



УДК 54.03: 549.09: 622.7

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУХОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛЫ УНОСА УГОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ПРИКЛАДНОЙ МИНЕРАЛОГИИ

В.А.АРСЕНТЬЕВ¹, Е.Л.КОТОВА²

¹ Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (ЗАО), Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Экологическая и стратегическая необходимость переработки отходов и терриконов угольных производств России и стран зарубежья приводит к переоценке потенциала использования золы уноса в качестве техногенного минерального сырья. Комплексное изучение вещественного состава золы уноса угольных электростанций позволяет рационально определять пути дальнейшей утилизации сырья на основе грамотного обоснования схемы его технологического передела. Ввиду многочисленных экологических проблем, связанных с методами обогащения и переработки сырья с применением воды, предложена технология сухой очистки золы уноса тепловых угольных электростанций.

Исследования проводили на нескольких образцах золы различных электростанций. На основе предложенных критериев проведена дискриминация составляющих золы уноса, оценены количественный и качественный составы частиц. Исследование вещественного состава образцов золы показало, что содержание в них несгоревшего углерода составляет от 5 до 20 %. Основным технологическим приемом очистки в выполненных исследованиях является комбинация магнитной и электрической сепарации золы, приведенной в состояние вибрационного псевдооживления. Это позволяет существенно повысить производительность и селективность процесса очистки. В результате очистки достигается стабильное получение минеральной фракции, содержащей 0,5-2,5 % углерода, что дает возможность использовать очищенную минеральную фракцию в качестве строительного вяжущего материала.

Ключевые слова: прикладная минералогия золы уноса, качественный и количественный составы золы, рециклинг, вибрационное псевдооживление.

Как цитировать эту статью: Арсентьев В.А. Новая технология сухого обогащения золы уноса угольных электростанций на основе методов прикладной минералогии / В.А.Арсентьев, Е.Л.Котова // Записки Горного института. 2016. Т.220. С.521-525. DOI 10.18454/PMI.2016.4.521

Введение. В мировой практике процесс генерации энергии на тепловых электростанциях происходит в ходе факельного сжигания тонкоизмельченного каменного угля. Однако при переходе от кускового на пылевое факельное сжигание снижается доля образуемого топочного шлака и увеличивается доля золы уноса из топки. Постоянно растущие площади золоотвалов влекут за собой обратимые экологические проблемы, которые влекут за собой существенные изменения природного баланса экосистем.

Основная минеральная фаза золы тепловых электростанций (ТЭС) является перспективным вяжущим веществом для строительной промышленности, однако примеси недожженного угля, которые составляют, в основном, от 3 до 20 % препятствуют ее эффективной утилизации [6, 7, 16]. Для стабильного использования золы в качестве универсального вяжущего средства содержание «недожога» в ней, согласно российским стандартам, не должно превышать 3 % [8].

Использование водных технологий переработки золы уноса ТЭС для выделения недожженного угля приводит к очевидному эффекту гидратации основной неорганической (минеральной) части золы и, следовательно, к потере вяжущих свойств, которые могут быть восстановлены только путем дорогостоящего обжига [10]. Поэтому в рамках данной работы была предпринята попытка создания новой технологической схемы обогащения золы уноса угольных электростанций с применением сухих методов обогащения. Такими методами являются электрическая и магнитная сепарация, использующие существенные отличия в электропроводимости и магнитной восприимчивости угля и ассоциированных с ним магнетит-гематитовых сфер от неорганических минеральных компонентов золы. Особенность предлагаемой технологии состоит в интенсификации процесса электрического и магнитного обогащения, которая обеспечивается за счет использования эффекта вибрационного псевдооживления [1-4].

В состоянии покоя частицы сыпучего материала находятся в постоянном контакте друг с другом, при этом их взаимное положение не меняется [12-14]. Вибрационные воздействия умеренной интенсивности могут создать силы в слое материала, преодолевающие трение покоя между частицами, что приведет к возникновению постоянных взаимных смещений этих частиц. При дальнейшем же увеличении интенсивности вибрации может быть преодолена и сила тяжести, частицы сыпучего материала будут «кроиться» над вибрирующей поверхностью. Иными словами, при вибрационных воздействиях различной интенсивности сыпучие материалы могут переходить в квазиагрегатные состояния «гранулярной жидкости» и «гранулярного газа» [15].

Использование эффекта вибрационного псевдооживления позволяет перейти от сепарации в тонком слое к сепарации в объеме материала, что обеспечивает повышение селективности процесса и производительности более чем в 2 раза [14].

Конечными продуктами технологии рециклинга золы являются сырье для строительной промышленности и энергетическая фракция, направляемая на повторное сжигание [11].

Особенности качественного и количественного составов золы уноса. Вещественный и зерновой составы зол и шлаков, поступающих на золоотвалы, зависят от минерального состава и качества угольного топлива, конструкции топок котлоагрегатов, эксплуатационных условий работы котлоагрегата (паровая нагрузка, равномерность и температура горения топлива в камере сжигания), системы

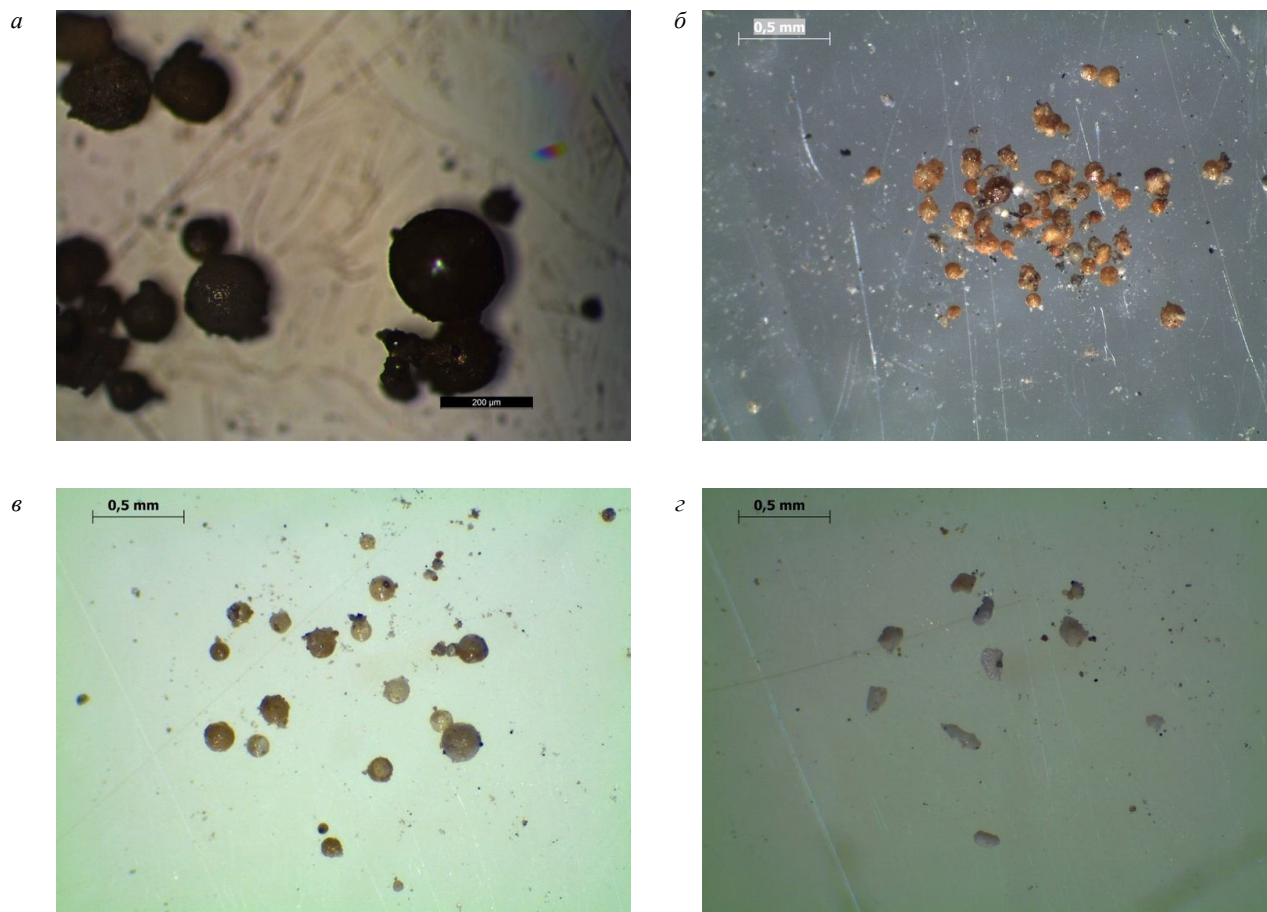


Рис.1. Примеры разделения по качественным критериям частиц золы уноса: *а* – сросток магнетит-гематитовой сферы с угольной частичкой «недожога»; *б* – медово-рыжие сферы; *в* – прозрачные и светло-серые кремнистые сферы; *з* – агломерированные частички кварцевого стекла неправильной формы со стекляннным блеском

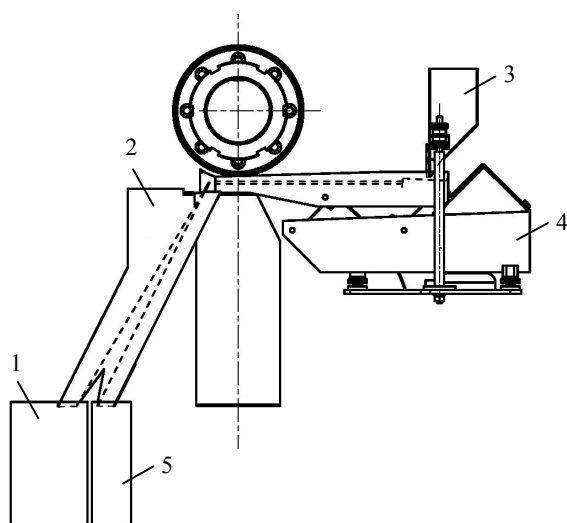


Рис.2. Схема установки для электромагнитной сепарации в виброожиженном состоянии
1, 5 – приемники продуктов; 2 – течка; 3 – бункер;
4 – питатель электровибрационный

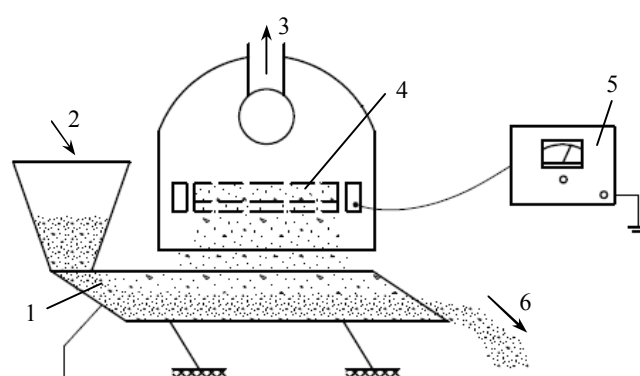


Рис.3. Схема установки для электрической сепарации в виброожиженном состоянии
1 – вибропитатель; 2 – питание; 3 – проводящий продукт;
4 – сетчатый высоковольтный электрод; 5 – высоковольтный источник; 6 – непроводящий продукт

приготовления и подачи угольной пыли для сжигания (тип, эксплуатационное состояние и количество работающих мельниц); устройств, подающих шлак в систему гидрозолоудаления [8, 9].

При сжигании углей в котлах энергоустановок электростанций образуется легкая фракция золы-уноса, состоящая из частиц разной плотности, строения и состава [6]. Объектами изучения стали четыре образца золы уноса тепловых электростанций разных районов РФ.

Образцы представляют собой золу, образующуюся на тепловой электростанции в результате сжигания углей в пылевидном состоянии. Необходимо уточнить, что это определение не распространяется на золу, образующуюся от сжигания горючих сланцев, поставку и применение которой осуществляют по соответствующей нормативно-технической документации.

Для изучения вещественного состава золы получены продукты обогащения двух классов крупности, относящихся к двум этапам обогащения: 0-0,63 и 0,04-0,63 мм. Первый класс (0-0,63 мм) является продуктом обыкновенной ситовой сепарации по крупности, в ходе которой были удалены все частицы крупностью больше 0,63 мм. Второй класс (0,04-0,63 мм) является продуктом еще одного этапа ситовой сепарации по крупности, в ходе которой были удалены все частицы крупностью меньше 0,04 мм, а также двух этапов сухой магнитной сепарации и одного этапа электромагнитной сепарации.

В ходе микроскопических исследований идентифицированы частицы золы по морфологическим и физико-оптическим характеристикам, в результате выявлены следующие типы зольных частиц (рис.1): несгоревшие частицы угля (УЧ), белые микросферы (БС), рыжие сферы (РС), магнетит-гематитовые сферы (МГС), агломерированные частички кварцевого стекла (КС), агломераты сложного состава (СА).

Количественные характеристики состава зол приведены в таблице.

В качестве примера на рис.1 приведены микрофотографии частиц образца золы 1, крупность которых варьирует от 0,005 до 0,1 мм. По качественному составу в общей массе преобладают кварцевые глобулы и агрегаты (около 55 %). В меньших количествах, но примерно в равных пропорциях представлены смешанные кварц-слюдавые («рыжие») и силикат-углистые глобулы (15-20 %), кроме того, встречаются агломераты силикат-углистого состава (примерно 20 %), средний размер варьирует от 0,01 до 0,1 мм.

Разработка технологических решений для сухого обогащения золы уноса ТЭС в псевдоожиженном состоянии. При изучении проб зол уноса были выявлены три существенные минералогические и технологические особенности:

- угольные частицы чаще всего образуют сrostки с магнетит-гематитовыми сферами;
- угольные частицы характеризуются большим размером по сравнению с остальными частицами основной массы;
- основная силикатная масса представлена остеклованными и неостеклованными алюмосиликатами.

С учетом этих особенностей решение проблемы извлечения угольных частиц из сухой золы уноса видится в комбинации сухой классификации по крупности и дальнейшего разделения по магнитным и электрическим свойствам в псевдоожиженном состоянии (рис.2-5).

Исходя из вышесказанного разработана комбинированная технология обогащения сухой золы уноса ТЭС, которая содержит следующие основные элементы: грохочение с удалением шлака

Содержание частиц в различных золах, % по массе

Тип частицы	Образец золы			
	1-й	2-й	3-й	4-й
УЧ	15-20	5-8	10	10-15
БС	40-45	80	60	10
РС	15	8	5-7	10-15
МГС	5-8	2-5	4-6	8-12
КС	10	5	8-10	15
СА	15	2	10	40
Крупные стекловидные продукты	0	0	5	10



Рис.4. Принципиальная технологическая схема сухого обогащения золы уноса ТЭС в псевдоожиженном состоянии

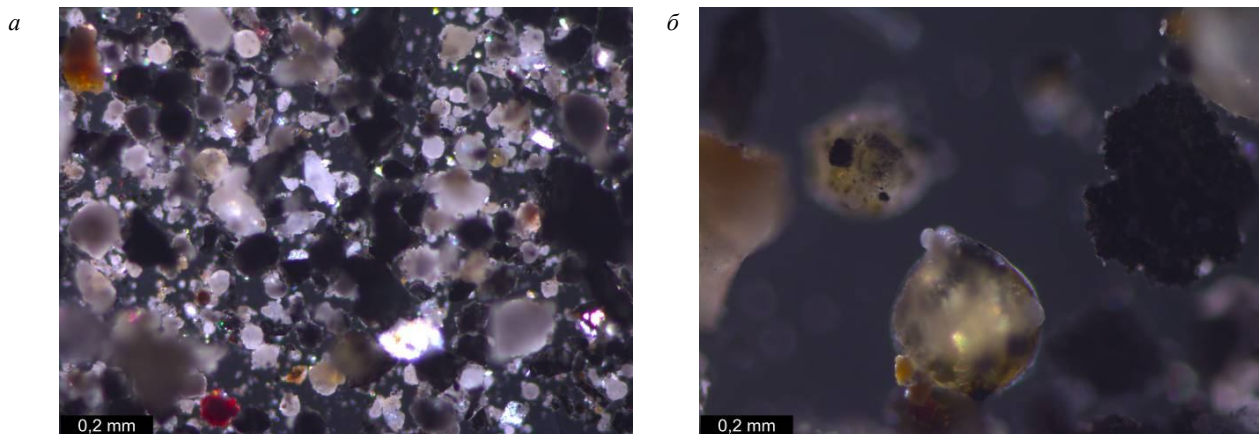


Рис.5. Продукты обогащения образца золы 1: *а* – силикатная фракция; *б* – силикатно-угольные агрегаты и силикатно-углистые глобулы

и крупных посторонних включений; сухую классификацию подрешетного продукта в псевдоожиженном состоянии для выделения пылевидной фракции, не содержащей «недожога»; магнитную сепарацию фракции +40 мкм в псевдоожиженном состоянии, где извлекаются сrostки угольных частиц с магнетит-гематитовыми сферами и прочие магнитные включения, и электрическую сепарацию немагнитной фракции в псевдоожиженном состоянии, где оставшиеся угольные частицы извлекаются в проводниковый продукт. Непроводниковый продукт объединяется с пылевидной фракцией –40 мкм и является товарным продуктом с содержанием углистых частиц не более 3 %.

В ходе технологических испытаний по представленной на рис.4 схеме для всех проб золы были получены минеральные фракции с содержанием углерода 0,5-2,5 %. При этом в углеродный продукт переходит 3-8 % минеральной составляющей исходной золы. Крупность частиц варьирует от 0,005 до 0,1 мм. По качественному составу в общей массе преобладают кварцевые глобулы и агрегаты (около 55 %). В меньших количествах, но примерно в равных пропорциях представлены смешанные кварц-слюдавые («рыжие») и силикат-углистые глобулы (15-20 %). Кроме того, встречаются агломераты силикат-углистого состава (примерно 20 %), средний размер варьирует от 0,01 до 0,1 мм.

Заключение. Изучение вещественного состава и физических свойств сухой золы показало, что угольные частицы чаще всего образуют сrostки с магнетит-гематитовыми сферами и характеризуются большим размером по сравнению с остальными частицами основной минеральной массы. Кроме того, зола уноса обладает чрезвычайно малой насыпной плотностью и уникальным внутренним условным коэффициентом трения, близким к единице. Исходя из этого разработана комбинированная технология обогащения золы уноса ТЭС, включающая магнитную и электрическую сепарации в виброожиженном состоянии и позволяющая стабильно получать товарный продукт с содержанием углистых частиц менее 3 %, что дает возможность использовать его как универсальное вяжущее вещество для строительной промышленности.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение № 14.579.21.0023), REMEF 157914X0023.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Е.Е. Электромагнитный сепаратор для экологически безопасного сухого обогащения слабомагнитных руд черных металлов / Е.Е.Андреев, С.В.Дмитриев, А.О.Мезенин // Обогащение руд. 2010. № 3. С.31-34.
2. Арсентьев В.А. Направления создания маловодных технологий и аппаратов для обогащения тонкоизмельченного минерального сырья / В.А.Арсентьев, Л.А.Вайсберг, И.Д.Устинов // Обогащение руд. 2014. № 5. С.3-9.
3. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. М.: Руда и Металлы. 2013. 410 с.
4. Вайсберг Л.А. Механика сыпучих сред при вибрационных воздействиях: методы описания и математического моделирования / Л.А.Вайсберг, И.В.Демидов, К.С.Иванов // Обогащение руд. 2015. № 4. С.21-31.
5. Власова В.В. Минеральный и химический состав золошлаковых отходов теплоэлектростанций и закономерности его формирования / В.В.Власова, Н.И.Никольская, К.В.Федотов // Обогащение руд: Сборник научных трудов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С.3-10.



6. Власова В.В. Природоохранные ресурсосберегающие технологии переработки золоотвалов ТЭС / В.В.Власова, Н.И.Никольская, Е.А.Самаркина // Обогащение руд: Сборник научных трудов. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2000. С.100-103.
7. Гужелев Э.П. Рациональное применение золы ТЭЦ: результаты научно-практических исследований / Э.П.Гужелев, Ю.Т.Усманский. Омск: Омский государственный ун-т. 1998. 238 с.
8. Назмеев Ю.Г. Системы топливоподдачи и пылеприготовления ТЭС / Ю.Г.Назмеев, Г.Р.Мингалева. М.: ИД МЭИ. 2005. 480 с.
9. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций / Министерство энергетики и электрификации СССР. М., 1981. 46 с.
10. Хабаши Ф. Основы прикладной металлургии. М.: Металлургия, 1975. Т.2. 390 с.
11. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1988. 255 с.
12. Dyr T. Model particle velocity on a vibrating surface / T.Dyr, P.Wodzinski // Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2002. N 35. P.147-157.
13. Granular Leidenfrost Effect: Experiment and Theory of Floating Particle Clusters / P.K.Eshuis, Van der Weele, Van der Meer, D.Lohse // Phys. Rev. Lett. 2005. 95: 258001.
14. Influence of vibration mode on the screening process / L.Chusheng, D. Hailin, Z.Yuemin, Z.Lala // International J. of Mining Science and Technology. 2013. Vol.23. Iss.1. P.95-98.
15. Jaeger H.M. Granular solids, liquids, and gases / H.M.Jaeger, S.R.Nagel // Rev. Mod. Phys. 1996. 68. P.1259-1273.
16. Vibration-induced phenomena in bulk granular materials / V.A.Arsentyev, Y.I.Azbel, I.I.Blekhman, V.A.Golovanevskiy, V.B.Vasilkov, K.S.Yakimova // International Journal of Mineral Processing. 2011. N 100. P.79-85.

Авторы: **В.А.Арсентьев**, д-р техн. наук, директор по развитию и исследованиям, ava@nprk-mt.spb.ru (Научно-производственная корпорация «Механобр-техника» (ЗАО), Санкт-Петербург, Россия), **Е.Л.Котова**, канд. геол.-минерал. наук, заместитель директора Горного музея по научной работе, kotova.science@gmail.com (Санкт-Петербургский горный университет, Россия).

Статья принята к публикации 20.06.2016.