

УДК 622.771.6

Обогащение угля в Польше

Описаны традиционные методы обогащения каменного угля в Польше: отсадка, тяжелосредная сепарация, флотация. Для снижения содержания пиритной серы в угле принята схема на основе мокрой винтовой сепарации с промпродуктовым циклом. Изложено, как шламовые отходы углеобогащения перерабатываются с помощью винтовых сепараторов и флотомашин, а крупнокусковая порода дообогащается в тяжелосредных установках с естественной разделительной средой.

Разведанные запасы каменного угля в Польше оцениваются в 60 млрд т, при этом основные месторождения находятся в Верхнесилезском каменноугольном бассейне на юге, Нижнесилезском угольном бассейне на юго-западе и Люблинском бассейне на юго-востоке страны. Первая угольная шахта в Силезии была построена еще в 1740 г. Из разведанных запасов каменного угля 67 % составляют энергетические, остальные – коксующиеся угли. Годовая добыча угля находится на уровне 139 млн т. Уголь – основной энергоноситель в стране, так как из него производится 85 % электрической энергии. Энергетический уголь, добываемый в шахтах, зольность угольных пластов которых менее 25 %, отгружается на теплоэлектростанции без обогащения, угли худшего качества обогащают. Ежегодно в энергетическом секторе страны потребляется 45 млн т угля, на коксохимические заводы отгружается 11 млн т угольных концентратов, а на экспорт – 15 – 20 млн т обогащенного топлива. По данным работы [1], в Польше работают 43 углеобогащительные фабрики, которые по мощности разделяются на группы, приведенные в таблице.

Каменный уголь основных месторождений страны отличается хорошим качеством: 84,5 %

угольных пластов имеют зольность менее 15 % и только 6 % пластов – более 25 %. Теплотворная способность свыше 80 % углей – более 25 МДж/кг. Польские угли сравнительно малосернистые: к низкосернистым (содержание серы менее 0,6 %) принадлежит 33,4 % угольных пластов, 36,8 % – к среднесернистым (содержание серы 0,6 – 1 %) и только 6,9 % пластов относятся к категории высокосернистых (содержание серы более 2 %) [1].

Обогащение коксующегося угля. Рядовой коксующийся уголь, поступающий на обогатительные фабрики, подвергается разделению по крупности на три машинных класса: крупный (+20 мм), мелкий (0,5 – 20 мм) и угольный шлам (0 – 0,5 мм). Крупный машинный класс обогащается тяжелосредной сепарацией, мелкий – гидравлической отсадкой, а угольный шлам – флотацией, как это представлено на рис. 1 [2]. Предварительное грохочение осуществляется на 80 % на польских грохотах типа

Производительность углеобогащительной фабрики по рядовому углю, т/сут	Количество углеобогащительных фабрик	
	Энергетика	Коксохимия
2000 – 1500	5	2
1500 – 1000	6	5
1000 – 500	16	5
Менее 500	4	–



А. С. КИРНАРСКИЙ,
доктор техн. наук
(«Инжиниринг Доберсек ГмБХ»,
Германия)

WK, PWK, PWP, PZ, PWE, ZDR, RT, а также на установках немецкого (Schenk, Siebtechnik, Hein Lehmann), американского (Allis Chalmers) и английского (Don Valley) производства.

Для тяжелосредной сепарации крупного угля (+20 мм) используются польские колесные сепараторы Disa и импортные наклонные колесные сепараторы Drew – Вору производства американской фирмы Denver. Мелкий уголь (0,5 – 20 мм) после обесшламливания обогащается как на польских (OBM, OM, OS), так и на немецких отсадочных машинах типа Batac и Allmineral. Угольный шлам крупностью 0 – 0,5 мм флотируется в механических (IZ5, IZ12) и колонных флотомашинах (FLOKOB 12, FLOKOB 24, FLOKOB 40) польского производства, а также применяются немецкие (Allmineral) и американские (Denver) флотокамеры.

Обезвоживание крупного концентрата (+20 мм) проводится в одну стадию на польских ситах (WP-2, PWP-1, PWE-1, PWE, PWL-Z), а мелкого концентрата (0,5 – 20 мм) в две стадии: сначала на грохотах типа OSO, а затем в фильтрующих центрифугах типа NAEL польского производства. На некоторых фабриках

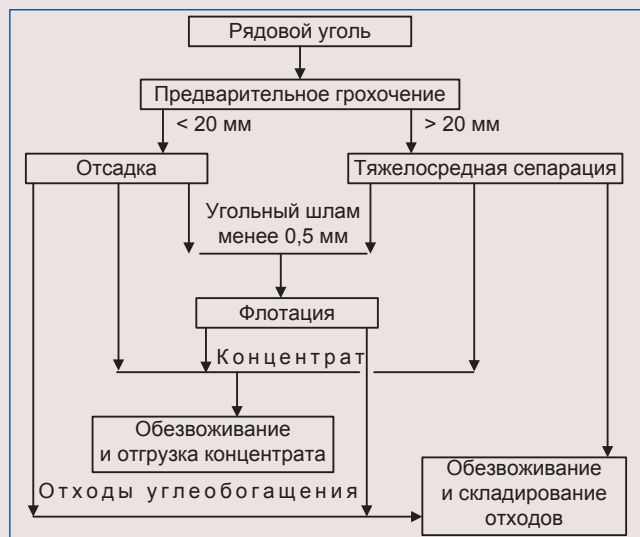


Рис. 1. Принципиальная схема обогащения коксующегося угля [2].

установлены немецкие фильтрующие вибрационные центрифуги типа HSG. Флотоконцентрат после сгущения в радиальных сгустителях обезвоживается в дисковых вакуум-фильтрах FTB, FTC польского производства. Практикуется также центрифугирование флотоконцентрата в осадительно-фильтрующих аппаратах исключительно импортного производства.

Флотационные отходы обрабатываются в такой технологической последовательности: тонкое грохочение – сгущение – обезвоживание в камерных или ленточных пресс-фильтрах. Камерные фильтр-прессы PF – ROW - 1/576 издавна изготавливают в Польше, а ленточные пресс-фильтры CPF-2200 импортируют из Германии. Сушильные отделения сохранились на 13 углеобогатительных фабриках.

В последнее время в углеобогатительной отрасли Польши утвердилась тенденция отказа от термической сушки и перехода на механическое обезвоживание угольных концентратов, для чего стали широко применять высокочастотные виброгрохоты в комплексе с осадительно-фильтрующими центрифугами типа Decanter. Высокие качественно-количественные показатели на углеобогатительных фабриках достигаются не только за счет использования современных эффективных технологий и эксплуатации технологического оборудования последнего поколения, но и благодаря полной автоматизации обогатительного производства, прежде всего тяжелосредней сепарации, отсадки и флотации.

Обогащение энергетического угля. В отличие от коксующегося угля, энергетический уголь обогащается по различным технологическим схемам. Одна из таких схем представлена на рис. 2. Согласно данной схеме [1] рядовой уголь крупностью до 250 мм сначала поступает в отделение углеподготовки, назначение которой состоит в удалении крупной породы, для чего используют разделение по прочностным свойствам угольных и породных кусков в процессе селективного дробления в дробилках Бредфорда. Исходный уголь разделяется на грохоте по крупности 200 мм, при этом надрешетный продукт направляется на дробилку Бредфорда, где угольные куски разрушаются и просеиваются под барабанное сито, а порода, имея более высокую твердость, транспортируется по поверхности барабана и разгружается в породный бункер.

После предварительного обогащения горной массы по контрастности прочностных свойств рядовой уголь при условии его приемлемой зольности подвергается сухому грохочению с выделением сухого отсева, который отгружается как товарный продукт. Если же зольность рядового угля превышает допустимые нормы, то на отсадку поступает весь рядовой уголь. В схеме применяется гидравлическая отсадка крупного и мелкого угля, каждая из которых работает в определенном гидродинамическом режиме.

Концентрат крупной отсадки подвергается классификации на два сорта: 25 – 65 и 0 – 25 мм с последующим дополнительным обезвоживанием последнего для достижения требуемой влажности. Промпродукт крупной отсадки разделяется по крупности 10 мм с последующим дроблением надрешетного продукта, после чего он обесшламливается и подвергается мелкой отсадке, где получают мелкий концентрат и отходы. Первичные шламы не флотируются, а обезвоживаются в фильтрующих центрифугах и присаживаются к мелкому концентрату. Вторичные шламы обязательно флотируются. Флотационные отходы обезвоживаются до влажности сухого складирования и вместе с мелкими отходами направляются в породный отвал. Илонакопитель в такой водно-шламовой схеме не применяется. По данным схемам перерабатывается легкообогатимый и средней обогатимости уголь.

В других случаях, когда уголь отличается трудной и сверхтрудной обогатимостью, назначается тяжелосредняя сепарация класса +20 мм, а мелкий класс подвергается отсадке. В остальном настоящее схемное решение мало чем отличается от ра-

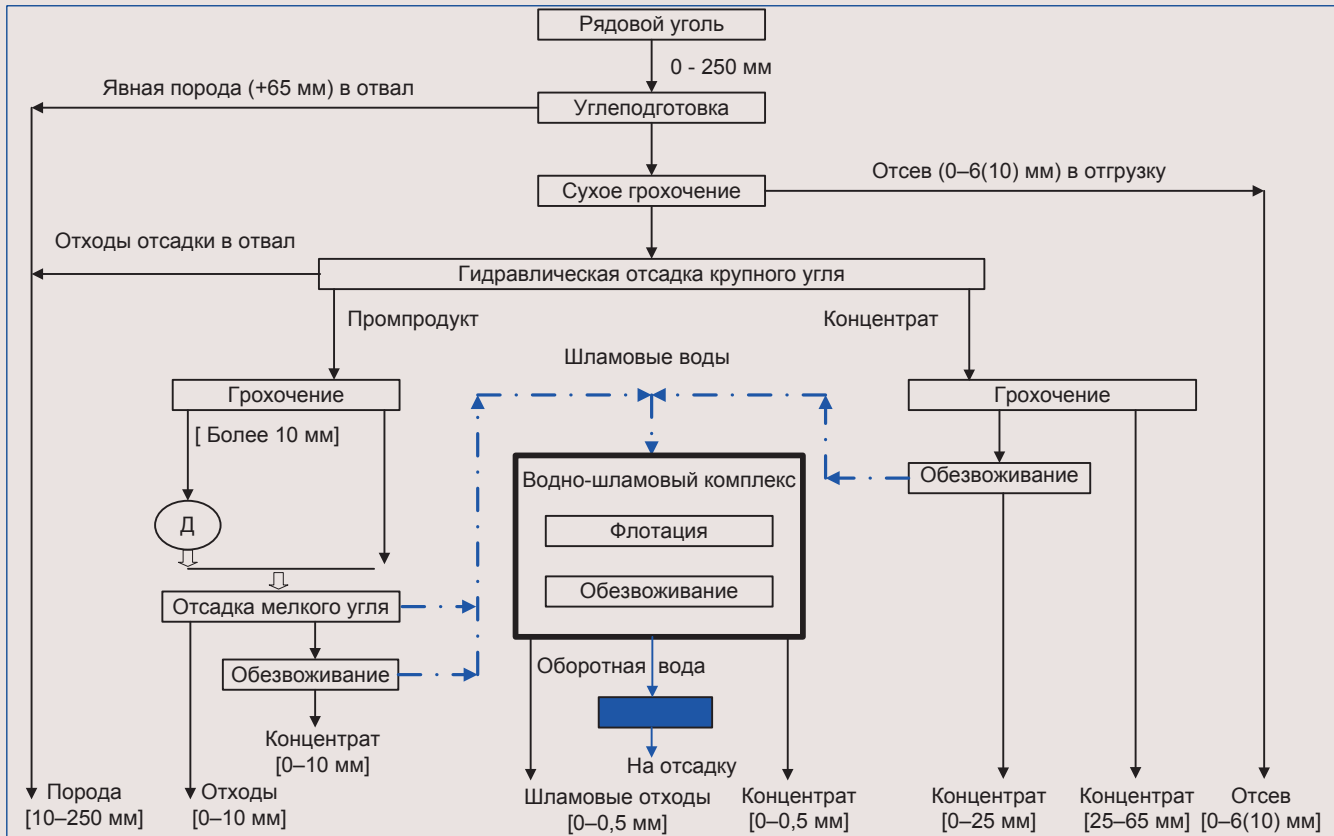


Рис. 2. Принципиальная схема обогащения энергетического угля гидравлической отсадкой. Д – дробление.

нее рассмотренной технологической схемы. Исключение составляет регенерация магнетитовой суспензии. Для переработки энергетического угля по указанным схемам применяется технологическое оборудование преимущественно польского производства.

На углеобогащательной фабрике «Богданка» [3], расположенной в Люблинском каменноугольном бассейне (недалеко от границы с Украиной) и перерабатывающей ежедневно 1200 т угля, на стадии угледготовки применяют виброгрохот WK-1 и щековую дробилку KWK-100U, а на предварительном грохочении рядового угля – виброгрохот PZ-2675. Для тяжелосредней сепарации крупного угля используют сепараторы DISA 2S 3000D и DISA 1S 3200, а для отсадки мелкого – отсадочные машины OS 24D3E. Предварительное обезвоживание концентрата осуществляется на ситах OSO и WP-2, а окончательное – в вибрационных центрифугах фильтрующего типа WOW-1,3. Угольный шлам на этой фабрике разделяется по крупности в гидроциклонах малого диаметра, при этом сгущенный продукт (зернистая низкосолевая часть шламов)

обезвоживается на дисковых вакуум-фильтрах FТС-150. Слив гидроциклонной установки, включающий илистую высокозольную часть шламов, сгущается в радиальном сгустителе и обезвоживается на ленточных пресс-фильтрах РТ-2000.

В условиях рыночной экономики цена формируется с учетом качества энергетических концентратов, что стимулирует совершенствование технологии углеобогащения. В качестве эталонного считается угольный концентрат, теплота сгорания Q_w^r которого 25,1208 МДж/кг, зольность $A^r=12\%$, содержание серы 1%, а влажность 8%. Тогда фактическая цена энергетического концентрата на выходе из обогащательной фабрики определяется по формуле [4]

$$S_e = r W_e C_e^b \left(\frac{Q_w^r}{25120,8} - \frac{S_t^r - 1}{10} - \frac{A^r - 12}{100} \right),$$

где S_e – цена 1 МДж энергетического концентрата, злотые;

r – поправка на крупность угля;

W_e – поправка на зольность отгружаемого концентрата ($W_e = 1$ при зольности 5 – 12%, $W_e = 0,98 \dots 0,82$,

при зольности 12,1 – 21 %, $W_e = 0,8$ при зольности 21,1 – 45 %);

C_e^b – цена эталонного энергетического концентрата, тыс. злотых.

Десульфурации угля механическими методами. Каменный уголь, разрабатываемый в восточной части Верхнесилезского угольного бассейна, отличается высоким содержанием серы. Для снижения содержания пиритной серы применяется гравитационная технология на основе мокрой винтовой сепарации (МВС). Рядовой уголь разделяется на традиционные машинные классы с последующим обогащением крупного угля (+30 мм) в тяжелосредних сепараторах, мелкого угля (2 – 30 мм) в трехпродуктовых отсадочных машинах и шлама (0 – 2 мм) на винтовых сепараторах. Промпродукт отсадки подвергается дроблению и возвращается на дообогащение.

Угольный шлам (0 – 2 мм) по крупности разделяется на две стадии: сначала по граничному зерну 0,5 мм в гидроциклонах диаметром 500 мм, а затем по граничному зерну 0,04 мм в гидроциклонах диаметром 150 мм. Полученные зернистые шламы крупностью 0,5 – 2 мм и 0,04 – 0,5 мм подвергаются мокрой винтовой сепарации с перечисткой промпродукта МВС в отдельном технологическом цикле. Крупнозернистый концентрат (0,5 – 2 мм) обезвоживается на виброгрохотах и фильтрующих вибрационных центрифугах вместе с концентратом отсадки, а тонкозернистый (0,04 – 0,5 мм) предварительно сгущается в гидроциклонах и обезвоживается в гипербарфилт্রে. Замкнутый водооборот осуществляется через радиальные сгустители и камерные пресс-фильтры. Термическая сушка концентрата МВС не применяется.

Описанная технология распространяется только на пиритную серу. Органическая сера остается в составе угольных концентратов и удаляется при сжигании угля из дымовых газов за счет применения установок десульфурации, например известковым методом, когда известняк взаимодействует с диоксидом серы с образованием искусственного гипса. Это позволило сократить втрое выбросы SO_2 в атмосферу.

Утилизация отходов углеобогащения. Объем заскладированных в илонакопителях шламовых отходов в Польше превышает 11 млн т [5]. Теплота их сгорания на уровне 2 – 15 МДж/кг, зольность колеблется от 19 до 51 %, а содержание серы в них – от 1 до 5 %. В зависимости от фактического качества шламов принимается решение отгружать их в каче-

стве вторичного топлива без обогащения, подвергнуть переработке или оставить для хранения.

Дообогащение отходов флотации. Показательная фабрика Polho [5], на которой перерабатываются лежалые отходы обогащения коксующегося угля зольностью 33 – 55 %. Запасы отходов составляют 1,9 млн м³. Выемка исходного шлама из илонакопителя осуществляется экскаваторами, а доставка на фабрику – автомашинами.

На фабрике шлам распускается и промывается в скруббер-бутаре диаметром 3,5 м и длиной 12 м, а затем подвергается грохочению по крупности 3 мм, при этом надрешетный продукт крупностью +3 мм выводится из процесса, а подрешетный крупностью –3 мм классифицируется на три узких машинных класса: 2,5 – 3; 0,4 – 2,5 и 0 – 0,4 мм. Два первых класса поступают на мокрую винтовую сепарацию, где получают концентрат и отходы зольностью 7 – 9 % и 70 – 80 % соответственно. Концентрат МВС обезвоживается сначала на дуговых ситах, затем на вибрационных и двух ленточных вакуум-фильтрах. Площадь фильтрования двух фильтров 75 м².

Тонкий угольный шлам крупностью 0 – 0,4 мм обогащается в две стадии в пневматических флотомашинах типа ЕКОF диаметром 5 м при дробной подаче флотореагентов (смесь Monotol 505 и Flotmix в соотношении 1 : 1). После первой стадии флотации получают флотоконцентрат зольностью 9 – 12 %, после второй – 15 – 20 %. Влажность концентрата на выходе составляет 24 – 28 %, поэтому для снижения влажности до 12 – 13 % он дополнительно подвергается термической сушке в сушильном барабане диаметром 2,8 м и длиной 16 м, при этом в качестве топочного газа используется отработанный коксовый газ, поступающий из рядом расположенного коксохимического завода.

В процессе обогащения угольных шламов наблюдается их десульфурация: среднее содержание серы до и после составляет соответственно 1,2 и 0,85 %. Общие отходы флотации имеют зольность 65 – 70 %. Флотоконцентрат первой стадии обезвоживается совместно с концентратом МВС, а флотоконцентрат второй стадии в отдельном цикле – на дисковых вакуум-фильтрах. Отходы флотации сгущаются с добавлением флокулянта «Праестол» в радиальном сгустителе диаметром 15 м до содержания твердого 450 – 650 г/л, а осветленный слив возвращается в оборот. Сгущенные отходы обезвоживаются далее в шести камерных пресс-фильтрах

польского производства PF-ROW-1/576 и складываются в выработанное пространство илонакопителя или идут на рекультивацию земель.

Несмотря на значительные капитальные и эксплуатационные затраты по данному проекту прибыль от реализации товарного концентрата составляет 40 %, что свидетельствует о рентабельности переработки лежалых отходов флотации.

Дообогащение крупной породы. Исследования породы терриконов обнаруживают в ней значительное количество горючей массы, особенно после обогащения в конусах Чанса, где в качестве утяжелителя использовали кварцевый песок. Для обогащения породы терриконов используют тяжелосредние циклоны с естественным утяжелителем, в качестве которого служит высокочольная фракция отходов, содержащая не менее 40 – 50 % класса 0 – 1 мм. В естественном утяжелителе рекомендуется иметь 20 – 30 % частиц крупностью 0 – 0,05 мм и 20 – 40 % зерен крупностью 0,05 – 0,5 мм [6]. Плотность суспензии с утяжелителем указанного гранулометрического состава 1220 – 1450 кг/м³. В такой схеме предусмотрено предварительное дробление породы до крупности 20 мм.

Иногда проводится предварительное грохочение по граничной крупности 45 мм с последующим дроблением надрешетного продукта +45 мм, после чего подрешетный и дробленый продукты классифицируются по крупности 20 мм, надрешетный продукт крупностью +20 мм подвергается дроблению. В других случаях исходная порода разделяется по крупности 20 мм и обогащению подвергается класс –20 мм как наиболее углесодержащий. Затем порода поступает в сборник, в который подается предварительно сгущенная суспензия, утяжелителем которой является породный шлам крупностью 0 – 1 (0,5) мм.

Полученная смесь перекачивается в тяжелосредние циклоны диаметром 250 или 380 мм. Легкая фракция (концентрат) обезвоживается сначала на дуговом сите, затем на вибрационном грохоте и одновременно классифицируется на товарные сорта 10 – 20 и 0,5 – 10 мм, которые отгружаются потребителям в качестве низкосортного топлива. Аналогично обезвоживается тяжелая фракция, при этом ее классифицируют на классы 0 – 3 и 20 – 3 мм, которые находят сбыт в строительной промышленности. В отдельных случаях тяжелая фракция первой стадии тяжелосреднего обогащения подвергается перемешиванию в спиральном тяжелосреднем сепараторе.

Подрешетные продукты класса –1 (0,5) мм после предварительного сгущения в гидроциклонах применяются как естественная тяжелая суспензия. Зольность отходов после дообогащения повышается до 80 %. Акционерным обществом «Халдекс» (Польша – Венгрия), разработавшим данную технологию извлечения горючей массы из породных отвалов, переработано 144 млн т породы углеобогачительных фабрик Польши [7]. Поскольку качество отходов отсадки и тяжелосреднего обогащения в последнее время значительно улучшилось, то отпала необходимость их дообогащения. На оставшихся в эксплуатации трех установках типа «Халдекс» дообогащается только шахтная порода и терриконники 60 – 80-х годов.

Выводы. Анализ работы углеобогачительных предприятий Польши свидетельствует о высокой эффективности и производительности применяемых процессов и оборудования. Учитывая высокую сернистость украинских углей, представляет интерес опыт польских коллег по удалению пиритной серы механическими методами. При переработке разубоженной горной массы Донбасса и Львовско-Волынского бассейнов могут быть полезны технологические решения по использованию разделения с естественной суспензией.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Blaschke W.* Coal preparation in Poland – current situation and development prospects / W. Blaschke, L. Gawlik // 8 Conference on environment and mineral processing. – Czech Republic, Ostrava, 2004. – Pp. 305 – 312.
2. *Kowalczyk J.* Jastrzebie Coal Company – output quality and coal processing / J. Kowalczyk, G. Strzelec // Journal of the Polish Mineral Engineering Society. 2004. – Vol. 5. – № 2 (13). – Pp. 16 – 19.
3. *Bienko W.* Lubelski Wegiel «Bogdanka» S.A. – process engineering of the coal preparation plant / W. Bienko // Journal of Polish Mineral Engineering Society. December. – 2004. – Vol. 5. – № 2 (13). – Pp. 45 – 49.
4. *Ney R.* Hard Coal as a Source of Clean Energy in Poland / R. Ney, W. Blaschke, U. Lorenz, L. Gawlik // Proceedings of 19th World Energy Congress, 5 – 9 September 2004. – Australia, Sydney. – 2004. – Vol. 2. – Pp. 2 – 17.
5. *Blaschke W.* Preparation of coal slurries deposited in ground settling ponds / W. Blaschke, S. Blaschke // Acta Montanistica Slovaca. – 2005. – № 10. – Pp. 17 – 21.
6. *Бутовецкий В. С.* Охрана природы при обогащении углей: справ. пособие / В. С. Бутовецкий. – М.: Недра, 1991. – 231 с.
7. *Kucharzyk P.* Haldex Polish Hungarian Joint Stock Company – technology of coal preparation plants for mining waste / P. Kucharzyk // Journal of the Polish Mineral Engineering Society. – 2004. – Vol. 1. – № 2 (13). – Pp. 44 – 49.