

**ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ****3.5. Направления применения золошлаков энергетических углей****3.5.6. Получение различных веществ из побочных продуктов сжигания угля****3.5.6.1. Получение, свойства и применение магнетитовой пыли из побочных продуктов сжигания****угля**

*Я. Хыцнар, Ecocoal Consulting Center, Катовице, Польша*

*Б. Коханьски, Высшая школа маркетингового управления и иностранных языков, Катовице, Польша*

*Б. Тора, Горно-металлургическая академия, Краков, Польша*

**АННОТАЦИЯ**

Сжиганию каменного и бурого угля в пылеугольных котлах сопутствует появление ферромагнитных соединений в летучей золе и шлаке. Больше количество магнитных соединений железа содержат золы силикатного типа, меньшее количество — золы алюминиевого типа, а наименьшее — кальциевые золы. На основании проведенных исследований содержания магнитных соединений, а также общего содержания соединений железа и двухвалентного железа, разработаны технико-экономические критерии выделения магнетитовой пыли из летучей золы. Для промышленного выделения магнетитовой пыли из сухой летучей золы используются оригинальные сепараторы типа ВWP с вращающимся магнитным полем, а для выделения магнетитовой пыли из водозоловой смеси — сепаратор с постоянными магнитами типа ZUO/SM-500/L. Характерна особенность выделенной на электростанциях магнетитовой пыли (максимально 20 тыс. т/год) - содержание магнитной фракции более 85 % и общее содержание соединений железа свыше 45 %. Несмотря на огромное количество возможностей применения, производимая магнетитовая пыль использовалась, преимущественно, в горнодобывающей промышленности для производства тяжелых жидкостей и материалов (засыпок) для металлургии, а также для приготовления гидротехнических бетонов, применяющихся при строительстве горнодобывающих шахт в плавнуках.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

В зависимости от типа и происхождения топлива, а также технологии его сжигания, методов серочистки и выделения твердых загрязняющих веществ из дымовых газов, побочные продукты сгорания могут существенно различаться по количеству и химическому составу. Если учесть, что процесс сжигания является одной из форм обогащения минеральной части, содержащейся в сжигаемом топливе, то ряд зол может характеризоваться повышенным содержанием отдельных компонентов.

Интерес к появлению и поведению некоторых компонентов угля и продуктов их сгорания возникает из-за ряда причин. Одни из них влияют на условия работы топок котлов (шлакование, коррозия экранных труб, пароперегревателей и воздухонагревателей) и эффективность удаления пыли из продуктов сгорания в электрофильтрах, а также на качество получаемых побочных продуктов сжигания угля. На возможность выделения концентратов определенных металлов из летучей золы и шлаков уже

давно обращено внимание во многих иностранных публикациях [1-14]. Однако, информация о промышленном производстве концентратов металлов из зол энергетических углей, к сожалению, ограничена [11-14]. В этой области наблюдаются большие успехи в освоении металлургических отходов, в том числе в производстве наполнителей для изготовления тяжелых жидкостей для горнодобывающей промышленности, а также пигментов [15-17].

Исследования, проведенные в Польше, помогли внедрить технологию производства концентратов металлов [18], в том числе:

- концентрата окиси кальция, как отдельного минерального удобрения (кальциево-магнезиевого) и материала для известкования кислой почвы [19, 20], источником которого была летучая зола бурых углей из районов Конины и Белхатова;

- глинозёма (экспериментальная установка ИММВ производительностью 6000 т/год, промышленная инвестиция на цементном заводе Новины приостановлена). Технология, разработанная профессором Я. Гжимкой и его командой, даёт возможность производить из летучей золы на электростанции Туров и ила КWB Туров глинозём и цемент обжиго-размольным методом [20-22];

- концентрата оксида германия и галлия, путём подбора угля с повышенным содержанием германия для сжигания в циклонных котлах и извлечения наиболее мелких фракций летучей золы [23]. Благодаря внедренной технологии энергетика передала цветной металлургии несколько тысяч тонн зольного концентрата германия;

- концентрата оксида железа. Путём селекции угля, подбора процесса сжигания и разделения летучей золы разработан метод извлечения ферромагнитной фракции из летучей золы [23-25]. Результаты исследований и анализа работы созданных установок в области выделения и применения магнетитовой пыли [26] являются предметом настоящей статьи.

**2. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ЗОЛ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАГНЕТИТОВОЙ ПЫЛИ**

Основным критерием оценки пригодности летучей золы для извлечения магнетитовой пыли является экономический аспект производства и сбыта

магнетитовой пыли. Оценка пригодности зол для выделения магнетитовой пыли основывалась на:

1. **отборе** репрезентативных проб зол из определенных зон электрофильтров;
2. **исследовании влияния** отдельных проб летучей золы на содержание магнитной фракции, а также общего содержания соединений железа и соединений двухвалентного железа;
3. **сепарации** отдельных проб летучей золы на экспериментальной установке с промышленной плитой типа BWP с зазором активной части 8, 10 и 15 мм, при постоянном массовом расходе золы. Кроме того, проведены дополнительные сепарации зол при зазоре 10 мм, при трёх массовых скоростях подачи золы. В результате получены две фракции: магнетитовая пыль и летучая зола с уменьшенным содержанием ферромагнитных соединений;

4. **исследовании** продуктов магнитной сепарации летучей золы. В магнитной пыли определялось содержание ферромагнитной фракции, соединений железа  $Fe^{3+} + Fe^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ , содержание соединений кремния, а также устанавливалась плотность пыли. В «обедненной» золе определялось содержание магнитной фракции и общее содержание соединений железа.

5. **определении применений** извлеченной магнетитовой пыли.

По описанной схеме оценки пригодности для выделения магнетитовой пыли сухим методом проведено исследование летучей золы и частично шлаков из 20 ТЭС, в том числе из двух, сжигающих бурый уголь и восемнадцати, сжигающих каменный уголь. Полученные результаты исследований и характеристики магнетитовой пыли из экспериментальной и промышленной установок частично представлены в табл. 1.

Таблица 1. Особенности магнитной пыли, извлеченной из сухой летучей золы

| № п/п | Электростанция, электрофильтр  | Летучая зола      |                      | Магнетитовая пыль |                      |                  |                     | Полученный результат, % |
|-------|--|-------------------|----------------------|-------------------|----------------------|------------------|---------------------|-------------------------|
|       |  | Содержание, %     |                      | Содержание, %     |                      |                  |                     |                         |
|       |  | Магнитная фракция | Железо общее, $Fe^c$ | Магнитная фракция | Железо общее, $Fe^c$ | Кремний, $SiO_2$ | Плотность, $г/см^3$ |                         |
| 1.    | <b>Результаты исследований на экспериментальной установке</b>                            |                   |                      |                   |                      |                  |                     |                         |
|       | Электростанция Se  |                   |                      |                   |                      |                  |                     |                         |
| 1.1.  | I зона   | 6,87              | 10,52                | 92,61             | 62,33                | 9,05             | 4,23                | 3,53                    |
|       | II зона  | 6,73              | 10,30                | 91,43             | 61,12                | 9,93             | 4,12                | 0,96                    |
|       | III зона   | 3,21              | 6,69                 | 80,74             | 57,63                | 11,43            | 4,17                | 0,40                    |
|       | Электростанция Rb  |                   |                      |                   |                      |                  |                     |                         |
| 1.2.  | I зона   | 6,55              | 7,49                 | 95,06             | 51,72                | 11,69            | 3,82                | 2,89                    |
|       | II зона  | 1,99              | 7,28                 | 94,53             | 53,42                | 11,66            | 3,89                | 0,19                    |
|       | III зона   | 0,76              | 5,30                 | 91,44             | 53,42                | 12,83            | 3,68                | 0,19                    |
| 2.    | <b>Результаты исследований магнетитовой пыли из промышленных установок с плитами BWP</b> |                   |                      |                   |                      |                  |                     |                         |
| 2.1.  | ЭС Бд  | 3,55              | 4,59                 | 85,82             | 57,33                | -                | -                   | 0,5                     |
| 2.2.  | ЭС Цо  | 3,90              | 5,99                 | 55,12             | 55,12                | 10,34            | -                   | 1,27                    |
| 2.3.  | ЭС Хл  | 3,09              | 4,37                 | 94,48             | 59,34                | 9,79             | -                   | 4,47                    |
| 2.4.  | ЭС Яв. II  | 8,30              | 8,62                 | 57,97             | 47,88                | 14,55            | 3,54                | 6,08                    |
| 2.5.  | ЭС Лг  | 5,08              | 6,02                 | 55,21             | 55,14                | 11,68            | -                   | 2,00                    |
| 2.6.  | ЭС Лз  | 3,33              | 5,25                 | 94,31             | 57,16                | 9,64             | -                   | 1,08                    |
| 2.7.  | ЭС От  | 9,87              | 7,23                 | 91,96             | 57,66                | 8,01             | -                   | 4,81                    |
| 2.8.  | ЭС Рб  | 6,28              | 4,17                 | 94,47             | 51,04                | 10,26            | 3,46                | 1,50                    |
| 2.9.  | ЭС Се  | 10,10             | 8,88                 | 88,22             | 50,96                | 9,50             | 3,97                | 3,25                    |
| 2.10. | ЭС Жр  | 9,51              | 11,02                | 98,16             | 55,01                | 9,70             | -                   | 2,94                    |
| 2.11. | ЭС Во  | 2,99              | 12,00                | 94,48             | 57,83                | 12,31            | -                   | 0,71                    |
| 2.12. | ЭС Га  | 6,07              | -                    | 88,10             | 60,77                | 7,19             | -                   | 1,01                    |

Результаты анализов показывают большой разброс содержания соединений железа и магнитной фракции в золах, что следует из нижеприведенных данных:

- соединения двухвалентного железа ( $Fe^{+2}$ ) с 0,15 % по 2,37 %,
- общее содержание соединений железа ( $Fe^c$ ) с 1,06 % по 12,00 %,
- магнитной фракции ( $D_p$ ) с 0,86 % по 10,10 %.

Кроме того, наблюдается влияние места отбора летучей золы из электрофильтра на содержание перечисленных компонентов и количество получен-

ной магнетитовой пыли. В золе из I зоны наблюдается наибольшее содержание ферромагнитной фракции и соединений железа, а наименьшее – в золе, отобранной из III зоны.

Статистический анализ совокупности результатов исследованной летучей золы позволяет установить зависимость между содержанием магнитной фракции и соединений железа в виде следующих формул:

- зависимость содержания магнитной фракции от содержания соединений двухвалентного железа:

$$D_p = 0,93 + 3,05 \times Fe^{+2}$$

- зависимость содержания магнитной фракции от

общего содержания соединений железа:

$$D_p = 2,82 + 0,25 \times Fe_c$$

Принимая во внимание количество извлеченной магнетитовой пыли на экспериментальной установке с плитой BWP, выведена зависимость количества полученной магнетитовой пыли „U” от содержания магнитной фракции в летучей золе следующего вида:

$$U = -0,16 + 0,41 \times D_p$$

Для экономических условий в то время сепарации летучей золы была приемлема в случае извлечения не менее 1 % магнетитовой пыли, что достигалось при минимальном содержании в летучей золе:

- магнитной фракции 5,03 %;
- соединений двухвалентного железа 0,88 %;
- общего количества соединений железа 3,60 %.

Значительное отличие особенностей магнетитовой пыли из отдельных летучих зол и мест их отбо-

Таблица 2. Особенности магнетитовой фракции, выделенной из водозоловой пульпы

| № п/п | Электростанция, электрофильтр   | Летучая зола      |                               | Магнетитовая пыль |                               |                          |                              | Полученный результат, % |
|-------|---|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------|
|       |   | Содержание, %     |                               | Содержание, %     |                               |                          |                              |                         |
|       |   | Магнитная фракция | Железо общее, Fe <sup>c</sup> | Магнитная фракция | Железо общее, Fe <sup>c</sup> | Кремний SiO <sub>2</sub> | Плотность, г/см <sup>3</sup> |                         |
| 1.    | <b>Результаты исследований на экспериментальной установке с сепаратором FMA-63 (массовое отношение золы к воде 1:10)</b>  |                   |                               |                   |                               |                          |                              |                         |
|       | Электростанция Se   |                   |                               |                   |                               |                          |                              |                         |
| 1.1.  | I зона  | 6,87              | 10,52                         | 83,74             | 49,33                         | 15,41                    | 4,16                         | 0,57                    |
|       | II зона   | 6,73              | 10,30                         | 80,90             | 47,54                         | 16,15                    | 4,42                         | 1,06                    |
|       | III зона  | 3,21              | 6,69                          | 71,88             | 44,58                         | 20,64                    | 3,78                         | 0,71                    |
|       | Электростанция Rb   |                   |                               |                   |                               |                          |                              |                         |
| 1.2.  | I зона  | 6,55              | 7,49                          | 64,99             | 34,04                         | 25,92                    | 3,22                         | 0,20                    |
|       | II зона   | 1,99              | 7,28                          | 69,18             | 35,00                         | 22,73                    | 3,31                         | 0,02                    |
|       | III зона  | 0,76              | 5,30                          | 55,93             | 32,80                         | 24,55                    | 3,05                         | 0,08                    |
| 2.    | <b>Результаты исследований магнетитовой пыли из промышленных установок ZUO/SM-500/L (содержание летучей золы в воде конденсации около 50 г/дм<sup>3</sup> из блоков 2x125 МВт<sub>эл</sub>)</b> |                   |                               |                   |                               |                          |                              |                         |
| 2.1.  | ЭС Се   | ср. 4,56          | -                             | 94,47...96,91     | 54,90...57,28                 | 7,69...11,78             | 4,47...4,78                  | -                       |

При сравнении результатов исследования полученной магнетитовой пыли из зол сухим путём на плитах BWP и мокрым путём на сепараторах с постоянным магнитом, возникают следующие выводы:

- магнетитовая пыль, выделенная на экспериментальных установках из сухой золы, характеризуется лучшими параметрами, чем извлеченная из водозоловой пульпы;
- магнетитовая пыль, выделенная же на промышленных установках, показывает также значительную разницу, однако, наилучшее качество имеет пыль, полученная из водозоловой пульпы.

### 3. МЕТОДЫ ВЫДЕЛЕНИЯ МАГНЕТИТОВОЙ ПЫЛИ ИЛИ ФРАКЦИИ

Выбор метода выделения магнетитовой пыли из летучей золы зависит от системы удаления золы из котлов. Принимая во внимание эти условия, разработаны технология и оборудования для выделения

ра существенно влияет на решение места обора и технологии сепарации золы. Тем более, что в I зоне электрофильтра выделяется около 80 % золы, во II зоне - около 15 % и в III зоне - около 5 %.

Исследована также возможность получения магнетитовой пыли из молотых шлаков. Наиболее интересные результаты получены при сепарации в магнитном поле (плита BWP) шлака известкового типа от сжигания бурого угля (Fe<sub>c</sub> - 54,27...55,68 %; SiO<sub>2</sub> - 8,50...13,55 %; плотность - 4,08...4,23 г/см<sup>3</sup>; полученный результат 0,31...0,54 %).

Учитывая, что на ряде ТЭС продукты сжигания гидравлически отводятся в складские помещения, проведены исследования полученной ферромагнитной фракции из водозоловой пульпы по описанной схеме исследования сухих зол. Сопоставление полученных результатов исследования зол и магнетитовой пыли представлено в табл. 2.

магнетитовой пыли из сухой горячей золы, а также из водозоловой пульпы [27].

**Выделение магнетитовой пыли из сухой золы.** Существенный прогресс в выделении магнетитовой пыли из сухой золы был достигнут после начала производства магнитных сепараторов типа BWP, основанных на принципах работы линейных электрических двигателей. Техническая характеристика сепаратора BWP представлена в табл. 3 [25-27].

Магнитная плита BWP, с одной стороны, захватывает магнитные частицы из золы, а с другой - транспортирует их (магнетитовая пыль) за пределы зоны сепарации без дополнительных транспортных приспособлений - рис. 1 [26].

Для тех ТЭС, где нет условий для установки плит BWP под бункерами электрофильтров и применяется гидротранспорт водозоловой или/и золошлаковой пульпы, разработан метод выделения магнетитовой фракции из пульпы — сепаратор ZUO/SM-500/L.

Барабанный сепаратор SM-500 изготовлен, опираясь на порошковые магниты, что в тогдашних ус-

ловиях гарантировало получение наивысшей интенсивности магнитного поля. Техническая характеристика

Таблица 3. Техническая характеристика сепараторов, использующихся для промышленного выделения магнетитовой пыли из летучей золы

стика сепаратора SM-500 представлена в табл. 3 [27].

| № п/п | Магнитный сепаратор |   | Вид поля                     | Магнитная индукция, Gs | Напряжение питания поля, V | Пропускная способность, т/ч (м <sup>3</sup> ) | Размеры, мм   | Масса, кг |
|-------|---------------------|---|------------------------------|------------------------|----------------------------|---|---|-----------|
|       | тип                 | зола  |                              |                        |                            |   |   |           |
| 1.    | BWP                 | Сухая, слой 3 мм, Температура до 100 <sup>0</sup> C | вращающееся электромагнитное | 4000                   | 380                        | 10...20                                       | Активная часть 300 x 1000   |           |
| 2.    | SM-500              | Водозоловая пульпа                                  | постоянное магнитное         | 3500                   | -                          | 500   | Барабан<br>Ø = 400<br>L= 6 x 700<br>2 об./мин<br>2875 x 2590 x 1240 | 1700      |

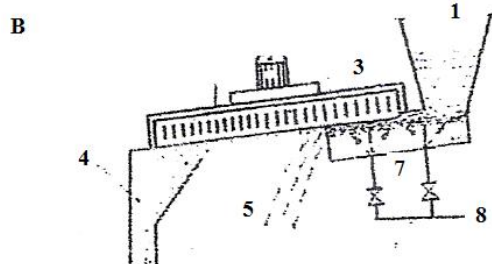
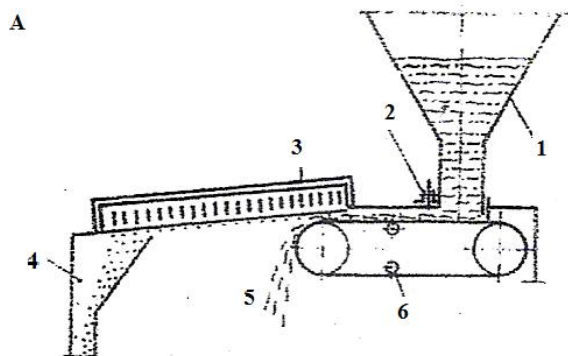


Рис. 1. Схема установки с сепаратором BWP с ленточным (А) и аэрационным (В) питателями летучей золы 1 — воронка электрофилтра/контейнер золы; 2 — регулятор зазора; 3 — плита сепаратора BWP; 4 — желоб магнетитовой пыли; 5 — желоб летучей золы после магнитной сепарации; 6 — ленточный питатель; 7 — аэрационный питатель; 8 — сжатый воздух; 9 — вентилятор.

#### 4. ПРОИЗВОДСТВО МАГНЕТИТОВОЙ ПЫЛИ

В 70-80-х гг. XX века работало около 90 сепараторов BWP и один сепаратор SM-500 (ЭС Серша). Сепараторы BWP работали на теплоэлектростанциях, в том числе: Хожов, Халемба, Серша, Явожно I, Явожно II, Рыбник, Лагиша, Лазиска, Скавина, Лодзь II, Быдгощ, Гданьск. Качество производимой магнетитовой пыли представлено в табл. 1 и 2.

Производство магнетитовой пыли составляло около 20 тыс. т/год. Только на пяти ТЭС, оборудованных 35 сепараторами, было произведено 13,4 тыс. т магнетитовой пыли в год.

#### 5. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНЕТИТОВОЙ ПЫЛИ, ВЫДЕЛЕННОЙ ИЗ ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ

Наибольшее количество магнетитовой пыли используется в горнодобывающей промышленности каменного угля для приготовления тяжелых жидкостей с целью обогащения добытого угля [27]. Однако, следует отметить, что появляющиеся в магнетитовой пыли конгломераты оксида железа с алюмосиликатами значительно снижают плотность магнетитовой пыли и такая пыль не может быть полноценным конкурентом для типичного наполнителя скандинавского производства (Fosdalen). Однако, ее использование позволяет уменьшить расход импортного наполнителя. Самые лучшие параметры показала магнетитовая пыль ТЭС Серша, а за ней магнетитовая пыль, полученная из зол ТЭС Явожно I и II, а также Скавина [28].

Значительные объемы магнетитовой пыли используются в цементной промышленности для корректировки железного модуля клинкера. Магнетитовая пыль применяется также в производстве бетонной защиты для объектов, подвергающихся радиоактивному излучению.

Существенный экономический эффект получен при использовании магнетитовой пыли для производства смазывающих и экзотермических металлургических засыпок [29,30]. Наличие конгломератов оксида железа с алюмосиликатами позитивно влияет на ход реакции Гольдшмидта. Поставками магнетитовой пыли для производства металлургических и литейных засыпок заинтересовались итальянские и немецкие фирмы.

Большой успех получила разработанная технология применения магнетитовой пыли и микросфер для остановки пльвуна при строительстве горнодобывающей шахты [31]. Интересным является использование гидрофобизированной магнетитовой пыли для очистки водоёмов от нефтепродуктов [32].

Интересны также опыты фирмы Rock Gron, производящей сферические магнетиты под торговой маркой MagGron™, которые предназначены не только для производства тяжелых жидкостей с целью обогащения угля, но и также и для изготовления звуковой изоляции.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены возможность и целесообразность выделения магнетитовой пыли из летучей золы и шлаков энергетики. В настоящее время при наличии очень эффективных магнетитовых сепараторов (неодимовые магниты) и большой потребности в мелкодисперсных железосодержащих материалах, возникли условия для широкого распространения процесса сепарации зол для:

- производства магнетитовой пыли для существующих и новых областей применений,
- производства зольных микронаполнителей с повышенными термоизоляционными свойствами;
- рационализации сырьевой экономики в промышленности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Morton W.E.:** Direct reduction of fly ash into ferro-silicon. Ash Utilization. Fourth International Ash Utilization Symposium, St. Louis, Mo., March 24, 25, 1976.
2. **Noone J.M.:** Mineral Extraction from fly ash. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London, September 16th-21st 1984.
3. **Harnby N., Burnet G., Kurtha M.:** Mineral recovery from coal conversion solid wastes. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London, September 16th-21st 1984.
4. **Kruger R.A., Verbaan B., Cornell D.:** Economical utilisation of pulverized fuel ash – recovery of minerals. AshTech'84 Second International Conference on Ash Technology and Marketing. London September 16th-21st 1984.
5. **Szpirt M.Ja., Żujkow B.Ł., Itkin Ju.W., Żurawlewa Je.T., Wołodarićkin I.Ch.:** Koncentrowanie elementów w produktach szłagania uglej. *Chimija Twiordowo Topliwa* 1985, nr 3.
6. **Abisheva Z.S., Blaida I.A., Ponomareva E.I., Beisembaev B.B.:** Reclaiming of fly ash generated by energy-producing coal combustion resulting in rare metals production. 12th International Coal Preparation Congress. Cracow, Poland, May 23-27, 1994.
7. **Ahn J-W., Um N-I., Han G-C., You K-S, Lee S-J., Cho H-C.:** Characteristic of Magnetic-Substance Classification from Coal Bottom Ash using Wet Magnetic Separator. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
8. **Moutsatsou A., Itskos G., Koukouzas N., Vounatsos P.:** Synthesis of Aluminum-Based Metal Matrix Composites (MMCs) with Lignite Fly Ash as Reinforcement Material. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
9. **Gropp J., Honaker R.:** Economical Recovery of Fly Ash-Derived Magnetics and Evaluation for Coal Cleaning. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
10. **Zhou H., Luo Y., Yu J., Ciao X.:** Feasibility of Recovery Alumina from Coal Fly Ash. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA
11. **Arroyo F., Font Q., Fernandez-Pereira C., Querol X., Chimenos J., Zeegers:** Germanium and Gallium Extraction from Gasification Fly Ash: Optimisation for the Up-Scaling of a Recovery Process. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
12. **Arroyo F., Camacho N.P., Coca P., Fernandez-Pereira C.:** Recovery of Germanium from Coal Fly Ash Leachate by Precipitation. WOCA 09. The World of Coal Ash. May 4-7, 2009 Lexington, Kentucky, USA.
13. **Brennan P.:** Processing of fly ash – New developments. International Conference EuroCoalAsh Copenhagen, Denmark – May 27-28, 2010.
14. **War Eagle Completes Successful First Phase Investigation Into The Recovery Of Germanium And Gallium From Coal Flyash In Spain.** 2007.
15. **Tajchman Z., Tora B.:** Badania nad optymalnym wykorzystaniem odpadów przemysłu hutniczego. X Konferencja „Problemy Zagospodarowania Odpadów”. Wisła 2004.
16. **Tora B., Kurzac M., Tejchman Z.:** Badania możliwości uzyskania pigmentów żelazowych z odpadów metalurgicznych. *Rocznik Ochrona Środowiska* 2009, tom 11, cz. 1.
17. **Łędzki A., Sanak-Rydlowska S., Tora B. i in.:** Możliwości zastosowania żendry powalcowniczej jako obciążnika cieczy ciężkiej. Konferencja „Odpady”. AGH. Kraków 2011.
18. **Hycnar J.:** Metody wydzielenia koncentratów metali z popiołów elektrowniowych. *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii* 1987, str 243-257.
19. **Zięba St.:** Surowce wtórne do nawożenia gleb. PWRiL. Warszawa 1982.
20. **Gibczyńska M., Meller E., Stankowski S., Wereszczaka J.:** Wpływ popiołu z węgla brunatnego na zawartość makroelementów w glebie i pobrane przez pszenżyto jare. Międzynarodowe Seminarium „Przetwarzanie i wykorzystanie popiołów wysokowapniowych”. Bełchatów, 22-24 lutego, 2006.
21. **Grzymek J.:** Metoda spiekowo-rozpadowa wytwarzania tlenku glinu i cementu portlandzkiego z łupków z Nowej Rudy i z pyłów dymnicowych względnie iłów turoszowskich. Ogólnokrajowa konferencja. Turoszów 1971.
22. **Kosacka E., Rajczyk K.:** Metoda spiekowo-rozpadowa J. Grzymka wytwarzania tlenku glinu i cementu z surowców krajowych. *Przegląd Geologiczny* 1974, nr 5.
23. **Hycnar J., Musiałik H.:** Badania możliwości otrzymania z odpadów paleniskowych koncentratów bogatych w pierwiastki rzadki. *Prace FPTE nr 2.7.9.Cz. I i II. ZEOPd.* Katowice 1968-1969.
24. **Bartoszek B., Ptasński Z., Wróblewski J., Brühl L.:** Urządzenia do separacji magnetycznej materiałów syplikich. Patent nr 48609.
25. **Ptasński Z.:** Zasady działania oraz charakterystyka separatora płytowego. *Biuletyn Postępu Techniczno-Ekonomicznego Zjednoczenia Energetyki. Seria Ciepłna* 1965, nr ¾.
26. **Garczyński H.:** Separator tlenków żelaza z podajnikiem pneumatycznym. *Energetyka* 1970, nr 12.
27. **Kochański B., Saratowicz A. i inni:** Badania i prace nad doskonaleniem metod i technologii separacji pyłu magnetytowego i innych surowców wtórnych z popiołów lotnych. *Problem Resortowy Temat 154-01. ZDUOEL.* Katowice 1971-1975.
28. **Ambroży J. i inni:** Ocena przydatności pyłu magnetytowego z popiołów lotnych do przygotowania cieczy ciężkiej zawieszinowej dla wzbogacania węgla. *Temat DNU – 283/75. GIG.* Katowice 1975.
29. **Zasypka** smarująca wlewnice do syfonowego odlewania stali. Patent 132988, 1980.
30. **Hycnar J.:** Zastosowanie popiołów elektrowniowych do wytwarzania materiałów pomocniczych dla hutnictwa stali i odlewnictwa żeliwa i staliwa. *Hutnik* 1988, nr 5.
31. **Sposób** odcinkowego izolowania termicznego i odcinkowego zwiększania przewodności cieplnej otworów wiertniczych. Patent 235294. 1988.
32. **Sposób** usuwania zanieczyszczeń olejowych, tłuszczów, ropy naftowej oraz jej produktów z wód i ścieków. Patent 149243. 1982.

**Я. Хыцнар, Б. Коханьски, Б. Тора.** Получение, свойства и применение магнетитовой пыли из побочных продуктов сжигания угля // Материалы IV научно-практического се-

минара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 19–20 апреля 2012 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 98 – 102.