

УДК 67.08; 54.055; 66.022.55; 62-837; 620.16

ВЫДЕЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕГО КОНЦЕНТРАТА ЗОЛЫ УНОСА И ЕГО ОКОМКОВАНИЕ

А.А. Лапин, аспирант КузГТУ

В.А. Локтяев, студент гр. ТЭб-141

Е.В. Барсуков, студент гр. ТЭб-141

Научный руководитель: Е.Ю. Темникова, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

г. Кемерово

В структуру Кузбасского филиала ООО «Сибирская генерирующая компания» (СГК) входит семь генерирующих станций тепловой и электрической энергии, находящихся в Кузбассе (три – в Кемерово, две – в Новокузнецке, одна в Мысках и одна в Белово), шесть из которых работают на каменном угле в виде пылеугольного топлива, а одна («Новокузнецкая» ГТЭС) на природном газе. Еще две станции расположены в Алтайском крае.

Общая (установленная) электрическая мощность Кузбасских станций составляет более 4 ГВт, тепловая мощность – более 5 Ткал/ч. При этом, кроме Новокузнецкой ГТЭС, Кузбасские станции выделяют при сгорании твердого угольного топлива золошлаков около 1,5 млн. т/год. Из них, по данным производственников, 80% составляет зола уноса, образующаяся при сжигании пылевой составляющей топлива, а остальная часть, 20%, относится к удаляемому через установленные летки шлаку в жидким виде и затем в твердом – после стекания в водяную ванну.

Некоторые станции работают по схеме сухого золоулавливания (электрофильтры и батарейные циклоны), например, Кемеровская ГРЭС, которые осуществляют выбросы мелкодисперсных твердых частиц в атмосферу через дымовые трубы в большем количестве, чем при мокрой очистке дымовых газов. Наиболее мелкие частицы (менее 50 мкм) при водной очистке улавливаются с большей эффективностью, чем системой электрофильтров и батарейных циклонов при сухой очистке. Об этом свидетельствуют данные исследования авторов [1], которые показали, что мокрая очистка более эффективна для улавливания таких микронных частиц, чем сухая.

Уловленная зола уноса при сухом и мокром способе очистки представляет интерес для использования в производстве товарных продуктов, востребованных на рынке. Фракционирование золы уноса позволяет получить несколько важных для производства продукции сырьевых компонентов: легкая фракция золы уноса (полые алюмосиликатные микроскопические сферы или ксеносферы), магнитная фракция золы уноса (магнетит) и обезжелезосодержащая

фракция золы уноса (немагнитная фракция). Значительный интерес представляет магнитная фракция, которую можно выделить различными способами: сухое выделение, мокрое и комбинированное. В данной работе использован мокрый способ выделения железосодержащего концентрата на электромагнитном барабанном сепараторе ЭБМ-32/20 [2] из золы уноса с предварительным отделением из нее ксеносфер.

Исследования направлены на получение закономерности влияния силы тока возбуждения, подаваемого на электромагнит в барабане на массовый выход (количество) и долю железосодержащего концентрата.

Железо в магнитном концентрате может представлять собой как элементарное железо Fe, оксид железа (II, III) (Fe_2O_3 и/или Fe_3O_4), сульфат железа $FeSO_4$ и как карбонат железа (II) $FeCO_3$.

Для определения элементного содержания железа в магнетите использовался метод сканирующей электронной микроскопии с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA с энергодисперсионным детектором рентгеновского излучения JED 2300 Центра коллективного пользования ФИЦ УУХ СО РАН. Результаты анализа золы уноса Кемеровской ГРЭС и магнитного концентрата, полученного при сепарации на барабанном электромагните, по элементам и в пересчете на оксиды этих элементов представлены в табл. 1.

Таблица 1
 Элементный состав исходной золы уноса и магнитной фракции
 в результате разделения на электромагнитном сепараторе

Элемент/ оксид	Ток возбуждения I электромагнита барабанного сепаратора, А								
	0	3	5	7	9	11	13	15	
		Содержание элемента/оксида в пробе f, %							
C	36,82	8,90	14,63	11,44	10,96	17,37	13,38	12,68	
O	30,04	36,19	33,45	36,51	37,15	35,87	36,91	37,83	
Na/Na ₂ O	0,56/0,76	0,71/0,96	0,61/0,83	0,77/1,04	0,91/1,23	0,95/1,28	0,93/1,25	1,00/1,35	
Mg/MgO	0,77/1,27	2,07/3,43	1,92/3,18	2,02/3,34	1,85/3,06	1,46/2,43	1,66/2,74	1,61/2,67	
Al/Al ₂ O ₃	7,78/14,69	5,62/10,61	4,79/9,05	6,4/12,09	6,63/12,53	7,04/13,03	7,12/13,46	7,35/13,88	
Si/SiO ₂	16,79/35,92	13,47/28,81	12,02/25,71	15,22/32,55	16,13/34,51	17,36/37,14	16,89/36,14	18,23/39,01	
P/P ₂ O ₅	0,17/0,39	0,24/0,54	0,18/0,41	0,23/0,53	0,25/0,58	0,22/0,52	0,21/0,47	0,24/0,56	
S/SO ₃	0,24/0,61	0,08/0,21	0,08/0,21	0,10/0,26	0,12/0,29	0,15/0,38	0,14/0,36	0,13/0,33	
K/K ₂ O	1,18/1,42	0,78/0,93	0,62/0,75	1,03/1,24	1,12/1,35	1,36/1,64	1,20/1,44	1,38/1,66	

Ca/Ca O	1,72/2,4 1	4,91/6,8 7	4,76/6,6 5	4,97/6,9 5	4,99/6,9 9	5,61/7,8 6	5,00/7,0 0	5,76/8,0 6
Ti/TiO₂	0,43/0,7 1	0,28/0,46 2	0,25/0,4 2	0,33/0,5 5	0,31/0,5 2	0,37/0,6 2	0,34/0,5 7	0,41/0,6 8
Fe/Fe₂O₃	3,50/5,0 0	26,77/3 8,27	26,69/3 8,16	20,99/3 0,02	19,57/2 7,98	12,21/1 7,46	16,22/2 3,18	13,37/1 9,11
Итого, %	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100
Отно- ситель- ное ко- личе- ство выде- лен- ного магне- тива, (кг/кг)· 100, %	0,00	1,02	0,79	3,21	3,76	5,17	5,59	5,52

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показывает, что при минимальном токе возбуждения $I = 3\text{A}$ выход магнетита составляет всего лишь 1% от массы пробы золы уноса, но концентрация магнитной части в пересчете на железо f_{Fe} довольно высокая и равна более 26%. При этом в магнетите содержание углерода (C) снизилось в 4 раза, серы (S) в 3 раза, а титана (Ti) в 1,5 раза относительно исходной золы уноса, тогда как доля щелочноземельных металлов Ca и Mg увеличилась примерно в 2,5-3 раза. Это обстоятельство указывает на неравномерность распределения этих элементов в магнитной и немагнитной фракциях. Уменьшение содержания серы (S) и углерода (C) в железосодержащем концентрате свидетельствует о том, что железо может находиться с большей вероятностью в виде оксида железа (II, III) (Fe_2O_3 и/или Fe_3O_4), но не сульфата железа FeSO_4 и карбоната железа (II) FeCO_3 . Низкое содержание углерода (C) при максимальном содержании железа в магнетите указывает на то, что остаток углерода в основном рассредоточен в частицах золы уноса, не имеющих в составе железа, или имеющих незначительное его количество.

Отметим, что в исходной золе и магнетите, полученном при токах возбуждения электромагнита от 3 до 15A, имеет место незначительные изменения или колебания концентрации таких элементов, как Na, Al, Si, P и K, т.е. наблюдается близкая к постоянству концентрация этих элементов.

С повышением тока возбуждения в электромагните до $I = 15\text{A}$ концентрация железа в магнетите уменьшилась в 2 раза и составила немного больше 13%, но его доля увеличилась до 5%, т.е. в 5 раз. При этом все вышеперечисленные

изменения в концентрациях элементов, выявленных при токе возбуждения $I = 3\text{A}$, значительно сглаживаются, но проявляются в той же тенденции.

Из табл. 1 видно, что наиболее рациональное значение тока возбуждения электромагнита, с целью получения наибольшего количества магнетита при приемлемой и востребованной на рынке для плавки чугуна в нем концентрации железа, является ток в диапазоне $I = 7\text{-}9\text{A}$. При этом доля железа составляет около 20% при выходе концентрата от 3,2 до 3,7%.

Выделенные в процессе исследования железосодержащие фракции при различных токах возбуждения электромагнита объединялись и смешивались. Причем при каждом токе возбуждения выделение магнитной фракции проводили не менее трех опытов, а пробы усреднялись перед проведением анализа, результаты которого сведены в табл. 1. Затем общая проба была подвергнута рассеву. Фракционный состав магнитной фракции, как показал механический рассев железосодержащего концентрата, в основном находится в диапазоне 0-200 мкм, что соответствует 98,5% от массы исследуемой пробы. Наибольшее содержание частиц по массе имеет класс крупности 80-100 мкм и соответствует 32,5% от общей массы пробы. Оставшаяся часть магнетита долей 1,5% имеет класс крупности 0,25-1,6 мм.

В связи с этим, шесть представительных проб, составляющих основную массу выделенного железосодержащего концентрата (98,5%) фракционного состава 0-200 мкм были исследованы по элементному составу методом сканирующей электронной микроскопии с применением сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390 LA. Результаты анализа элементного состава магнетита по фракциям сведены в табл. 2.

Таблица 2
 Пофракционный элементный состав железосодержащего концентрата, полу-
 ченного
 смешением проб при различных токах возбуждения электромагнита сепара-
 тора

Элемент	Класс крупности железосодержащего концентрата, мкм					
	0-50	50-63	63-80	80-100	100-160	160-200
	Содержание элемента в пробе f , %					
C	12,62	15,66	14,76	15,56	12,56	14,91
O	37,34	34,9	36,11	33,78	36,93	36,21
Na	0,92	0,80	0,92	0,70	0,96	0,95
Mg	1,87	1,93	1,76	1,91	1,86	1,68
Al	7,22	6,20	6,74	5,46	6,98	6,86
Si	17,05	14,66	16,36	12,84	16,52	16,59
P	0,30	0,23	0,20	0,18	0,20	0,22
S	0,14	0,10	0,12	0,09	0,09	0,12
K	1,18	0,92	1,15	0,78	1,13	1,20
Ca	5,09	4,79	4,61	4,35	4,82	5,49
Ti	0,36	0,32	0,32	0,25	0,37	0,36
Fe	15,91	19,5	16,96	24,1	17,58	15,41

Итого	100	100	100	100	100	100
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Можно отметить (из табл. 2), что при наибольшей доле железосодержащего компонента в классе крупности 80-100 мкм, остальные элементы присутствуют в меньшем количестве, кроме двух элементов – углерода (С) и магния (Mg), имеющих превышающую концентрацию, чем в других фракциях. При этом содержание углерода во фракции 80-100 мкм намного меньше, чем в исходной золе уноса (см. табл. 1), но в тоже время доля железа в этом классе наибольшее. Можно утверждать, что в этом классе крупности остаточное содержание углерода наибольшее. Закономерен факт большей доли магния (Mg) во фракции с повышенным содержанием железа в магнетите класса 80-100 мкм, так как при всех токах возбуждения электромагнита его доля выше, чем в исходной золе уноса минимум, чем в 2 раза (см. табл. 1).

Из табл. 2, можно сделать вывод, что для получения наиболее концентрированного железосодержащего состава продукта, следует первоначально провести рассев золы уноса, выделив фракцию 80-100 мкм, а затем проводить извлечение магнетита из этого класса крупности.

Данные табл. 2 по содержанию железа в полученном магнетите на электромагнитном сепараторе при различном токе возбуждения электромагнита (смешанном в общую массу), разделенном на фракции, показаны на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что фракционный состав по элементному железу имеет два максимума, из которых наиболее значимым в качестве продукта, является фракция 80-100 мкм, имеющая наибольшую концентрацию железа в выделенном магнетите до 26% от массы пробы.

Окомкование (брикетирование) железосодержащего концентрата производилось по методике, описанной в [3]. Результаты испытаний коксо-пылевых

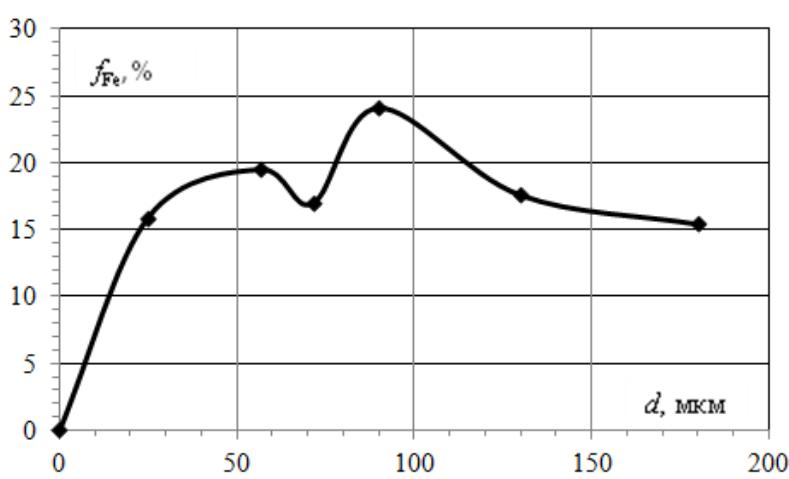


Рис. 1. Содержание элементного железа f_{Fe} в железосодержащем концентрате при его разделении по классу крупности d

брекетов [3] с использованием предложенного авторами неорганического связующего свидетельствуют, что прочность полученных железосодержащих брикетов на разрушение при сжатии будет не менее 28 кг/см².

Выводы

Рациональным значением тока возбуждения электромагнита для достижения наибольшего количества магнетита с максимальной концентрацией железа является ток в диапазоне $I = 7\text{-}9\text{A}$.

Для получения наиболее концентрированного состава железосодержащего продукта, следует первоначально провести рассев золы уноса, выделив фракцию 80-100 мкм, и затем проводить извлечение магнетита из этого класса крупности.

Полученный магнитный концентрат из золы уноса Кемеровской ГРЭС может применяться в производстве ферросилиция, чугуна и стали.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Департамента образования и науки Кемеровской области в рамках научного проекта (договора) № 16-48-420871, «р_a» и соглашения № 2 от 10 октября 2017 г.

Список литературы:

1. Темникова, Е. Ю. Перспективы использования золы уноса тепловых электростанций Кузбасса / Е.Ю. Темникова, А.Р. Богомолов, Н.В. Тиунова, А.А. Лапин // Вестник КузГТУ. – 2017, №1. – С. 90-96.
2. Руководство по эксплуатации электромагнитного сепаратора ЭМБ-32/20 120СЭ-Г.00.000 РЭ ОАО «НПК «Механобр-Техника» Санкт-Петербург 2007 г.
3. Temnikova, E. Yu. The use of fractionated fly ash of thermal power plants as binder for production of briquettes of coke breeze and dust / E.Yu. Temnikova, A.R. Bogomolov and A.A. Lapin // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 891(2017) 012232 doi:10.1088/1742-6596/891/1/012232 . – Article available at <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/891/1/012232/meta>