

Код МРНТИ 53.01.91

*Н.К. Досмухамедов, Е.Е. Жолдасбай

Satbayev University, (г. Алматы, Казахстан)

БАЛАНСОВЫЕ ОПЫТЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ ХЛОРИРОВАНИЕМ С ПОЛУЧЕНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ГЛИНОЗЕМА И КРЕМНЕЗЕМА

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы расширения границ теоретических знаний и уточнение результатов лабораторных исследований путем проведения балансовых опытов по комплексной переработке золы. В работе проведены балансовые опыты по комплексной переработке золы, полученной в результате сжигания экибастузского угля. Установлены оптимальные параметры и режимы процесса магнитной сепарации золы, обжига немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция и выщелачивания огарка соляной кислотой. Показана принципиальная возможность осуществления комплексной технологии переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего концентрата и чистого оксида кремния. Положительные результаты балансовых опытов показали хорошую согласованность с данными лабораторных исследований и технологических расчетов, полученных для конкретного примера, что доказывает принципиальную возможность осуществления технологии комплексной переработки золы с получением товарных продуктов высокого качества.

Ключевые слова: зола, магнитная сепарация, обжиг, выщелачивание, алюминий, кремний, железо.

Металлургиялық глинозем және кремнезем алатын күлді хлорлау арқылы кешенді өңдеудің баланстық тәжірибелері

Анатпа. Мақалада күлді кешенді өңдеу бойынша баланстық тәжірибелер жүргізу арқылы теориялық білімнің шекарасын кеңейту және зертханалық зерттеулердің нәтижелерін нақтылау мәселелері қарастырылған. Жұмыста Екібастұз көмірін жағу нәтижесінде алынған күлді кешенді өңдеу бойынша баланстық тәжірибелер жүргізілді. Күлді магниттік бөлу, күлдің магнитті емес фракциясын кальций хлоридімен бірге күйдіру және шлактарды тұз қышқылымен шаймалау процесінің онтайлы параметрлері мен режимдері белгіленді. Құрамында темірі бар концентрат пен таза кремний оксидін өндірумен күлді өңдеудің кешенді технологиясын енгізудің түбегейлі мүмкіндігі көрсетілген. Баланс эксперименттерінің оң нәтижелері нақты мысал бойынша алынған зертханалық зерттеулер мен технологиялық есептеулердің мәліметтерімен жақсы сәйкестігін көрсетті, бұл жоғары сапалы тауарлық өнім алу арқылы күлді кешенді өңдеу технологиясын енгізудің түбегейлі мүмкіндігін дәлелдейді.

Түйінді сөздер: күл, магнитті сепарация, күйдіру, шаймалау, алюминий, кремний, темір.

Balance experiments of complex ash processing by chlorination to obtain metallurgical alumina and silica

Abstract. The article deals with the issues of expanding the boundaries of theoretical knowledge and clarifying the results of laboratory studies by conducting balance experiments on the complex processing of ash. The work carried out balance experiments on the complex processing of ash obtained as a result of the combustion of Ekibastuz coal. The optimal parameters and modes of the process of magnetic separation of ash, roasting of the non-magnetic fraction of ash together with calcium chloride and leaching of the cinder with hydrochloric acid have been established. The fundamental possibility of implementing a complex technology for processing ash with the production of commercial products – iron-containing concentrate and pure silicon oxide - is shown. The positive results of the balance experiments showed good agreement with the data of laboratory studies and technological calculations obtained for a specific example, which proves the fundamental possibility of implementing the technology of complex ash processing with the production of high-quality commercial products.

Key words: ash, magnetic separation, roasting, leaching, aluminum, silicon, iron, calcium chloride, hydrochloric acid, material balance.

Введение

Вопросы ресурсосбережения и разработки новых перспективных технологий, направленные на изыскание новых видов сырья и комплексную их переработку приобретают острый характер и могут стать значительным резервом для производства металлов. Большой интерес в этом плане представляют накопленные техногенные отходы, которые в последние годы становятся объектами пристального исследования для использования их в качестве дополнительного источника сырья. Не являются в этом плане исключением и накопленные в больших объемах золошлаковые отходы, полученные от сжигания угля на ТЭС. Как показывают литературные источники, в разрезе развитых стран сегодня накоплены огромные их объемы: в Индии – 112 млн т, в Китае – 100 млн т, в США – 75 млн т, в Германии – 40 млн т, в Великобритании – 15 млн т [1, 2].

Дисбаланс поставки углеводородного сырья и топлива из России в страны ЕС привел крупные предприятия запада к вынужденному запуску законсервированных ТЭС для покрытия дефицита тепла и электроэнергии для населения. В результате увеличился выход и накопление золошлаковых отходов, что усилило экологическую нагрузку на окружающую среду.

Для Казахстана задача утилизации золы – один из главных приоритетов. Являясь крупным производителем угля, поставщиком тепла и электроэнергии для населения через ТЭС, работающих на сжигании угля, в республике сегодня накопились значительные объемы золошлаковых отходов. Ежегодный выход золошлаковых отходов составляет ~19 млн т. По данным экспертов, количество накопленных отходов уже превышает 300 млн т и продолжает накапливаться [3].

Истощение запасов и качества первичного сырья вынуждает исследователей все больше обращать внимания на использование вторичного сырья, которое по накопленным большим объемам можно рассматривать как значительный резерв для извлечения ценных металлов из них. В научной литературе известно значительное количество работ, посвященных извлечению глинозема из накопленной золы. Авторы [4, 5], в основном, акцентируют внимание на извлечении основных ценных металлов из золы, что, с точки зрения комплексности использования, представляется неэффективным. Как показывают результаты исследований вещественного состава золы, ее можно рассматривать как независимое месторождение нерудных и рудных полезных ископаемых [2, 6, 7].

Химический состав золы зависит от типа сжигаемого угля и может варьировать в широких пределах

Таблица 1

Материальный баланс магнитной сепарации золы

Кесте 1

Күлді магниттік сепарациялаудың материалдық балансы

Table 1

Material balance of magnetic ash separation

Наименование		Загружено		Получено	
		Исходная зола	Магнитная фракция	Немагнитная фракция	Всего:
Г		2000,00	184,55	1815,45	2000,00
%		100,00	9,23	90,77	100,00
Al	I	273,95	5,48	268,47	273,95
	II	13,70	2,97	14,79	
Si	I	554,02	1,6	550,8	554,02
	II	27,70	1,87	30,3	
Ca	I	44,08	0,37	43,7	44,08
	II	2,20	2,20	2,41	
Fe	I	110,03	88,40	21,63	110,03
	II	5,50	47,90	1,19	
Cu	I	0,06		0,06	0,06
	II	0,003		0,003	
Zn	I	0,6		0,6	0,6
	II	0,03		0,033	
Ni	I	0,15		0,15	0,15
	II	0,0075		0,008	
$\Sigma P3Э$	I	0,2		0,2	0,2
	II	0,010		0,011	
O ₂	I	954,20	65,13	889,06	954,20
	II	47,71	35,29	48,97	
Прочие	I	62,71	6,53	56,19	62,71
	II	3,14	3,54	3,15	

I – количество, г; II – содержание, %.

по основным компонентам. Содержание глинозема в казахстанских золах варьирует от 10% до 35%. Важным представляется наличие в них редких и редкоземельных элементов (РЗЭ). При отсутствии разведанных источников РЗЭ извлечение их из золы становится весьма привлекательным.

В ракурсе исследования данного вопроса огромный интерес для практики представляет комплексная, высокоэффективная технология переработки золы с избирательным извлечением кремнезема, оксида алюминия, железа, цветных металлов и РЗЭ в товарные продукты [8]. Теоретические аспекты технологии в части обжига золы совместно с $CaCl_2$ и поведения ее компонентов при обжиге освещены в работах [9, 10].

Цель настоящей работы – расширение границ теоретических знаний и уточнение результатов лабораторных исследований путем проведения балансовых опытов комплексной переработки золы по общей неразрывной схеме «магнитная сепарация – обжиг – выщелачивание», обеспечивающей цельность основных стадий технологии и возможность проведения оценки ее технологических показателей в условиях укрупненных лабораторных испытаний.

Материалы и методы исследования

Испытания проводились поэтапно: вначале отрабатывали процесс магнитной сепарации золы с накоплением немагнитной ее фракции, далее проводили процессы обжига и выщелачивания огарка с получением чистого кремнезема. В качестве исходного материала использована зола ТЭЦ г. Алматы, полученная в результате сжигания экибастузского угля.

Анализ элементного и фазового составов усредненных порошковых проб исходной золы и продуктов ее переработки, полученных при каждой операции, проводили с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Perkin Elmer 5100, рентгеновского дифрактометра Rigaku, Ultima III diffractometer (Rigaku Corporation, USA) и микроскопа высокого разрешения Leo-Supra (Carl Zeiss AG, Germany).

Во время процесса обжига проводился периодический контроль состава газовой фазы с помощью портативного прибора ДАГ-510, позволяющего определять содержание газов в широком диапазоне измерений: CO – 0-40000 ppm, NO – 0-2000 ppm, NO_2 – 0-400 ppm, SO_2 – 0-2000 ppm, и H_2S – 0-400 ppm.

Таблица 2

Материальный баланс обжига немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция
($T = 1100^{\circ}\text{C}$; $\tau = 60$ мин; расход воздуха – $0,025 \text{ м}^3/\text{мин}$)

Кесте 2

Кальций хлоридімен бірге күлдің магниттік емес фракциясын күйдірудің материалдық балансы
($T = 1100^{\circ}\text{C}$; $\tau = 60$ мин; ауа шығыны – $0,025 \text{ м}^3/\text{мин}$)

Table 2

Material balance of firing of non-magnetic ash fraction together with calcium chloride
($T = 1100^{\circ}\text{C}$; $\tau = 60$ min; air consumption – $0,025 \text{ m}^3/\text{min}$)

Наименование	Загружено				Получено		
	Исходная зола	CaCl_2	Воздух	Итого	Огарок	Газы	Итого:
г	1815,45	2163,72	1840,70	5819,86	3509,24	2310,62	5819,86
%	31,19	37,18	31,63	100,00	60,30	39,70	100,00
Al	I	268,47		268,47	268,34	0,13	268,5
	II	14,79			7,65	0,01	
Si	I	535,39		535,39	534,85	0,54	535,39
	II	29,49			15,24	0,03	
Ca	I	43,70	781,42	825,12	824,13	0,99	825,12
	II	2,41	36,11		23,48	0,05	
Fe	I	21,63		21,63	21,61	0,02	21,63
	II	1,19			0,62	0,001	
Cu	I	0,06		0,06	0,06		0,06
	II	0,003			0,002		
Zn	I	0,60		0,60	0,60		0,60
	II	0,033			0,017		
Ni	I	0,15		0,15	0,15		0,15
	II	0,008			0,004		
$\Sigma \text{PЗЭ}$	I	0,20		0,20	0,20		0,20
	II	0,01			0,01		
O_2	I	889,06		386,55	1275,61	817,56	458,05
	II	48,97		21,00		23,30	25,03
Cl			1382,30	1382,30	998,81	383,49	1382,30
			63,89		28,46	21,12	
Прочие	I	56,19		1454,15	1510,34	43,94	1466,40
	II	3,15		79,00		1,25	80,77

I – количество, г; II – содержание, %.

Магнитная сепарация золы проведена с использованием трубчатого магнитного анализатора 25Т-СЭ. За время испытаний переработано 2000 г золы.

Немагнитная фракция, полученная в процессе магнитной сепарации в количестве 1815,45 г, была подвергнута обжигу совместно с хлоридом кальция. Расход CaCl_2 определяли на основании технологических расчетов, исходя из его стехиометрического необходимого количества для полного разрушения муллита до геленита и анортита. Обжиг проводили в оптимальных условиях в окислительной атмосфере, установленных в результате лабораторных исследований ($T = 1100^{\circ}\text{C}$; продолжительность – 60 мин; расход воздуха – $0,025 \text{ м}^3/\text{мин}$).

Обжиг проводили в горизонтальной трубчатой печи RT 50-250/13. Внутренние размеры камеры печи (ширина, глубина, высота): $350 \times 380 \times 740$ мм. Печь

снабжена трубой длиной 360 мм с внешним диаметром 50 мм. Обогреваемая длина трубы – 250 мм. Длина трубы с постоянной температурой $\Delta T = \pm 10^{\circ}\text{C} - 80$ мм.

Огарок, полученный после обжига, взвешивали и подвергали элементному анализу на содержание в нем алюминия, кальция, железа и кремнезема, далее направляли на выщелачивание. Для балансовых опытов использован огарок массой 3509,24 г, полученный после обжига с хлоридом кальция. Выщелачивание проводили в оптимальных условиях процесса, которые были установлены в результате экспериментальных исследований: $T = 60^{\circ}\text{C}$; $T:Ж = 1:3$; продолжительность – 60 мин.

Полученный после выщелачивания осадок кремнезема тщательно промывали водой, высушивали и подвергали элементному анализу на содержание в нем основных металлов-примесей: алюминия, кальция, натрия и железа.

Таблица 3
Количество и состав раствора
Кесте 3
Ерітіндінің мөлшері мен құрамы
Table 3
Quantity and composition of the solution

Элементы	Концентрация элементов	
	г/л	%
Al	18,7	1,9
Si	0,1	0,02
Ca	57,4	5,7
Fe	1,4	0,1
Cu + Zn + Ni, ppm	0,56	0,006
∑РЗЭ, ppm	0,27	0,003
HCl	250,6	25,1
H ₂ O	578,9	57,9
Прочие	69,5	9,27
Всего:	14364,16	100

Результаты балансовых опытов и их обсуждение

Процесс магнитной сепарации золы. Баланс материальных потоков, полученный в процессе магнитной сепарации золы, показан на рис. 1. В результате магнитной сепарации получено ~185 г магнитной фракции, что составило около 10% от массы исходной навески. Выход немагнитной фракции золы составил 1815,45 г. Результаты фазового анализа и минералогических исследований полученной магнитной фракции показали, что железо в нем, в основном, представлено в форме магнетита (до 48%). Присутствие в ней незначительного количества SiO_2 (~2%) и кальция (0,2%) существенного влияния на качество получаемого железного продукта не оказывают. Установленные результаты показали хорошее совпадение с данными, полученными в условиях лабораторных опытов. Минимальные расхождения по выходу и составу магнитной фракции можно отнести на допустимую ($\pm 2\%$) погрешность опытов.

Материальный баланс процесса, рассчитанный на основании выхода продуктов и элементного их состава, показан в табл. 1. Результаты по распределению металлов между полученными продуктами магнитной сепарации золы, представленные на рис. 2, показывают высокое (до 80%) распределение-извлечение железа в магнитную фракцию. На рис. 2 видно, что основное количество металлов концентрируется в немагнитной фракции. Выделение железа из золы обеспечивает рост содержания кремнезема в немагнитной фракции с 27% в исходной золе до ~31%, что благоприятно сказывается на его извлечении в товарный продукт в дальнейших процессах обжига и выщелачивания.

Вывод основного количества железа в начальной стадии технологии значительно улучшает технологические показатели последующих операций и создает благоприятные условия для получения товарных продуктов (оксид кремнезема, оксид алюминия) высокого качества.

Концентрирование цветных и редкоземельных металлов в немагнитной фракции золы обеспечивает возможность их выделения в последующих операциях известными способами.

Полученная в результате магнитной сепарации немагнитная фракция золы в количестве 1815,45 г была подвергнута дальнейшему обжигу в трубчатой печи совместно с хлоридом кальция.

Обжиг немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция. Баланс материальных потоков, полученных в процессе обжига, представлен на рис. 3.

Материальный баланс обжига, рассчитанный по результатам выхода продуктов и их элементного состава, представлен в табл. 2.

В результате обжига получено 3509,24 г огарка, что составляет 60% от общей массы шихты. Фазовый состав огарка полностью подтвердил результаты лабораторных опытов: алюминий в огарке представлен в форме легкорастворимых соединений – геленита (~83 %) и анортита (6%).

Цветные и редкоземельные металлы, а также железо в огарке присутствуют в форме оксидов. Незначительным количеством $FeCl_3$ можно пренебречь.

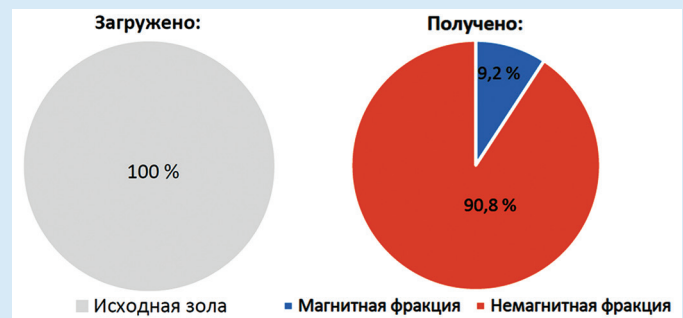


Рис. 1. Выход продуктов в процессе магнитной сепарации золы.

Сурет 1. Күлді магниттік сепарациялау процесінде өнімдердің шығымы.

Figure 1. Yield of products in the process of magnetic separation of ash.

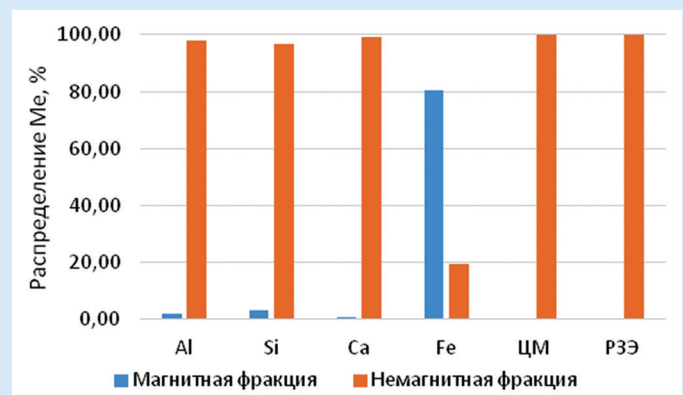


Рис. 2. Распределение металлов между продуктами магнитной сепарации золы.

Сурет 2. Күлді магниттік сепарациялау өнімдері арасында металдардың бөлініп таралуы.

Figure 2. Distribution of metals between the products of magnetic separation of ash.

Состав газов, в основном, представлен парами воды, незначительным количеством сернистого ангидрида и CO_2 .

Выщелачивание огарка соляной кислотой. Условия проведения опытов: концентрация соляной кислоты – 30%; $T = 60^\circ C$; Т:Ж=1:3; продолжительность – 60 мин.

Материальный баланс потоков выщелачивания огарка соляной кислотой показан на рис. 4.

Выход кремнезема в виде товарной продукции составил 7,4%. Результаты фазового и элементного состава полученного осадка показали, что он, в основном, представлен чистым кварцем. Содержание кремнезема – 99,5%. Извлечение кремнезема – 99,7%.

Сравнительный анализ полученных результатов с лабораторными опытами показывает некоторое снижение содержания и извлечения кремнезема по сравнению с лабораторными опытами, которые составили 99,9 и 99,8 %, соответственно [9, 10]. Это вполне может быть объяснено недостаточной промывкой полученного продукта и наличием повышенного содержания железа в исходном огарке. Тем не менее, полученный

кремнезем по качеству и физическим характеристикам соответствует высокой марке: белизна осадка – 92%, удельная поверхность (БЭТ) – $159 \text{ м}^2/\text{г}$, насыщение маслом (льняное масло) $135 \text{ г}/100 \text{ г}$.

Обращает на себя внимание большой объем полученного раствора – 14,41 л. Количество и состав раствора показан в табл. 3. Материальный баланс процесса выщелачивания представлен в табл. 4.

Полученные результаты показывают, что в процессе выщелачивания огарка соляной кислотой практически все металлы, за исключением кремнезема, переходят в полной мере в раствор в виде хлоридов. Это вполне согласуется с результатами термодинамического анализа о высокой вероятности разделения продуктов при выщелачивании и доказывает возможность полного выделения кремнезема в начальной стадии технологии в товарный продукт. Сравнительный анализ результатов балансовых опытов по выходу и составу продуктов всех рассмотренных процессов с данными, рассчитанными с использованием разработанной программы технологических расчетов, показал хорошую их сходимость.

Выводы

Проведены балансовые опыты по комплексной переработке золы ТЭЦ г. Алматы, полученной в результате сжигания Экибастузского угля. Установлены оптимальные параметры и режимы процесса магнитной сепарации золы, обжига немагнитной фракции золы совместно с хлоридом кальция и выщелачивания огарка соляной кислотой:

- для магнитной сепарации – крупность исходной золы 100 меш;
- для обжига – $T = 1100^\circ C$; расход $CaCl_2$ – в 1,1 раза превышающий его расход от стехиометрически необходимого количества для полного разрушения муллита; $\tau = 60$ мин; расход воздуха – $0,025 \text{ м}^3/\text{мин}$;
- для выщелачивания – $T = 60^\circ C$; Т:Ж = 1:3; концентрация HCl – 30%; $\tau = 60$ мин.

В результате проведенных испытаний показана принципиальная возможность осуществления комплексной технологии переработки золы с получением товарных продуктов – железосодержащего концентрата и чистого оксида кремния. Установлено, что осуществление переработки золы по схеме «магнитная сепарация золы – обжиг – выщелачивание огарка» обеспечивает получение железосодержащего товарного продукта с содержанием железа в нем до 50% и чистого оксида кремния с высоким извлечением кремнезема 99,7%. Показано, что полученный продукт по качеству и физическим характеристикам соответствует высокой марке: белизна осадка – 92%, удельная поверхность (БЭТ) – $159 \text{ м}^2/\text{г}$, насыщение маслом (льняное масло) $135 \text{ г}/100 \text{ г}$.

Положительные результаты балансовых опытов показали хорошую согласованность с данными лабораторных исследований и технологических расчетов, полученных для конкретного примера, что доказывает принципиальную возможность осуществления технологии комплексной переработки золы с получением товарных продуктов высокого качества.

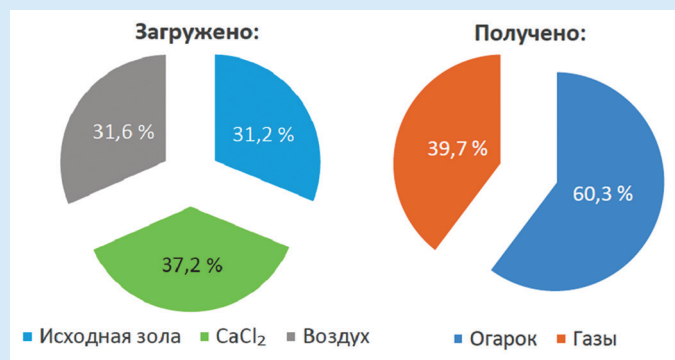


Рис. 3. Баланс материальных потоков процесса обжига.

Сурет 3. Күйдіру процесінің материалдық ағындарының балансы.

Figure 3. Balance of material flows of the firing process.

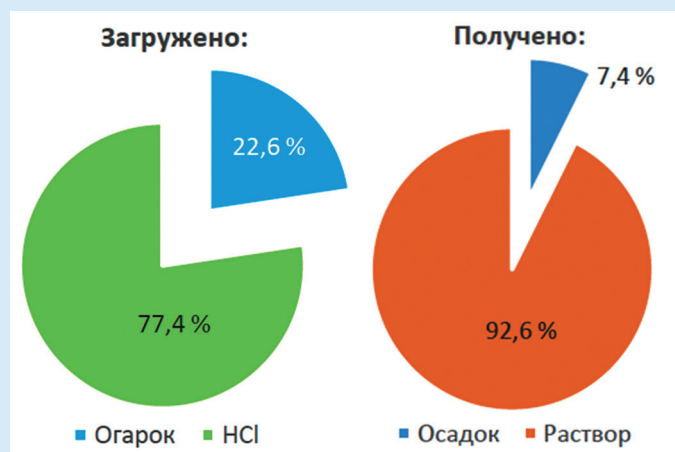


Рис. 4. Материальный баланс потоков процесса выщелачивания.

Сурет 4. Шаймалау процесінің ағындарының материалдық балансы.

Figure 4. Material balance of the leaching process flows.

Таблица 4

Материальный баланс процесса выщелачивания ($T = 60^{\circ}\text{C}$; $T:Ж = 1:3$; концентрация $\text{HCl} - 30\%$; $\tau = 60$ мин)

Кесте 4

Шаймалау процесінің материалдық балансы ($T = 60^{\circ}\text{C}$; $Қ:С = 1:3$; HCl концентрациясы – 30% ; $\tau = 60$ мин)

Table 4

Material balance of the leaching process ($T = 60^{\circ}\text{C}$; $S:L = 1:3$; HCl concentration – 30% ; $\tau = 60$ min)

Наименование	Загружено			Получено			
	Исходный огарок	Соляная кислота	Всего	Осадок	Раствор	Итого:	
г	3509,24	12001,59	15510,83	1146,67	14364,16	15510,83	
%	22,62	77,38	100,00	7,39	92,61	100,00	
Al	I	268,34		268,34	0,13	268,2	268,3
	II	7,6			0,01	1,9	
SiO ₂	I	1146,1		1146,1	1143,8	2,3	1146,1
	II	32,7			99,90	0,02	
Ca	I	824,1		824,1	0,25	823,88	824,1
	II	23,5			0,02	5,7	
Fe	I	21,6		21,6	0,17	21,44	21,6
	II	0,6			0,02	0,1	
Cu	I	0,06		0,06		0,06	0,06
	II	0,003				0,0004	
Zn	I	0,60		0,60		0,60	0,60
	II	0,033				0,004	
Ni	I	0,15		0,15		0,15	0,15
	II	0,008				0,001	
ΣPЗЭ	I	0,20		0,20		0,20	0,20
	II	0,01				0,001	
O ₂	I	206,3		206,3	0,4	205,9	206,3
	II	5,9			0,04	1,4	
HCl	I		3600,5	3600,5		3600,5	3600,5
	II		30,0			25,06	
H ₂ O	I		8401,12	8401,12	84,01	8317,10	8401,12
	II		70,0		7,3	57,9	
Прочие	I	998,8		998,8	0,2	998,6	998,8
	II	28,5			0,0		

I – количество, г; II – содержание, %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Roth E., Macala M., Lin R., Bank T., Thompson R., Howard B., Soong Y., Granite E. Распределение и извлечение редкоземельных элементов из угля и побочных продуктов его переработки. // Конференция «Мир угольной золы». – Лексингтон, 2017. – С. 113 (1-10) (на английском языке)
2. Kolkera A., Scott C., Hower C.J., Vazquez A.J., Lorano L.C., Dai S. Распределение редкоземельных элементов в золе от сжигания угля, определенное с помощью ионного микрозондирования SHRIMP-RG. // Международный журнал геологии угля. – 2017. – Т. 184. – С. 1-10 (на английском языке)
3. Akhmedyanov A.U., Kirgizbaeva K.Zh., Turekhanova G.I. Переработка отходов (золошлаков) промышленных предприятий. // Технические науки. Горное дело. – 2018. – Т. 10. – С. 1-3 (на английском языке)
4. Dwivedi A. and Kumar J.M. Зола-унос – управление отходами и обзор: обзор. // Последние исследования в области науки и техники. – 2014. – №6(1). – С. 30-35 (на английском языке)
5. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Промышленное применение золы-уноса: обзор. // Международный журнал научных, инженерных и технологических исследований. – 2013. – №2(9). – С. 1669-1663 (на английском языке)

6. Черкасова Т.Г., Васильева Е.В., Тихомирова А.В. Бобровникова А.А., Неведров А.В. Угольные отходы, как сырье для получения редких и рассеянных элементов. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №6. – С. 185-189 (на русском языке)
7. Пашкова Г.Л., Сайкова С.В., Кузьмина В.И., Пантелеева М.В., Кокорина А.Н., Линок Е.В. Зола природных углей – нетрадиционный сырьевой источник редких элементов. // Журнал Сибирского федерального университета. Инженерия и технологии. – 2012. – №5. – С. 520-530 (на русском языке)
8. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжигания угля. // Уголь. – 2020. – №1. – С. 58-63 (на русском языке)
9. Досмухамедов Н.К., Даруеш Г.С., Жолдасбай Е.Е. Особенности поведения компонентов золы в условиях хлорирующего обжига. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2020. – №2. – С. 91-98 (на русском языке)
10. Kaplan V., Dostukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Глинозем и диоксид кремния, полученные хлорированием золы-уноса электростанций. // JOM. – 2020. – Т. 72(10). – С. 3348-3357 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Roth E., Macala M., Lin R., Bank T., Thompson R., Howard B., Soong Y., Granite E. Сирек жер элементтерін көмірден және оны өңдеудің жанама өнімдерінен бөліп алу. // «Көмір күлі әлемі» конференциясы. – Лексингтон, 2017. – Б. 113 (1-10) (ағылшын тілінде)
2. Kolkera A., Scott C., Hower C.J., Vazquez A.J., Lopano L.C., Dai S. SHRIMP-RG иондық микрозондтау арқылы анықталған көмірді жағудан күлдегі сирек жер элементтерінің таралуы. // Халықаралық көмір геологиясы журналы. – 2017. – Т. 184. – Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
3. Akhmedyanov A.U., Kirgizbaeva K.Zh., Turekhanova G.I. Өнеркәсіптік кәсіпорындардың қалдықтарын (күл шлактарды) қайта өңдеу // Техникалық ғылымдар. Тау-кен ісі. – 2018. – Т. 10. – Б. 1-3 (ағылшын тілінде)
4. Dwivedi A. and Kumar J.M. Күл ұшқындары – қалдықтарды басқару және шолу: шолу, ғылым мен техникадағы соңғы зерттеулер. – 2014. – №6(1). – Б. 30-35 (ағылшын тілінде)
5. Patil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Күлді тасымалдаудың өнеркәсіптік қолданылуы: шолу. // Халықаралық ғылыми, инженерлік және технологиялық зерттеулер журналы. – 2013. – №2(9). – Б. 1663-1669 (ағылшын тілінде)
6. Черкасова Т.Г., Васильева Е.В., Тихомирова А.В. Бобровникова А.А., Неведров А.В. Көмір қалдықтары, сирек кездесетін және шашыранды элементтерді алу үшін шикізат көзі. // Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің хабаршысы. – 2016. – №6. – Б. 185-189 (орыс тілінде)
7. Пашкова Г.Л., Сайкова С.В., Кузьмина В.И., Пантелеева М.В., Кокорина А.Н., Линок Е.В. Табиғи көмір күлі – сирек кездесетін элементтердің дәстүрлі емес шикізат көзі. // Сібір федералды университетінің журналы. Инженерия және технология. – 2012. – №5. – Б. 520-530 (орыс тілінде)
8. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Көмірді жағудан алынған күлді кешенді өңдеудің инновациялық технологиясы. // Көмір. – 2020. – №1. – Б. 58-63 (орыс тілінде)
9. Досмухамедов Н.К., Даруеш Г.С., Жолдасбай Е. Е. Хлорлы күйдіру жағдайында күл компоненттерінің бөлініп таралу ерекшеліктері. // Халықаралық қолданбалы және іргелі зерттеулер журналы. – 2020. – №2. – Б. 91-98 (орыс тілінде)
10. Kaplan V., Dostukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Глинозем және кремний екітотығын, жылу электр станцияларынан алынған күлді хлорлау арқылы өңдеу. // JOM. – 2020. – Т. 72(10). – Б. 3348-3357 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Roth E., Macala M., Lin R., Bank T., Thompson R., Howard B., Soong Y., Granite E. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. // World of Coal Ash Conference. – Lexington, 2017. – P. 9-11 (in English)
2. Kolkera A., Scott C., Hower C.J., Vazquez A.J., Lopano L.C., Dai S. Distribution of rare earth elements in coal combustion fly ash, determined by SHRIMP-RG ion microprobe. // International Journal of Coal Geology. – 2017. – Vol. 184. – P. 1-10 (in English)

3. Akhmedyanov A.U., Kirgizbaeva K.Zh., Turekhanova G.I. Recycling of waste (ash and slag) of industrial enterprises // *Technical Science. Mining engineering.* – 2018. – Vol. 10. – P. 1-3 (in English)
4. Dwivedi A, and Jain M.K. Fly ash – waste management and overview: a review. // *Recent Research in Science and Technology.* – 2014. – Vol. 6(1). – P. 30-35 (in English)
5. PPatil S.V., Nawle S.C., Kulkarni S.J. Industrial applications of fly ash: a review. // *International Journal of Science, Engineering and Technology Research.* – 2013. – Vol. 2. – Issue 9. – P. 1659-1663 (in English)
6. Cherkasova T.G., Vasilyeva E.V., Tikhomirova A.V., Bobrovnikova A.A., Nevedrov A.V. Ugol'nye otxody, kak syr'e dlya polucheniya redkix i rasseyannyx e'lementov [Coal waste, as a raw material for the production of rare and scattered elements]. // *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University.* – 2016. – №6. – P. 185-189 (in Russian)
7. Pashkova G.L., Saikova S.V., Kuzmina V.I., Panteleeva M.V., Kokorina A.N., Linok E.V. Zoly prirodnyx uglej – netradicionnyj syr'evoj istochnik redkix e'lementov [Natural coal ash – an unconventional raw source of rare elements]. // *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Inzheneriya i texnologii = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies.* – 2012. – №5. – P. 520-530 (in Russian)
8. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Daruesh G.S. Innovacionnaya texnologiya kompleksnoj pererabotki zoly ot szhiganiya uglya [Innovative technology of complex processing of ash from coal combustion]. // *Ugol' = Coal.* – 2020. – №1. – P. 58-63 (in Russian)
9. Dosmukhamedov N.K., Daruesh G.S., Zholdasbai E.E. Osobennosti povedeniya komponentov zoly v usloviyax xloriruyushhego obzhiga [Features of the behavior of ash components in conditions of chlorinating firing]. // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyx i fundamental'nyx issledovanij International Journal of Applied and Fundamental Research.* – 2020. – №2. – P. 91-98 (in Russian)
10. Kaplan V., Dosmukhamedov N., Zholdasbay E., Daruesh G., Argyn A. Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment. // *JOM.* – 2020. – Vol. 72(10). – P. 3348-3357 (in English)

Сведения об авторах:

Досмұхамедов Н.К., канд. техн. наук, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), nurdos@bk.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Жолдасбай Е.Е., PhD, ведущий научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), zhte@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Авторлар туралы мәліметтер:

Досмұхамедов Н.К., техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Жолдасбай Е.Е., PhD, Satbayev University, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының жетекші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Dosmukhamedov N.K., Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Metallurgy and Mineral Processing of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Zholdasbai Ye.Ye., PhD, Leading Researcher at the Department of Metallurgy and Mineral Processing of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки РК на 2021-2023 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геологии, переработки, новых материалов и технологий, безопасных изделий и конструкций» проекта №AP09259637 «Разработка высокоэффективной безотходной технологии для утилизации золы от сжигания угля с получением товарных продуктов».