

УДК 622.7: 532.6

Надутый В.П., д-р техн. наук, профессор,
Костыря С.В., аспирант
(ИГТМ НАН Украины)
Севастьянов В.С., канд. техн. наук
(НКМЗ)

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ УНОСА ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Надутый В.П., д-р техн. наук, професор,
Костиря С.В., аспірант
(ІГТМ НАН України)
Севаст'янов В.С., канд. техн. наук
(НКМЗ)

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ ЗОЛИ УНОСА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Nadutyu V.P., D.Sc. (Tech.), Professor,
Kostyrya S.V., Graduate student
(IGTM of NAS of Ukraine)
Sevastyanov V.S. Ph.D. (Tech.)
(NKMZ)

EXPEDIENCE OF FLY ASH COMPLEX PROCESSING IN THE HEAT- AND-POWER STATIONS

Аннотация. Целью работы является изучение состава золы в результате сжигания угля на электростанциях для комплексной переработки при получении низкочольной углеродной части с последующим ее использованием в качестве твердого топлива на ТЭС, а также силикатной массы, пригодной для применения в строительстве. Необходимость комплексного метода переработки золы вытекает из результатов выполненных исследований, которые показали ее сложный элементный состав. Помимо переработки сухой суточной золы существует острая необходимость в переработке мокрых отвалов, которые нужно обезвоживать и перерабатывать комплексным методом. При переработке сухой золы важным фактором является прекращение наращивания отвалов золы уноса. Кроме того, приобретенный опыт и отработка особенностей технологии комплексной переработки сухой золы уноса позволит эффективно освоить технологию переработки отвальной золы. Вследствие этого разработка технологии переработки сухой золы уноса приобретает первоочередное значение.

Ключевые слова: зола, углерод, переработка, обезвоживание, комплексный метод.

Введение. В результате сжигания угля на угольных электростанциях (ТЭС) образуются золошлаковые отходы (ЗШО), которые представляют собой минеральное сырье сложного химического, минералогического и гранулометрического состава и могут использоваться как товарный продукт

после соответствующей переработки с последующей утилизацией. К ЗШО относится также и мелкодисперсная их составляющая – зола уноса (ЗУ) дымов после сгорания угля в котлах, частично улавливаемая фильтрами в вытяжных трубах после сгорания угля. Учитывая особую структуру обугленных и обожженных частиц золы уноса, а также относительно высокое содержание в ней несгоревшего углерода (до 25 %), она представляет собой готовый продукт для переработки и последующей утилизации.

За время эксплуатации ТЭС накопились миллионы тонн золы. Существующие ее отвалы перегружены, имеют большие площади и требуют значительных эксплуатационных затрат, влияющих на себестоимость производства электроэнергии. Постоянный рост золоотвалов требует дополнительного отвода территорий полезных земель, наращивания оградительных сооружений. Для комплексного подхода к изучению проблемы необходим анализ переработки золошлаковых отходов ТЭС, но, поскольку зола и шлаки требуют разной технологии, в данной работе рассматривается вопрос переработки золы уноса, причем взятой не из многолетних (слежавшихся) отвалов, а перерабатываемой до ее складирования и полученной сразу после сжигания углей [1].

Исследования направлены на совершенствование используемого оборудования и на разработку технологии [2, 3] извлечения полезных компонентов из золы уноса (углерода, железа, алюминия, силикатов) по безотходной технологии. Эффективность такого решения очень высока. Достаточно отметить, что только возврат извлеченной из золы до 20 % углеродной массы, при суточном потреблении на ТЭС около тысячи тонн, позволяет сокращать количество покупаемого угля и транспортные расходы на его доставку на станции. Учитывая, что продукты комплексной переработки золы имеют мелкодисперсную фракцию, удобную для дальнейшего использования, это исключает дорогостоящие операции подготовки сырья. Например, получаемые порошки железа и алюминия пригодны для получения деталей и узлов прессовым методом, также как и силикаты для формовки строительных конструкций [4].

На основании выполненных исследований можно отметить, что технологии переработки свежей и отвальной золы уноса имеют отличия, поскольку отвальная зола – это слежавшаяся порода, требующая предварительной подготовки для переработки. Однако эти технологии могут быть объединены в одном участке с использованием стандартного оборудования, но разделены грузопотоками. Объединяющим фактором является идентичность конечных продуктов переработки [5, 6].

Таким образом, выполненные исследования продуктов сжигания углей на ТЭС в виде свежей (сухой) и отвальной золы уноса показали перспективность ее комплексной безотходной технологии переработки, продукты которой представляют промышленный интерес. Процесс переработки технологически возможен, экономически целесообразен и социально обусловлен [7].

Актуальность исследований связана с острой необходимостью в

дополнительных площадях под золоотвалы, так как существующие отвалы перегружены и в них накопились миллионы тонн золы. Разработка золоотвалов и прекращение наращивания их площадей за счет переработки свежей золы без ее складирования, являются чрезвычайно важными, поскольку в настоящее время на твердом топливе (в виде угля различных марок) работает большое число ТЭС.

Предварительные исследования золы методами химического анализа и магнитной сепарации показали в ее составе содержание несгоревшего углерода в отдельных классах крупности (недожиг) до 20 % и магнитовосприимчивого железа до 30 % (в сростках). Это указывает на целесообразность ее комплексной переработки с целью извлечения углерода, железа и силикатной части с дальнейшей утилизацией этих продуктов. Очевидно, что начинать такую переработку необходимо с сухой золы для ликвидации пополнения золоотвала, а уже накопившиеся отвалы считать техногенными и пригодными для последующей комплексной переработки.

В процессе исследований выполнялся анализ золы - суточной и отвальной, с последующим рассевом исходной пробы на шесть классов крупности, в каждом из которых определялось содержание золы (силикатной части) и содержание сростков железа после выгорания углерода. Результаты этих исследований для сухой суточной золы уноса представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Зольность, весовой выход сростков железа и гранулометрический состав суточной (сухой) золы уноса

№ образца	Крупность, мм	Зольность, %	Выход сростков железа, %	Выход класса крупности (гранулометрический состав), %
1	Исходный материал	93,26	33,3	100
2	-5,0+1,0	97,47	18,7	14
3	-1,0+0,63	98,78	23,8	61,5
4	-0,63+0,25	95,02	37,5	16,5
5	-0,25+0,1	68,52	59,4	4,5
6	-0,1+0,05	40,55	78,2	2
7	-0,05	64,25	87,6	1,5

Анализ полученных результатов показывает, что оставшийся в золе несгоревший углерод и сростки железа по классам крупности исходного продукта распределены неравномерно. Наиболее высокое содержание углерода в золе находится в классах крупности начиная с 0,25 мм (или 250 микрон) и до - 0,05 (50 микрон) включительно. Однако суммарная весовая доля этих классов

от веса пробы составляет около 8 % (4,5+2+1,5), табл.1. В этих же классах крупности наиболее высокое содержание железа, т.е. эти классы являются весьма перспективными для переработки.

На основании полученных результатов возникает необходимость в проведении исследований зольности во всех контролируемых классах крупности сухой золы уноса, из которой предварительно методом магнитной сепарации извлечены магнитные сrostки. Результаты этих исследований приведены в таблице 2, где представлена зольность, т.е. содержание силикатной части без долевого части железа.

Таблица 2 - Зольность суточной золы уноса без сrostков железа

№ образца	Крупность, мм	Зольность, %	Зольность магнитной части, %
1	Исходный материал	96,62	96,03
2	-5,0+1,0	97,46	-
3	-1,0+0,63	97,5	-
4	-0,63+0,25	97,62	-
5	-0,25+0,1	65,97	-
6	-0,1	67,95	-

Из таблицы видно, что наиболее перспективными классами крупности для извлечения углерода являются 5-й и 6-й, – по крупности менее 250 микрон.

Зольность магнитной части исходного материала устанавливалась для определения того содержится ли углерод в сrostках железа выделенных на сепараторе. Как видно из табл.2 его содержание в магнитной фракции незначительно (96,62 по сравнению с 96,03 %). Аналогичный результат получен и по узким классам крупности. Из исходной пробы выделяется 33,3 % железа (табл.1) и можно считать, что полученное на сепараторе железо относительно чистое по углероду. Этот результат важен для принятия решения по технологии извлечения железа из золы и дальнейшей его утилизации.

Поскольку зола в отвал транспортируется гидравлическим методом, то, прежде всего, были установлены границы намыва карты золы. Путь движения пульпы от точки сброса золы до точки сброса воды с карты намыва в реку составляет более 200 метров и при движении зольной пульпы происходит ее сегрегация по плотности. Это приводит к неоднородности твердого осадка по длине и ширине отвальной зоны. Поэтому для исследований отвальной золы брались пробы по всей длине хранилища в шести точках.

Каждая из проб, отобранных в шести контрольных точках, рассеивалась на узкие классы крупности. Определение зольности для этих классов приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Зольность золы уноса (отвальной)

Крупность, мм	Зольность, %					
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	Проба 6
-0,63+0,25	-	-	-	-	-	32,03
-0,25+0,1	38,7	48,54	72,46	83,54	-	50,21
-0,1+0,05	50,0	55,73	78,21	87,19	76,53	60,61
-0,05	79,9	83,95	89,2	90,29	87,7	81,8

Результаты табл. 3 указывают на высокое содержание углерода (выгоревшего в эксперименте) во всех четырех классах крупности по шести пробам и наиболее высокое среднее содержание углерода в верхних классах крупности и закономерно снижается с уменьшением крупности частиц, что имеет место для каждой из шести проб в контрольных точках отбора.

Далее методом магнитной сепарации каждого класса крупности по шести пробам устанавливалось содержание железа в отвальной золе уноса. Результаты исследований представлены в таблице 4.

Данные табл. 4 показывают, что, например, для пробы 1, по крупности (-0,25+0,1) мм, согласно табл.4 зольность составляет 38,7 %, и эта зольность состоит из 89 % сростков железа по весу. Аналогично для других классов можно сказать, что зольность преимущественно определяется наличием магнитной составляющей. Это указывает, что на определенные технологические операции по снижению зольности в каждом классе крупности.

Таблица 4 – Выход магнитной фракции (сростков железа) в отвальной золе уноса

Крупность, мм	Сростки железа, %					
	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	Проба 6
-0,63+0,25	-	-	-	-	-	50
-0,25+0,1	89	89	83	82	-	68
-0,1+0,05	90	86	87	82	77	75
-0,05	95	96	95	89	83	89

Таким образом, основная часть несгоревшего остатка при исследованиях отвальной золы уноса состоит из силикатной части и железа. Силикатная часть золы требует дополнительных исследований, поскольку не определен ее

минералогический состав, его ценность и целесообразность включения в технологию комплексной переработки с целью последующей утилизации.

Выполненные исследования показывают, что продуктами комплексной технологии переработки сухой и отвальной золы уноса являются: силикатная часть, углерод и железо (частично в виде сростков). Поскольку вмещающими породами угольных пластов являются песчаники, то силикатная часть в основном представлена SiO_2 , который после тепловой обработки (при сжигании угольной пыли в горелках котлов ТЭС) превращается в стеклянные шарики, диаметр которых менее одного миллиметра.

Углеродная часть представлена в виде пылевидных частичек кокса, которая сразу после извлечения из золы может быть возвращена для дальнейшего сжигания. Этим экономится расход поступающего угля.

Извлекаемое в виде порошка железо может использоваться для изготовления брикетов, являющихся исходным сырьем для металлургии.

Относительно очередности и сложности комплексной переработки сухой и отвальной золы следует учесть тот факт, что сухая зола не требует обезвоживания и сушки, дополнительного транспортирования к месту переработки. При переработке сухой золы важным фактором является прекращение наращивания отвалов золы уноса. Кроме того, приобретенный опыт и отработка особенностей технологии комплексной переработки сухой золы уноса позволит эффективно освоить технологию переработки отвальной золы. Вследствие этого, разработка технологии переработки сухой золы уноса приобретает первоочередное значение.

Выводы: Комплексная безотходная переработка сухой золы уноса позволяет прекратить отгрузку золы в отвал и получить товарную продукцию в виде: углерода, железа и силикатной массы по безотходной технологии. Все три составляющие представляют промышленный и коммерческий интерес.

Переработка отвалов позволит сократить материальные затраты на содержание золоотвалов и получить дополнительную прибыль от реализации продуктов комплексной переработки золы уноса, улучшить экологию окружающей среды и освободить земельные площади от отвальной массы золы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый, В.П. Переработка золы уноса теплоэлектростанций / В.П. Надутый, А.И. Шевченко, И.П. Хмеленко // Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 68. – С. 99-104.
2. Надутый, В.П. Метод оценки качества шламов из илонакопителей / Геотехнічна механіка : Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 61. – С. 284-292.
3. Надутый, В.П., Хмеленко И.П. Метод определения ситового состава и запасов угл в шламохранилище / В.П. Надутый, И.П. Хмеленко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 8(49). – С. 98-99.
4. Надутый, В.П. Обоснование метода определения эффективности разработки техногенных отходов углеобогащения / В.П. Надутый // Збагачення корисних копалин: Наук.- техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 29(70)- 30(31). – С. 224-227.
5. Егоров, П.А. Технология переработки зол тепловых электростанций / П.А. Егоров, А.А. Березняк // Збагачення корисних копалин: Наук. - техн. зб. // Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2004. – Вип. 19(60). – С. 51-57.

6. Фесак, Г.И. О качестве угля для электростанций / Г.И. Фесак // Збагачення корисних копалин: Наук-техн. зб. // Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2000. – Вип. 8(49)- 30(31). – С. 98-99.

7. Перспективы комплексной безотходной переработки золы дымов при сжигании углей на тепловых электростанциях / В.П. Надутый, С.В. Костыря, В.С. Севастьянов, Б.В. Севастьянов / Материалы Междунар. науч. конф. «Природно-техногенные комплексы». - Новосибирск-Новокузнецк, 2016. - С.211-216.

REFERENCES

1. Nadutyu, V. P., Shevchenko, A. I., and Khmelenko, I. P. (2007), «Processing of ash of taking away of heat and power plants», *Geo-Tehnickal Mehanics*, no. 68, pp 99-104.

2. Nadutyu, V. P. (2006), « Method of estimation of quality of slimes from accumulators of silt», *Geo-Tehnickal Mehanics*, no. 61, pp 284-292.

3. Nadutyu, V. P. and Khmelenko, I. P. (2008), « Method of determination of sieve composition and supplies of coal in slim-repository», *Zbagachennyya korysnykh kopalyn: Nauk. tehn. zb.*, no. 8(49), pp. 98-99.

4. Nadutyu, V. P. (2007), «Ground method of determination of efficiency of development of technogen wastes of coal-dressing», *Zbagachennyya korysnykh kopalyn: Nauk. tekhn. zb.*, no. 29(70)- 30(31), pp 224-227.

5. Egorov, P. A. and Bereznyak, A. A. (2004), « Technology of processing is wicked thermal power-stations», *Zbagachennyya korysnykh kopalyn: Nauk. tekhn. zb.*, no. 19(60), pp 224-227.

6. Fesak, G. I. (2000), « About quality of coal for power-stations», *Zbagachennyya korysnykh kopalyn: Nauk. tekhn. zb.*, no. 8(49 – 30(31), pp 98-99.

7. Nadutyu, V. P., Kostyrya, S.V., Sevastyanov, V.S. and Sevastyanov, B.V. (2016), « Prospects the complex of wasteless processing ash of smokes at incineration of coals on thermal power-stations», *Materialy Mezhdunar. nauch. konf. «Prirodno-tehnogennyye komplekсы»* [Materials of International science conference «Nature - technogen complexes»], Novosibirsk-Novokuznetsk, pp. 211-216.

Об авторах

Надутый Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, nadutyvp@yandex.ua.

Костыря Сергей Владимирович, аспирант, инженер отдела механики машин и процессов переработки минерального сырья, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, kostyrya81@gmail.com.

Севастьянов Владимир Степанович, кандидат технических наук, Новокраматорский машиностроительный завод, Краматорск, Украина, sv@nkmz.donetsk.ua

About the authors

Nadutyu Vladimir Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, nadutyvp@yandex.ua.

Kostyrya Sergey Vladimirovich, Doctoral Student, Engineer in Department of Geodynamic Systems and Vibration Technologies, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, kostyrya81@gmail.com.

Sevastyanov Vladimir Stepanovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Novokramatorsky Machine-Building Plant, Kramatorsk, Ukraine, sv@nkmz.donetsk.ua

Анотація. Метою роботи є вивчення складу золы в результаті спалювання вугілля на електростанціях для комплексної переробки під час отримання низькозольної вуглецевої частини з подальшим її використанням як твердого палива на ТЕС, а також силікатної маси, придатної для вживання в будівництві. Необхідність комплексного методу переробки золы витікає з результатів виконаних досліджень, які показали її складний елементний склад. Крім переробки сухої добової золы існує гостра необхідність в переробці мокрих відвалів, які потрібно зневоднювати і переробляти комплексним методом. Під час переробки сухої золы важливим чинником є припинення нарощування відвалів золы віднесення. Крім того, придбаний досвід і відпрацювання особливостей технології комплексної переробки сухої золы віднесення дозволить ефективно освоїти технологію переробки відвальної золы.

Внаслідок цього розробка технології переробки сухої золи віднесення набуває першочергове значення.

Ключові слова: зола, вуглець, переробка, обезводнення, комплексний метод.

Abstract. Objective of this work is to study ash composition after the coal incineration in the power stations for its further complex processing and obtaining a low-ash carbon part with further its use as a hard fuel for the heat-and-power stations and as silicate mass suitable for the building industry. The necessity of complex method for ash processing arises from researches, which showed the ash multi-element composition. Additionally to processing of dry daily ash, there is a strong need in processing the wet dumps, which should be dewatered and processed by a complex method. An important factor, while processing the dry ash, is ceasing increment of fly-ash dumps. Besides, the gained experience and improved technology of the dry fly ash complex processing will allow to effectively master technology for the dump ash processing. Therefore, development of technology for the dry fly ash processing acquires the primary importance.

Keywords: ash, carbon, processing, dehydration, complex method.

Стаття поступила в редакцію 10.12. 2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Б.А. Блюссом