

Выделение железа в железосодержащий продукт из золы от сжигания Экибастузских углей

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-56-61>

ДОСМУХАМЕДОВ Н.К.

Канд. техн. наук, профессор,
профессор Satbayev University,
050013, г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: nurdos@bk.ru

КАПЛАН В.А.

Канд. техн. наук,
научный консультант
Научного института им. Вейцмана,
7610001, г. Ришон-ле-Цион, Израиль,
e-mail: valery.kaplan@weizmann.ac.il

ЖОЛДАСБАЙ Е.Е.

Магистр техн. наук, докторант
Satbayev University,
050013, г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: zhhte@mail.ru

ДАРУЕШ Г.С.

Магистр техн. наук, докторант
Satbayev University,
050013, г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: gdaruesh@mail.ru

АРГЫН А.А.

Магистр техн. наук, докторант,
Satbayev University,
050013, г. Алматы, Республика Казахстан,
e-mail: aidarargyn@gmail.com

Настоящая работа является расширением границ новой технологии комплексной переработки золы с получением особо чистых оксидов алюминия, кремния с выделением редких и редкоземельных металлов в товарный продукт, пригодный для дальнейшего их извлечения. Согласно разработанной технологии, качество получаемых продуктов во многом определяется наличием в них примесей, в частности, содержанием железа. Эффективным представляется выделение железа в виде железосодержащего товарного продукта в начале технологической схемы, что значительно упрощает технологию, снизит материальные затраты и повысит качество получаемых продуктов. В работе показана принципиальная возможность выделения железа в железосодержащий продукт из золы от сжигания экибастузских углей путем магнитной сепарации. На основании комплексных исследований, включающих изучение вещественного состава

исходной золы и продуктов магнитной сепарации, установлено, что при магнитной сепарации золы получается железосодержащий продукт с высоким (до 50%) содержанием железа. Показано высокое (до 80%) извлечение железа в товарный железосодержащий продукт. На основании результатов элементного, фазового и рационального состава продуктов магнитной сепарации золы рассчитан материальный баланс процесса. Установлен остаточный минимальный предел содержания железа в немагнитной фракции (1,2%). Дальнейшая переработка такого материала позволит значительно улучшить показатели технологии переработки золы и качество получаемых товарных продуктов – оксидов алюминия и кремнезема.

Ключевые слова: зола, железо, магнитная сепарация, железосодержащий продукт, вещественный состав, распределение, извлечение.

Для цитирования: Выделение железа в железосодержащий продукт из золы от сжигания Экибастузских углей / Н.К. Досмухамедов, В.А. Каплан, Е.Е. Жолдасбай и др. // Уголь. 2021. № 1. С. 56-61. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-56-61.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на негативные последствия, имеющие место от сжигания угля, он остается одним из основных источников дешевого топлива. Однако отходы угольных электростанций содержат опасные микроэлементы (As, B, Cr, Mo, Ni, Se, Sr, V и др.), оказывающие существенное отрицательное влияние на окружающую среду из-за потенциального выщелачивания кислотными дождями и грунтовыми водами [1, 2, 3]. Объемы ежегодного выхода золы в развитых странах составляют (млн т): Индия – 112, Китай – 100, США – 75, Германия – 40 и Великобритания – 15 [2].

Под хранение золошлаковых отходов ТЭЦ в России отчуждено более 20 тыс. км² земельных участков, на которых находится 1,3–1,5 млрд т этих техногенных отходов [3].

Особую актуальность проблема накопления и хранения золы представляет для Казахстана, где развитие производства электроэнергии и переработка отходов ТЭС отнесены к одному из главных государственных приоритетов. Общий выход золы от сжигания углей в республике составляет ~19 млн т в год. На сегодняшний день количество золы, накопленной в отвалах, более 300 млн т [4]. В одном только крупном мегаполисе Казахстана – в г. Алматы в результате деятельности ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3 накоплено более 2 млн т

золошлаковых отходов. Только за один отопительный сезон от сжигания угля к накопленным объемам золы добавляется около 600 тыс. т отходов золы. В Южно-Казахстанской области в результате деятельности Кентауской ТЭЦ образован ряд полигонов золоотвалов, которые вывели из землепользования огромные площади и оказывают негативное воздействие на окружающую среду (загрязнение почвы, воздушного бассейна, грунтовых вод).

Понимание того, что по вещественному составу зола представлена в основном оксидами SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , где значительно сконцентрированы редкие и редкоземельные металлы [3, 4, 5, 6, 7], вызывает необходимость изыскания новых подходов и решений для использования их в качестве дополнительного источника сырья, для комплексного извлечения из них ценных металлов. Существующие методы переработки золы [1, 2, 5, 6, 8] позволяют извлекать незначительные количества ценных элементов, содержащихся в золошлаковых отходах. В то же время по вещественному составу угольную золу можно рассматривать как самостоятельное комплексное месторождение рудных и нерудных металлов.

В работе [9] представлены основные положения новой технологии комплексной переработки золы с получением особо чистых оксидов алюминия, кремния с выделением редких и редкоземельных металлов в товарный продукт, пригодный для дальнейшего их извлечения. Согласно разработанной технологии, качество получаемых продуктов во многом определяется наличием в них примесей, в частности, содержанием железа, выделение которого в товарный продукт в виде железного пигмента предусмотрено в конце технологической схемы, после проведения всех основных операций. Естественно, что поведение же-

леза вносит существенный вклад на физико-химические процессы всех начальных стадий, связанных с получением особо чистых оксидов алюминия и кремнезема. С учетом изложенного наиболее эффективным представляется выделение железа в виде железосодержащего товарного продукта в начале технологической схемы, что значительно упростит технологию и снизит материальные затраты. Снижение содержания железа в исходном материале существенно повлияет на качество получаемых в последующем товарных продуктов согласно технологической схеме.

В настоящей работе представлены результаты исследований вещественного состава золы, полученной от сжигания экибастузского угля, и извлечения железа из нее путем магнитной сепарации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Элементный и фазовый состав проводился с использованием анализатора D8 Advance (Bruker), α -Cu, напряжение на трубке – 40 кВ, ток – 40 мА. Обработка полученных данных дифрактограмм и расчет межплоскостных расстояний проводились с помощью программного обеспечения EVA. Расшифровка проб и поиск фаз проводились по программе Search/match с использованием Базы порошковых дифрактометрических данных PDF-2.

С целью уточнения и получения достоверных результатов фазового состава исходной золы и продуктов проведенных опытов дополнительно проведен рентгенодифрактометрический анализ на автоматизированном дифрактометре ДРОН-3 с $Cu_{K\alpha}$ излучением, β -фильтр. Условия съемки дифрактограмм: $U = 35$ кВ; $I = 20$ мА; съемка – θ -2 θ ; детектор – 2 градус/мин. Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе выполнен по дифрактограммам

порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: База порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Для основных фаз проводился расчет содержания примесей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Элементный состав исходной золы представлен в табл. 1.

Дифрактограммы исходной золы и результаты полуколичественного рентгенофазового анализа кристаллических фаз в составе золы представлены на рис. 1 и в табл. 2.

Рациональный состав исходной золы, рассчитанный по результатам рентгенофазового анализа исходной золы, показан в табл. 3.

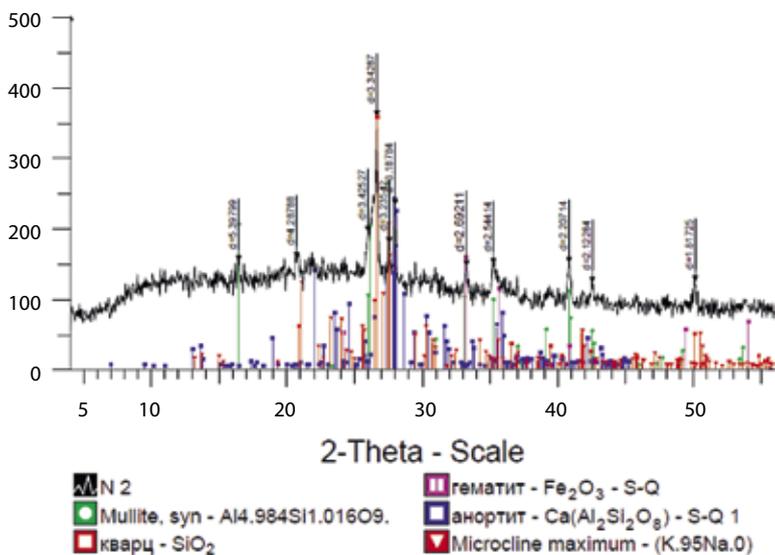


Рис. 1. Штрих-диаграмма пробы золы

Fig. 1. Bar chart of ash sample

Таблица 1

Элементный состав исходной золы

Исходная проба	Содержание, %									
	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe
Зола от сжигания экибастузского угля	47,10	0,56	0,52	14,12	27,15	1,86	2,54	0,67	0,15	5,33

Таблица 2

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа исходной золы

Наименование фаз	Формула	Концентрация, %
Муллит	$Al_{4,984}Si_{1,016}O_{9,508}$	21,79
Кварц	SiO_2	36,56
Гематит	Fe_2O_3	1,55
Анортит ПШ	$Ca(Al_2Si_2O_8)$	15,2
Microcline КПШ	$(K_{,95}Na_{,05})AlSi_3O_8$	18,8
Magnetite	Fe_3O_4	6,1



Рис. 2. Трубчатый магнитный анализатор 25Т-СЭ

Fig. 2. Tubular magnetic analyzer 25T-SE

Таблица 3

Рациональный состав исходной золы

Наименование фаз	Содержание, % масс.							Итого
	Al	Si	Fe	Ca	Na	K	O	
Муллит $Al_{4,984}Si_{1,016}O_{9,508}$	9,12	2	-	-	-	-	10,67	21,79
Кварц SiO_2	-	17,09	-	-	-	-	19,47	36,56
Гематит Fe_2O_3	-	-	1,08	-	-	-	0,47	1,55
Анортит ПШ $Ca(Al_2Si_2O_8)$	2,87	3,09	-	2,2	-	-	7,04	15,2
Microcline КПШ $(K_{,95}Na_{,05})AlSi_3O_8$	1,71	5,52	-	-	0,75	2,43	8,38	18,8
Magnetite Fe_3O_4	-	-	4,42	-	-	-	1,68	6,1
Всего	13,7	27,7	5,50	2,2	0,75	2,43	47,71	100

Результаты элементного состава золы, полученные прямым определением с использованием анализатора D8 Advance (см. табл. 1) и путем расчета рационального состава по данным рентгенофазового анализа (см. табл. 3), показывают хорошую согласованность между собой.

ОПЫТЫ ПО ВЫДЕЛЕНИЮ ЖЕЛЕЗА ИЗ ЗОЛЫ

Как видно из результатов полуколичественного анализа исходной золы (см. табл. 2), содержание магнетита в ней составляет 6%. Для выделения магнитной фракции железа был применен метод магнитной сепарации, широко используемый в металлургии [10, 11]. Магнитную сепарацию золы проводили с использованием трубчатого магнитного анализатора 25Т-СЭ, общий вид которого представлен на рис. 2.

Анализатор 25Т-СЭ состоит из сердечника и обмоток замкнутой электромагнитной системы с конусными полюсными наконечниками, между которыми с помощью электродвигателя и кривошипно-шатунного механизма вращательно-возвратно-поступательно движется стеклянная трубка. Суть проведенных опытов заключалась в следующем. В трубку подают промывочную воду, расход которой регулируется по установленному сливу через шланг удаления продуктов. Уровень воды в трубке поддерживается выше полюсных наконечников. Предварительно измельченную пробу золы в количестве 20 г смачивали в ста-

канчике (общая навеска золы – 500 г), постепенно заливали в трубку через приемное устройство и грушей вымывали из стаканчика. При этом сливной шланг направлялся в емкость для сбора немагнитной фракции. Магнитная фракция при напряженности установленной током электромагнитной системы притягивалась к стенкам трубки у полюсов. Сложное движение трубки способствовало вымыванию немагнитных частиц из магнитных частиц. Опыт продолжали до получения чистой сточной воды в нижней части трубки. По окончании сливной шланг переносили в емкость для сбора магнитной фракции и отключали подачу тока на электромагнитную систему. Подачу воды прекращали после полного смыва магнитной фракции. Воду декантировали. Полученные продукты (магнитная и немагнитная фракции) отстаивались и после сушки взвешивались, и далее подвергались комплексным исследованиям вещественного состава.

Исходная навеска золы составляла 500 г. После магнитной сепарации получено: 46,14 г магнитной фракции в виде железосодержащего продукта и 453,86 г немагнитной фракции.

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ

Элементный состав магнитной фракции представлен в табл. 4.

Дифрактограммы пробы магнитной фракции представлены на рис. 3.

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа магнитной фракции и рационального ее состава представлены в табл. 5, 6.

Таблица 4

Элементный состав магнитной фракции

Исходная проба	Содержание, %										
	O	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Mn	Fe	
Магнитная фракция	32,35	1,41	2,92	10,84	0,09	1,14	0,85	0,36	2,41	47,63	

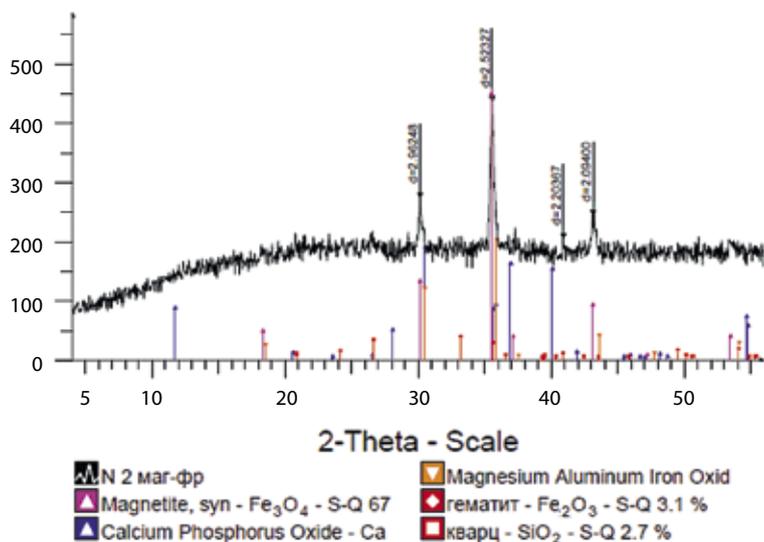


Рис. 3. Дифрактограмма магнитной фракции золы
Fig. 3. XRD diffractogram of magnetic fraction of ash

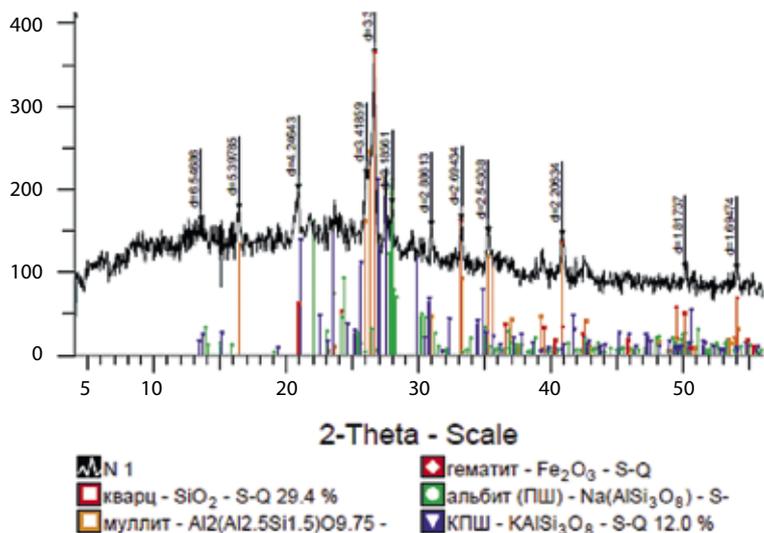


Рис. 4. Дифрактограммы пробы немагнитной фракции
Fig. 4. XRD diffractograms of sample of nonmagnetic fraction

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ НЕМАГНИТНОЙ ФРАКЦИИ

Элементный состав немагнитной фракции представлен в табл. 7.

Дифрактограммы пробы немагнитной фракции представлены на рис. 4.

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа немагнитной фракции представлены в табл. 8

Рациональный состав немагнитной фракции представлен в табл. 9.

На основании полученных результатов рассчитан материальный баланс магнитной сепарации золы, который представлен в табл. 10.

Из полученных результатов исследований установлена принципиальная возможность выделения железа из исходной золы магнитной сепарацией с получением железосодержащего продукта в начальной стадии технологической схемы переработки золы [9].

Таблица 5

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа магнитной фракции

Наименование фаз	Формула	Концентрация, %
Магнетит	Fe ₃ O ₄	67,3
Кальций фосфорный оксид	Ca ₄ P ₂ O	14,1
Магний, алюминий, железный оксид	MgAl _{0,8} Fe _{1,2} O ₄	12,8
Гематит	Fe ₂ O ₃	3,1
Кварц	SiO ₂	2,7

Таблица 6

Рациональный состав магнитной фракции

Соединения	Элементы, %							
	Al	Si	Fe	Ca	P	Mg	O	Итого
Fe ₃ O ₄	-	-	48,7	-	-	-	18,6	67,3
SiO ₂	-	1,26	-	-	-	-	1,44	2,7
Fe ₂ O ₃	-	-	2,17	-	-	-	0,93	3,1
Ca ₄ P ₂ O	-	-	-	9,49	3,67	-	0,95	14,1
MgAl _{0,8} Fe _{1,2} O ₄	1,52	-	4,87	-	-	1,77	4,65	12,8
Всего	1,52	1,26	55,73	9,49	3,67	1,77	26,57	100

Таблица 7

Элементный состав немагнитной фракции

Исходная проба	Содержание, %									
	O	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Fe
Магнитная фракция	49,7	0,68	0,36	14,56	29,23	0,21	1,65	2,03	0,28	1,3

ВЫВОДЫ

На основании комплексных исследований вещественного состава исходной золы, полученной от сжигания экибастузских углей, и продуктов магнитной сепарации установлена возможность разделения магнитной фракции золы с получением товарного железосодержащего продукта с содержанием железа ~50 %.

Предварительное применение магнитной сепарации золы позволяет достичь высокого (до 80%) извлечения железа с минимальным содержанием в нем алюминия (3%) и кремнезема (10%).

Установлено остаточное содержание железа в немагнитной фракции, которое едва превышает 1%. Дальнейшая переработка такого материала позволит значительно улучшить показатели технологии переработки золы [9] и качество получаемых товарных продуктов – оксидов алюминия и кремнезема. Для уточнения выдвинутых положений необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований по обжигу и выщелачиванию полученной немагнитной фракции исходной золы.

Таблица 8

Результаты полуколичественного рентгенофазового анализа немагнитной фракции

Наименование фаз	Формула	Концентрация, %
Кварц	SiO ₂	30,19
Муллит	(Al _{2,5} Si _{1,5})O _{9,75}	21,9
Гематит	Fe ₂ O ₃	1,55
Альбит (ПШ)	Na(AlSi ₃ O ₈)	16,7
КПШ	KAlSi ₃ O ₈	11,9
Анортит	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	17,6
Магнетит	Fe ₃ O ₄	0,16

Таблица 9

Рациональный состав немагнитной фракции

Соединения	Элементы, %							Итого
	Al	Si	Fe	Na	K	Ca	O	
Al ₂ (Al _{2,5} Si _{1,5})O _{9,75}	8,69	2,81	-	-	-	-	10,4	21,9
SiO ₂	-	14,11	-	-	-	-	16,08	30,19
Fe ₂ O ₃	-	-	1,08	-	-	-	0,47	1,55
ПШ Na(AlSi ₃ O ₈)	1,67	5,38	-	1,47	-	-	8,18	16,7
КПШ KAlSi ₃ O ₈	1,12	3,61	-	-	1,68	-	5,49	11,9
Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	3,32	3,58	-	-	-	2,6	8,15	17,6
Fe ₃ O ₄	-	-	0,12	-	-	-	0,04	0,16
Всего	14,8	29,5	1,2	1,5	1,7	2,6	48,8	100

Таблица 10

Материальный баланс магнитной сепарации Экибастузских углей

Наименование	г	%	Al			Si			Ca			Fe			O			Прочие		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Загружено																				
Исходная зола	500	100	68,5	13,7	100	138,5	27,7	100	11	2,2	100	27,5	5,5	100	238,5	47,7	100	15,9	3,19	100
Получено																				
Магнитная фракция	46,14	9,23	1,4	3	2	4,7	10,1	3,4	0,1	0,2	0,8	22,1	47,9	80,3	16,3	35,3	6,8	1,6	3,54	10,2
Немагнитная фракция	453,86	90,77	67,1	14,8	98	133,8	29,5	96,6	10,9	2,4	99,2	5,4	1,2	19,7	222,3	49	93,2	14,3	3,15	89,8
Всего	500	100	68,5	-	100	138,5	-	100	11	-	100	27,5	-	100	238,5	-	100	15,9	-	100

I – количество, г; II – содержание, %; III – распределение, %

Список литературы

1. 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.
2. Dwivedi A., Kumar J.M. Fly ash – waste management and overview: A Review // Recent Research in Science and Technology. 2014. Vol. 6. Issue 1. P. 30-35.
3. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products / E. Roth, M. Macala, R. Lin et al. / World of Coal Ash Conference in Lexington, 2017, May, 9-11.
4. Угольные отходы как сырье для получения редких и рассеянных элементов / Т.Г. Черкасова, Е.В. Черкасова,

- A.В. Тихомирова и др. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6. С. 185-189.
5. Максимова А.М. Извлечение редких и редкоземельных металлов из техногенных объектов как путь к рациональному освоению недр // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. № 8(5). С. 1-11.
6. Gupta S., Singh Pahwa M., Gupta A. Innovative Price Adjustments Technique for Thermal Coal: A Study of operation Function under Changing Techno Environment // Global Journal of Management and Business Research Finance. 2013. Vol. 13. Issue 4. P. 8-15.
7. A comprehensive review on the applications of coal fly ash / Z.T. Yao, X.S. Ji, P.K. Sarker et al. // Earth-Science Reviews. 2015. Vol. 141. P. 105–121.

8. Stoch A. Fly ash from coal combustion – characterization, in Thesis to obtain the Master of Science Degree in Energy Engineering and Management 2015, IST Instituto Superior Técnico Lisbon, Portugal.

9. Досмухамедов Н.К., Каплан В.А., Даруеш Г.С. Инновационная технология комплексной переработки золы от сжи-

гания угля // Уголь. 2020. № 1. С.58-63. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-58-63.

10. Кармазин В.И., Кармазин В.В. Магнитные методы обогащения. М., 2003.

11. Деркач В.Г. Специальные методы обогащения полезных ископаемых. М., 2007.

Original Paper

UDC 546.05:546.264:661.183.3:662.929.7:621.928.8 © N.K. Dosmukhamedov, V.A. Kaplan, E.E. Zholdasbay, G.S. Daruesh, A.A. Argyn, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 1, pp. 56-61
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-56-61>

Title

ISOLATION OF IRON IN IRON-CONTAINING PRODUCT FROM ASH FROM BURNING OF ECIBASTUZ COAL

Authors

Dosmukhamedov N.K.¹, Kaplan V.A.², Zholdasbay E.E.¹, Daruesh G.S.¹, Argyn A.A.¹

¹ Satbayev University, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

² Weizmann Institute of Science, Rehovot, 7610001, Israel

Authors' Information

Dosmukhamedov N.K., PhD (Engineering), Professor, e-mail: nurdos@bk.ru

Kaplan V.A., PhD (Engineering), scientific consultant,

e-mail: valery.kaplan@weizmann.ac.il

Zholdasbay E.E., Master of Engineering Science, doctorate,

e-mail: zhte@mail.ru

Daruesh G.S., Master of Engineering Science, doctorate,

e-mail: gdaruesh@mail.ru

Argyn A.A., Master of Engineering Science, doctorate,

e-mail: aidarargyn@gmail.com

Abstract

This work is an extension of the boundaries of a new technology for the integrated processing of ash to produce highly pure aluminum and silicon oxides with the release of rare and rare-earth metals into a marketable product suitable for their further extraction. According to the developed technology, the quality of the products obtained is largely determined by the presence of impurities in them, in particular, the iron content. It seems efficient to allocate iron in the form of an iron-containing commercial product at the beginning of the technological scheme, which will greatly simplify the technology, reduce material costs and improve the quality of the products obtained.

The paper shows the fundamental possibility of the separation of iron into an iron-containing product from ash from the burning of Ekibastuz coal by magnetic separation. Based on comprehensive studies, including the study of the material composition of the initial ash and magnetic separation products, it was found that magnetic separation of the ash results in an iron-containing product with a high iron content of up to 50%. A high up to 80% recovery of iron in a commercial iron-containing product is shown. Based on the results of the elemental, phase, and rational composition of the magnetic ash separation products, the material balance of the process is calculated. The residual minimum limit of the iron content in the non-magnetic fraction (1.2%) was established. Further processing of such material will significantly improve the technological parameters of the ash processing technology and the quality of the resulting commercial products – aluminum and silica oxides.

Keywords

Ash, Iron, Magnetic separation, Iron-containing product, Material composition, Distribution, Recovery.

References

1. 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, pp. 1659-1663.

2. Dwivedi A. & Kumar J.M. Fly ash – waste management and overview: A Review. *Recent Research in Science and Technology*, 2014, Vol. 6, Issue 1, pp. 30-35.

3. Roth E., Macala M., Lin R. et al. Distributions and Extraction of Rare Earth Elements from Coal and Coal By-Products. *World of Coal Ash Conference in Lexington*, 2017, May, 9-11.

4. Cherkasova T.G., Cherkasova Ye.V., Tikhomirova A.V. et al. Ugol'nyye otkhody kak syr'ye dlya polucheniya redkikh i rasseyannykh elementov [Coal wastes as raw materials for rare and dispersed elements]. *Vestnik KuzGTU*, 2016, No. 6, pp. 185-189. (In Russ.).

5. Maksimova A.M. Izvlecheniye redkikh i redkozemel'nykh metallov iz tekhnogennykh ob'yektov kak put' k ratsional'nomu osvoyeniyu neдр [Extraction of rare and rare-earth metals from technogenic objects as a way to rational development of mineral resources]. *Internet-zhurnal "Naukovedeniye" – Internet journal "Science of Science"*, 2016, No. 8 (5), pp. 1-11. (In Russ.).

6. Gupta S., Singh Pahwa M. & Gupta A. Innovative Price Adjustments Technique for Thermal Coal: A Study of operation Function under Changing Techno Environment. *Global Journal of Management and Business Research Finance*, 2013, Vol. 13, Issue 4, pp. 8-15.

7. Yao Z.T., Ji X.S., Sarker P.K. et al. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*, 2015, Vol. 141, pp. 105–121.

8. Stoch A. Fly ash from coal combustion – characterization, in Thesis to obtain the Master of Science Degree in Energy Engineering and Management 2015, IST Instituto Superior Técnico Lisbon, Portugal.

9. Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A. & Daruesh G.S. Innovacionnaya tehnologiya kompleksnoy pererabotki zoly ot szhiganiya uglya [Innovative technology of integrated processing of ash from coal combustion]. *Ugol' – Russian Coal Journal*, 2020, No. 1, pp. 58-63. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-1-58-63.

10. Karmazin V.I. & Karmazin V.V. *Magnitnye metody obogashheniya* [Magnetic methods of processing]. Moscow, 2003. (In Russ.).

11. Derkach V.G. *Special'nye metody obogashheniya poleznykh iskopaemykh* [Special methods of mineral processing]. Moscow, 2007. (In Russ.).

For citation

Dosmukhamedov N.K., Kaplan V.A., Zholdasbay E.E., Daruesh G.S. & Argyn A.A. Isolation of iron in iron-containing product from ash from burning of Ecibastuz coal. *Ugol'*, 2021, (1), pp. 56-61. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-1-56-61.

Paper info

Received June 17, 2020

Reviewed July 19, 2020

Accepted October 9, 2020

MINERALS RESOURCES