

УДК 662.778:622.7.012

Докт. геол.-минер. наук ПАНОВ Б.С., канд.хим.наук ЯНКОВСКАЯ Э.В. (ДонНТУ), канд.техн.наук ЛАПТИЕНКО А.Я. (Физико-технический институт им. Галкина), студ. БАСАНЦЕВА М.Е. (ДонНТУ)

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ УГЛЕЙ

Наибольшими потребителями углей в Украине являются тепловые электростанции (ТЭС). Основу ТЭС (по состоянию на конец 1999г.) составляли 104 энергоблока с мощностью 150–800 МВт, на которых в структуре топливного баланса на газ приходилось 47,8%, мазут — 20,8%, уголь — 31,4%. Для обеспечения безопасности Украины в области энергетики принято решение развивать угольную стратегию топливного снабжения ТЭС [1].

В России, которая по данным геологов обладает крупнейшими, а возможно и самыми крупными запасами природного газа в мире, электростанции могут рассчитывать на преимущественное потребление природного газа в течение не более 20 лет. Не приходится рассчитывать и на мазут, получаемый из нефти, т.к. в связи с ожидаемым переходом нефтеперерабатывающих заводов на углубленную переработку нефти с целью увеличения выхода светлых моторных топлив, нефтяных остатков, в том числе и мазута в стране будет не хватать. По мнению большинства специалистов, именно углю в XXI веке предстоит стать ведущим энергоресурсом тепловых электростанций. Сегодня доля угля на ТЭС России не превышает 28%, но уже с начала XXI века предсказывается его рост до 35% к 2010–2015 гг., а в 2025–2030 — до 40–45% [2].

Это в свою очередь должно привести к широкому внедрению в практику принципиально новых методов подготовки угля к сжиганию на ТЭС, т.е. к глубокой переработке угля либо на электростанциях, либо на месте его добычи, что может оказаться особенно перспективным при наметившейся тенденции объединения энергетиков с угольщиками с образованием энергоугольных компаний. Глубокая переработка углей необходима, прежде всего, потому, что по зольности, сернистости и другим показателям уголь мало пригоден в его исходном виде для эффективного сжигания на электростанциях. Уже сейчас в отвалах электростанций Украины накоплено более 300 млн. т золошлаковых отходов. Лишь небольшая их часть находит применение в строительстве, производстве строительных материалов, в качестве удобрений и т.д. Во многих случаях возможности расширения золоотвалов практически исчерпаны.

В углях обнаружены практически все элементы Периодической системы элементов Д.И.Менделеева. Однако, содержание только девяти из них выше 0,1%. Эти элементы (S, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti) являются макрокомпонентами минеральной части, основными (за исключением серы) золообразующими элементами. Остальные, в количествах менее 0,1%, называют малыми элементами (микроэлементами). При изучении закономерностей накопления микроэлементов в углях и их поведения при обогащении и сжигании существенное значение имеют сведения о формах соединений микроэлементов в твердых топливах. В первую очередь проводят изучение тех микроэлементов, которые могут либо представлять экологическую опасность, либо реально или потенциально промышленную ценность. К промышленно ценным относят: U, Ge, Ga, Mo, V, Hg, Re, B, Li, Ag, Se, PЗЭ, Sc, Be, Au; к экологи-

чески опасным: As, Hg, Be, V, Zn, Pb, Mo, U, F, Cl, Ni, Cr, Sb, B, Cu, Th, ^{40}K , Ra, U, следовательно, золы углей являются сырьевым источником редких элементов [3,4].

Массовая доля общей серы в углях колеблется в широких пределах (0,1–11%). В углях большинства месторождений бывшего СССР она составляет 0,5–2%, в Донецком бассейне — 3–6%, т.е. большинство углей Донецкого бассейна относятся к высокосернистым. Выделяют разновидности серы: органическую, сульфидную, сульфатную. При сжигании и газификации углей большая часть содержащейся в них серы переходит в газообразные соединения SO_x . В Украине очистка дымовых газов от SO_x на ТЭС не осуществляется. Сульфиды присутствуют в углях преимущественно в виде пирита, редко марказита. Пирит является постоянным компонентом угольных пластов и на отдельных участках его содержание достигает 10–20%. В углях пирит находится в виде конкреций различной формы и размеров (от долей мм до 1 м). В наибольшей степени распространены высокодисперсные включения пирита (<100 или <40 мкм), тесно связанные с органическим веществом [5].

Московским геологом Г.С. Калмыковым [6], изучавшим высокосернистые нижнекарбоновые угли Кизеловского бассейна на Среднем Урале, было установлено, что чем мельче дробится уголь, тем больше в нем определяется пиритной серы и тем меньше органической серы ($S_{\text{орг}}$). Например, при измельчении углей от 0,2 до 0,01 мм содержание в них $S_{\text{орг}}$ снижалось, в среднем, на 0,19%. Г.С. Калмыковым обнаружено, что выделения пирита имеют размеры вплоть до 1 мкм, причем 1/3 всех выделений была мельче 100 мкм. Эти данные подтверждаются и при исследовании ряда других углей. Например, в карбоновых углях Сиднейского бассейна Канады размер большинства дисперсных выделений пирита лежит в интервале 0,05–0,01 мм, но иногда доминируют мельчайшие частицы размером всего в доли микрона. В ЛТ — золе легких фракций (<1,35 г/см³) трех польских каменных углей с помощью комплекса методов (рентгеновский дифрактометрический анализ, Фурье-ИК-спектроскопия, Мессбауэровская спектроскопия) было доказано присутствие пирита, который преобладал среди железосодержащих минералов. Это интерпретируется как свидетельство тесной ассоциации пирита с угольным органическим веществом, на 67–89% состоящим в этих фракциях из витринита. То есть это означает присутствие микроминеральной формы пирита, не поддающейся гравитационному фракционированию [6].

Концентраторами многих малых элементов могут быть высокочольные фракции (плотность более 1,6–1,7 г/см³) угольного вещества. В то же время, носителями микроэлементов являются фракции плотностью менее 1,6–1,8 г/см³ с преимущественным содержанием органического вещества [3]. По-видимому, носителем многих микроэлементов в углях является мелкодисперсная пиритная его часть, в которой должны быть сконцентрированы элементы, образующие труднорастворимые сульфиды (Hg, As, Ag, Sb, Zn, Pb и др.), т.е. концентраторами многих микроэлементов в исходном угле являются высокодисперсные частицы (сульфиды железа) размером менее 50–70 мкм, ассоциированные с органическими веществами и не отделяемыми от них при разделении по плотности даже в лабораторных условиях. Особая роль пирита как концентратора и носителя ртути подчеркнута в работах А.Г.Дворникова. Сотрудниками кафедры ПИ и ЭГ ДНТУ совместно с геологической службой США были проведены исследования образцов углей ряда действующих шахт Донбасса. Эти исследования подтвердили вывод о преимущественном нахождении ртути в пирите.

Многочисленные исследования состава углей Донецкого бассейна показывают, что основная масса серы представлена в виде мелких пиритных включений

(FeS₂), полное раскрытие которых достигается при измельчении углей до крупности менее 0,1 мм. Результаты обогащения тонкоизмельченных углей на обогатительных фабриках по традиционным технологиям, основанным на гравитационных эффектах разделения горючей массы топлива и его неорганических примесей, показывают низкую эффективность десульфурации, составляющую не более 15–20%.

Десульфурация тонкоизмельченных углей, а следовательно, последующее извлечение из пиритной части суммы микроэлементов, возможно методом высокоградиентной магнитной сепарации [7]. Было установлено, что из углей марки АШ в магнитный продукт извлекаются на 60–85% такие элементы, как As, Ni, Pb, и Ag; из углей марки Т на 60–75% извлекаются Pb, Cr, Ni, Zn, Ga, а Mn, Co, Sn, Zr, Ba — на 40–50%.

В Донецком физико-техническом институте НАНУ разработан высокоградиентный криомагнитный (сверхпроводниковый) сепаратор СКМ, с помощью которого возможно обогащение слабомагнитных мелкозернистых минералов вплоть до микронных размеров. Сепаратор может быть использован для очистки угольного топлива от серы и золы. Таким образом, могут быть созданы новые техногенные месторождения редких малых элементов углей и одновременно решены проблемы выбросов SO_x и токсичных элементов в атмосферу.

При очистке углей высокоградиентный магнитный сепаратор производительностью 10–100 т/час извлекает более 90% пиритной серы и до 40–50% прочих золотобразующих примесей. При этом потребляемая мощность не превышает 15–20 кВт.

Высокоградиентная магнитная сепарация в сильных магнитных полях, создаваемых сверхпроводниковыми обмотками, является выгодным технологическим процессом. С помощью данного метода из угля может быть извлечена основная часть серы и «полезные» (токсичные) элементы, а затем из сконцентрированной магнитной фракции возможно извлечение большого количества ценных элементов в виде товарных продуктов.

Так, например, максимальное содержание в угле Pb (г/т) до 300 (среднее значение 1,37), As — 700 (среднее 68), Ag — 0,05 (среднее 0,003). То есть, при извлечении пиритной части угля в ней может концентрироваться (г/т) Ag — 0,9; Pb — 60000; As — 130000.

По сравнению с иными способами создания магнитного поля высокоградиентная магнитная сепарация в сильных магнитных полях обеспечивает значительно меньшее энергопотребление и повышенную производительность в пересчете на единицу массы оборудования. Сепаратор такой конструкции имеет в 10 раз меньший вес и потребляет в 10 раз меньше электроэнергии по сравнению с традиционным сепаратором (без сверхпроводниковых обмоток) аналогичной производительности.

Внедрение метода высокоградиентной криомагнитной сепарации позволит минимизировать выбросы SO_x и большой группы тяжелых металлов в атмосферный воздух и попутно получить комплексное сырье – концентрат пирита, с которым связаны многие ценные элементы.

Библиографический список

1. **Азаров С.И.** Оценка влияния выброса вредных примесей на окружающую среду при производстве электроэнергии сжиганием угля. Экотехнологии и ресурсосбережение, 2001. — № 3. — С. 53–55.
2. **Белосельский Б.С.** Газ или уголь? (какое топливо будет сжигаться на электростанциях России в XXI веке?). Энергосбережение и водоподготовка, 1999. — №4. — С. 16–19.

3. Шпирт М.Я., Володарский И.Х., Зекель Л.А. Закономерности поведения малых элементов в процессах переработки углей. Российский химический журнал. Т. XXX VIII, №5, 1994. — С. 43–47.
4. Капинус Е.И., Шпильный С.А. и др. Зола и шлаки каменных углей Донбасса как источник извлечения цветных металлов. Экотехнологии и ресурсосбережение, 1996. — № 5–6. — С. 85–91.
5. Шпирт М.Я., Клер В.Р., Перциков И.З. Неорганические компоненты твердых топлив. — М.: Химия, 1990. — 239 с.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. — Екатеринбург, 2002. — 422 с.
7. Высоцкий С.П., Мастика Ю.С. и др. Десульфурация и обогащение углей перед их сжиганием на ТЭС. Энергетика и электрификация, 1993. — № 3. — С. 53–56.

© Панов Б.С., Янковская Э.В., Лаптиенко А.Я., Басанцева М.Е., 2004

УДК 621. 039.7

Канд. геол.-мин. наук ШАБАЛИН Б.Г. (ИГОС НАН и МНС Украины)

ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Вследствие увеличения удельного веса атомной энергии в мире возрастает количество отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и высокоактивных отходов (ВАО), образующихся при его переработке.

В настоящее время ОЯТ изымают и выдерживают в воде в специальных бассейнах — отстойниках, а потом в централизованных хранилищах (водных или сухих) для снижения активности за счет распада кратко существующих изотопов. По истечении сроков выдержки в промежуточном хранилище топливо должно быть направлено или на химическую переработку, или в специализированное хранилище для долговременного хранения, или на захоронение.

Использование ядерной энергии базируется на применении замкнутого или открытого ядерного топливного циклов (ЯТЦ). Замкнутый ядерный топливный цикл это цикл, в котором ОЯТ, выгруженное из реактора, перерабатывается для изъятия урана и плутония с целью повторного изготовления в качестве ядерного топлива. Открытый ЯТЦ — цикл, в котором отсутствующая переработка ОЯТ. Замкнутый ЯТЦ снижает затраты урана, привлекает в цикл плутоний, уменьшает радиоактивность и токсичность материалов для пожизненного сохранения, упрощает нераспространение ядерных материалов, обеспечивает стабильную работу атомных станций независимо от добычи урана, а также использование ценных радионуклидов и трансураниевых элементов.

На сегодня химическая переработка ОЯТ для изготовления новых топливных элементов осуществляется в России, Франции и Великобритании, а также планируется в Японии, Китае и Индии. Германия отправляет ОЯТ на переработку в Англию и Францию. Все эти страны рассматривают ОЯТ как ценное энергетическое сырье. Мировая практика переработки ОЯТ предусматривает выделение из него и очистку только урана и плутония с направлением основной массы радионуклидов в высокоактивные отходы. Вместе с тем некоторые радионуклиды (^{237}Np , ^{244}Cm , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{99}Tc , платиновые металлы и другие) могут быть использованы в других областях промышленности. В таблице 1 приведены основные радиоизотопы ВАО, образующиеся при переработке ОЯТ.