otrasli [Innovative technologies for waste disposal from coal burning are the core of the sustainable development of the coal industry]// Gorny`j zhurnal Kazaxstana. – 2023. – № 5. – P. 24–30.

10 **Dosmuxamedov, N. K., Zholdasbay, E. E.** Balansovy`e opy`ty` kompleksnoj pererabotki zoly` xlorirovaniem s polucheniem metallurgicheskogo glinozema i kremnezema [Balance experiments of complex ash processing by chlorination to obtain metallurgical alumina and silica] // Gorny`j zhurnal Kazaxstana. – 2022. – № 10. – P. 44–52.

Материал поступил в редакцию 28.07.23.

**\*Н. К. Досмухамедов<sup>1</sup>, Е. Е. Жолдасбай<sup>2</sup>, А. Ә. Аргын<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Satbayev University, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға түсті 28.07.23.

## **КҮЛДІ КЕШЕНДІ ӨҢДЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ: КҮЛДІ КӘДЕГЕ ЖАРАТУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРІ**

*Жұмыста көмірді жағудан алынған күлді өңдеудің заманауи әдістеріне және олардың қоршаған ортаға әсері бойынша талдау жасалды. Көмір өнеркәсібінің дамуымен күл-қож қалдықтарының өнімділігі өсуде, бұл оларды сақтау үшін алып жатқан үлкен аумақтарды және қоршаған ортаға теріс әсері артып келе жатқаны көрсетілген.*

*Жұмыста тауарлық өнімдерді – құрамында 50 %-ға дейін темірі бар темір құрамды өнімді, құрамында 99,9 % SiO<sub>2</sub> бар таза кремнеземді және алюминий өндіруге жарамды Г-0 маркалы металлургиялық глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ала отырып, күлді кешенді өңдеудің технологиялық схемасы әзірленді.*

*Жаңа технология бойынша 1 тонна күлді өңдеуден қосымша қосылған құны жоғары тауарлық өнімдерді алуға болатындығы көрсетілген: ~ 100 кг темір құрамды өнім, ~400 кг таза SiO<sub>2</sub> және шамамен 265 кг Г-0 маркалы металлургиялық глинозем (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).*

*Күлді кешенді қайта өңдеудің әзірленген технологиясын пайдалану қосылған құны жоғары тауарлық өнімдерді ала отырып, оларды толық кәдеге жарату жолымен энергетика саласын дамытуды ынталандыруға және шикізаттың қосымша көзі ретінде күл қалдықтарын қайта өңдеуге тарту есебінен көмір жағумен жұмыс істейтін ЖЭО тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.*

*Кілтті сөздер: күл-қождар, қайта өңдеу, технология, технологиялық есептеулер, алюминий, түсті металдар, ЖСЭ, бөлініп таралу.*

\*N. K. Dosmukhamedov<sup>1</sup>, E. E. Zholdasbay<sup>2</sup>, A. A. Argyn<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Satbayev University, Kazakhstan, Almaty.

Material received on 28.07.23.

### **TECHNOLOGY OF COMPLEX ASH PROCESSING: TECHNOLOGICAL CALCULATIONS FOR ASH UTILIZATION**

*The paper analyzes modern methods of ash processing from coal burning and their impact on the environment. It is shown that with the development of the coal industry, the output of ash and slag waste is growing, which occupy large areas for storage and their negative impact on the environment.*

*The work has developed a technological scheme for the complex processing of ash to produce commercial products – an iron-containing product with a high iron content of up to 50 %, pure silica with a content of 99.9 %  $\text{SiO}_2$  and metallurgical alumina grade G-0, suitable for the production of aluminum.*

*It is shown that from the processing of 1 ton of ash using the new technology, it is additionally possible to obtain marketable products with high added value: ~100 kg of iron-containing product, ~ 400 kg of pure  $\text{SiO}_2$  and about 265 kg of metallurgical alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) grade G-0.*

*The use of the developed technology of integrated ash processing will stimulate the development of the energy industry by completely recycling them to obtain commodity products with high added value and increase the efficiency of thermal power plants operating on coal combustion by involving ash waste in processing as an additional source of raw materials.*

*Keywords: ash slags, processing, technology, technological calculations, aluminum, non-ferrous metals, REE, distribution.*

Теруге 08.09.23 ж. жіберілді. Басуға 29.09.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 17,61 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4133

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[nitk.tou.edu.kz](http://nitk.tou.edu.kz)