

Таким образом, при разработке прогрессивных схем дегазации с использованием специальной полевой газосборной выработки ключевой задачей, определяющей эффективность и безопасность ведения очистных и дегазационных работ, является определение рационального места и параметров заложения выработки. Разработанный и апробированный методический подход к решению этой задачи позволяет для различных горно-геологических и горнотехнических условий угольных шахт обосновать выбор схемы дегазации и оценить ее эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. Создание индустрии шахтного метана в топливно-энергетическом комплексе Украины // Геотехническая механика, 1998. – № 10. – С. 3-8.
2. Курносое С.А. Дегазация газонасыщенного угленосного массива при столбовой системе разработки пологих угольных пластов // Геотехническая механика, 2008. – № 74. – С. 215-222.
3. Булат А.Ф. О перспективах развития в Украине отрасли по извлечению метана угольных месторождений / А.Ф. Булат, В.В. Камышан // Геотехническая механика, 2002. – № 32. – С. 3-9.
4. Зборщик М.П. Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве. – К.: Техника, 1978. – 176 с.
5. Эффективность использования защитных пластов для предотвращения газодинамических явлений / А.В. Анциферов, Д.И. Ходырев, В.А. Канин и др. // Уголь Украины. – 2002. – № 11. – С. 10-12.

УДК 622.17: 662.236.3

В.Л. Приходченко, к.т.н.,
Е.А. Слащева к.т.н.,
Н.В. Коваль, м.н.с
(ИГТМ НАН Украины)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОКСОВАНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ

Наведені результати лабораторного коксування вугільних шламів і вугілля Львівсько-Волинського басейну, проаналізована динаміка виходу газу, його найважливіших компонентів та теплоти спалювання по мірі нагріву в залежності від складу вихідної сировини

STUDY OF COKING PROCESS WASTE COAL

Results of laboratory coking coal sludge and coal Lvov-Volyn Basin, studied the dynamics of gas output, its main components and the heat of combustion as heating depending on the composition of the feedstock

Накопления углеотходов сопровождают основные процессы угледобывающих и углеобогащительных предприятий, в результате чего на территории Украины имеются 1063 породных отвала, занимающих более 8,4 тыс. га земли с 1,4 млрд. м³ твердых отходов, и 35 различных шламонакопителей, площадью более 2,3 тыс. га с более чем 130 млн. м³ шламов [1].

В настоящее время в связи с увеличением количества отработки тонких пластов с присечкой боковых пород, качество рядовых энергетических и коксующихся углей снижается. В то же время на поверхности земли угленосные от-

ходы и шламы представляют собой крупные техногенные месторождения, удобные для разработки и вторичного использования.

Как известно, одним из способов термопереработки углей является коксование, процесс которого широко освоен в промышленности. Коксование происходит при нагреве углей без доступа воздуха до 1400°C , в результате чего получают газ, смолу и кокс, являющийся основным продуктом. Особый интерес представляет также коксовый газ с теплотой сгорания до 24500 Дж/м^3 , используемый для отопления коксовых, мартеновских и других промышленных печей.

В связи с необходимостью вторичного использования угольных шламов и низкосортных углей, представляющих углепородные отходы с содержанием углерода до 30-60 %, в ИГТМ НАНУ проведен цикл теоретических и лабораторных исследований, направленных на совершенствование методов термопереработки углеотходов.

В лабораторных условиях моделировалось 3 режима термопереработки:

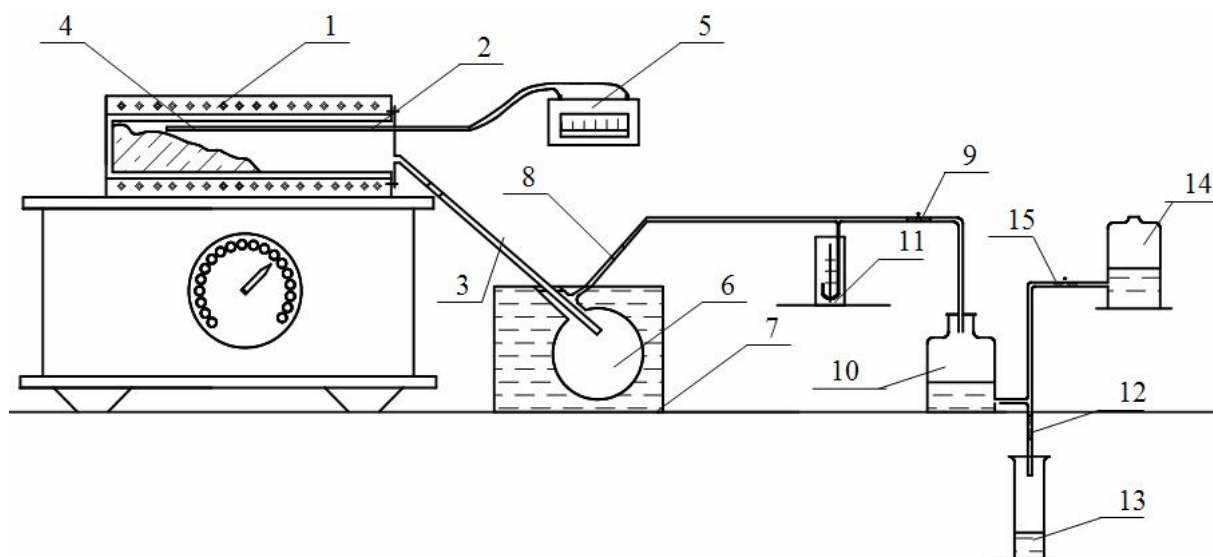
- полукоксование при температуре нагрева 520°C - 600°C ;
- коксование при температуре нагрева 900°C - 1100°C ;
- плазменное сжигание при температурах нагрева до 2500°C .

При проведении данных исследований поставлены следующие цели:

- определить объемы и состав продуктов термопереработки углеотходов;
- выяснить факторы влияния параметров процесса термопереработки на состав и объемы образующихся продуктов;
- определить оптимальный режим термопереработки для образования экономически выгодных продуктов.

Сущность способов заключалась в моделировании на лабораторной установке нагревания в стандартных условиях без доступа воздуха определенной массы углепородного материала до конечной температуры 520°C (процесс полукоксования) и до 900°C (процесс коксования) с получением твердого остатка, газо- и парообразных продуктов термического разложения [2, 3].

Схема лабораторной установки показана на рис 1. В печь 1 устанавливали реторту 2, куда помещали исследуемый материал (шихту). Реторта представляет собой цилиндрическую толстостенную емкость, изготовленную из жаропрочной стали, которая закрывается съемной крышкой. Крышка имеет специальную газоотводную трубку 3 и приваренный к ней чехол для термопары 4. Для регистрации температуры процесса термопару подключали к гальванометру 5. К газоотводной трубке присоединяли колбу-приемник смолы и пирогенетической воды 6, которая находится в резервуаре 7 с водой для охлаждения. Приемник 6 соединен посредством газоотводной трубки 8 через вентиль 9 с газометром 10 для сбора газа полукоксования. Давление, при котором происходит отбор продуктов полукоксования, контролировали водяным манометром 11, а поддерживали – дозированным сливанием воды путем открывания вентиля 12 при полукоксовании в водомерный цилиндр 13. В другом случае для поддержания давления на уровне использовали уравнительный сосуд 14, соединенный с газометром через вентиль 15.



1 – печь; 2 – реторта; 3 – отводная трубка реторты; 4 – термопара; 5 – гальванометр; 6 – приемная колба; 7 – сосуд с охлаждающей смесью; 8 – газоотводная трубка колбы; 9 – вентиль; 10 – газометр; 11 – U-образный манометр; 12 – вентиль; 13 – цилиндр мерный; 14 – уравнильный сосуд; 15 – вентиль.

Рис. 1 – Общий вид лабораторной установки

Выход продуктов реакции определяли следующим образом. Шихту всыпали внутрь реторты, закрывали крышкой, которую затягивали болтами для герметизации и нагревали, соблюдая определенный режим подъема температуры. Жидкие продукты, выделяющиеся при нагревании навески, конденсировались в приемной колбе 6, а газы, проходя через отводную трубку колбы 8, поступали в газометр 10 для дальнейшего анализа.

После проведенного эксперимента оставшийся твердый продукт в реторте отдельно подвергали взвешиванию. Приемную колбу также взвешивали вместе с продуктами конденсации, а их количество определяли по разности веса колбы после проведения эксперимента и до него. Количество образовавшегося газа находили косвенным путем, вычитая из веса исходной пробы вес жидких продуктов и полукокса. Отдельный сбор и анализ пирогенетической влаги не проводили. Полученный газ подвергали последующему анализу для определения его химического состава.

В качестве сырья для лабораторных экспериментов были отобраны пробы шлама со шламонакопителя № 1 Червоноградской ЦОФ, а также гумусового угля шахты «Червоноградская» (пл. n_8 – «Межириченский») и сапропелевого угля шахты «Межириченская» (пл. n_8 , лава 454) Львовско-Волинского бассейна. Детальный элементный и технический анализ проб представлен в работах [4, 5], который показал, что гумусовые угли относятся к низкозольному сырью, а сапропелевые угли и шламы к высокозольному с содержанием углерода 34,8-25,6 % соответственно. Поэтому низшая теплота сгорания исходного сырья представляет: для гумусовых углей – 26,5 МДж/кг, для сапропелевых – 12,2 МДж/кг, а для шлама 13,0-15,5 МДж/кг.

При проведении лабораторных исследований особый интерес, как уже было подчеркнуто, представляет процесс среднетемпературного коксования с конеч-

ной температурой нагрева 900^0 C , при достижении которой на отдельных температурах (400^0 C , 600^0 C , 800^0 C , и 900^0 C) осуществлялся отбор продуктов терморазложения (газообразных, жидких и твердых) с анализом их количества и состава. Кроме отдельных проб углей и шлама были исследованы комплексные пробы шлам:уголь в соотношениях 2:1, 1:1, 1:2, испытанные при трех различных скоростях нагрева и трех размерах зерен исходного материала.

Состав газа анализировался по его основным компонентам: CO_2 , $C_n H_m$, O_2 , H_2 , CH_4 и N_2 , содержание которых позволяет определять низшую теплоту сгорания газа по эмпирической зависимости вида:

$$Q_n^p = 59,1 \cdot C_n H_m + 12,65 \cdot CO + 10,8 \cdot H_2 + 35,85 \cdot CH_4, \text{ МДж/м}^3, \quad (1)$$

где $C_n H_m$, CO и др. – концентрации компонентов в газе; коэффициенты – удельная теплота сгорания соответствующих компонентов, МДж/м^3 .

Как показали результаты эксперимента, терморазложение углей, шламов и комплексных проб в режиме среднетемпературного коксования позволяет получать прямопропорциональное увеличение объемов газа в зависимости от температуры процесса.

Гумусовые угли с меньшей зольностью и выделяют большее количество газа по сравнению с сапропелевыми углями, а те, в свою очередь, выделяют газа на 10 % больше, чем шламы. Впервые в результате экспериментов установлено, что терморазложение шламов позволяют получать значительные объемы газа, достигающие $190\text{-}210\text{ м}^3/\text{т}$ при температурах $800^0\text{-}900^0\text{ C}$.

По расчетным данным, теплота сгорания коксового газа из гумусового угля в диапазоне температур $400^0\text{-}900^0\text{ C}$ снижается практически линейно от 8 МДж/м^3 до 4 МДж/м^3 , в то время как теплота сгорания коксового газа из сапропелевого угля при том же режиме температур возрастает с $6,5\text{ МДж/м}^3$ до $11,0\text{ МДж/м}^3$. Подобная зависимость увеличения теплоты сгорания наблюдается и при коксовании шламов, однако теплота сгорания газа из них значительно выше, чем из углей, и достигает максимальных значений $18\text{-}24\text{ МДж/м}^3$, что представляет интерес для его энергетического использования. Изменение теплоты сгорания газа из шламов при увеличении температуры нагрева описывается квадратичной функцией (достоверность аппроксимации $R^2=0,912$) вида:

$$Q_r = -2 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 0,034 \cdot t - 0,5512, \text{ МДж/м}^3, \quad (2)$$

где t – температура нагрева, ^0C .

Таким образом, впервые экспериментами ИГТМ НАНУ выявлена перспективность получения газа с высокой теплотой сгорания при коксовании шламов.

При нагревании комплексных проб шлам:уголь в режиме температур $400^0\text{-}900^0\text{ C}$ установлено следующее:

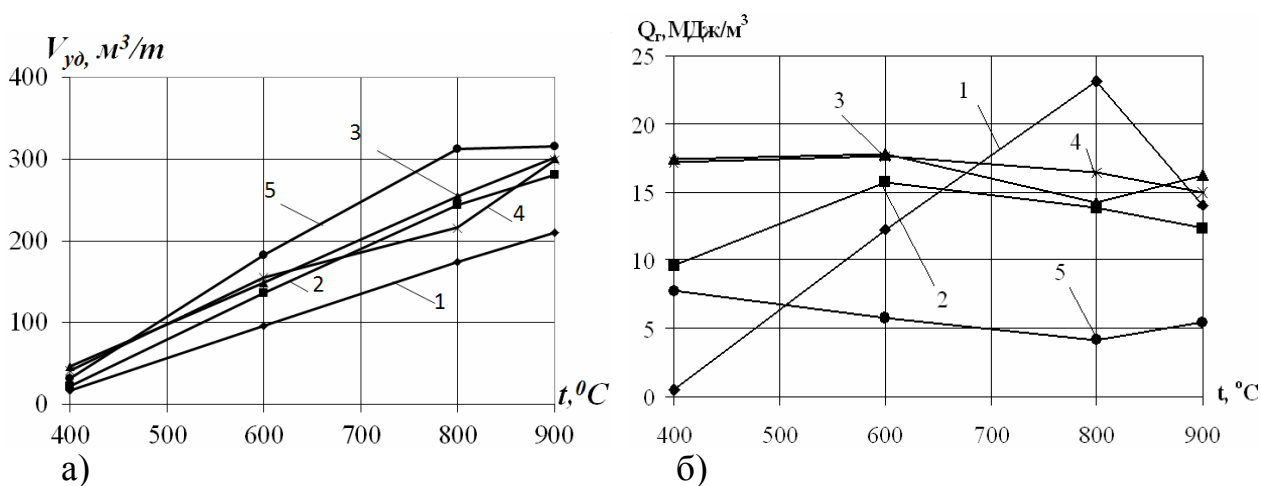
– присутствие углей в совместных пробах шлам:уголь повышает выход газа по сравнению со шламами на 5-15 %, однако выход газа из комплексных проб меньше, чем из соответствующей марки угля;

– присутствие в пробах шлам:уголь соответствующей марки углей приводит к увеличению теплоты сгорания газа: по сравнению с гумусовым углем до 3,5 раз, по сравнению с сапропелевым до 2-3 раз, причем, чем больше в пробе угля и меньше шлама, тем выше теплота сгорания газа коксования (рис. 2 и 3).

Результаты коксования углепородных отходов различного исходного состава подтвердили возможность корректировки количества и состава газа путем составления комплексной пробы шлама и угля с заданным соотношением основных составляющих для получения максимальных объемов газа с повышенной теплотой сгорания.

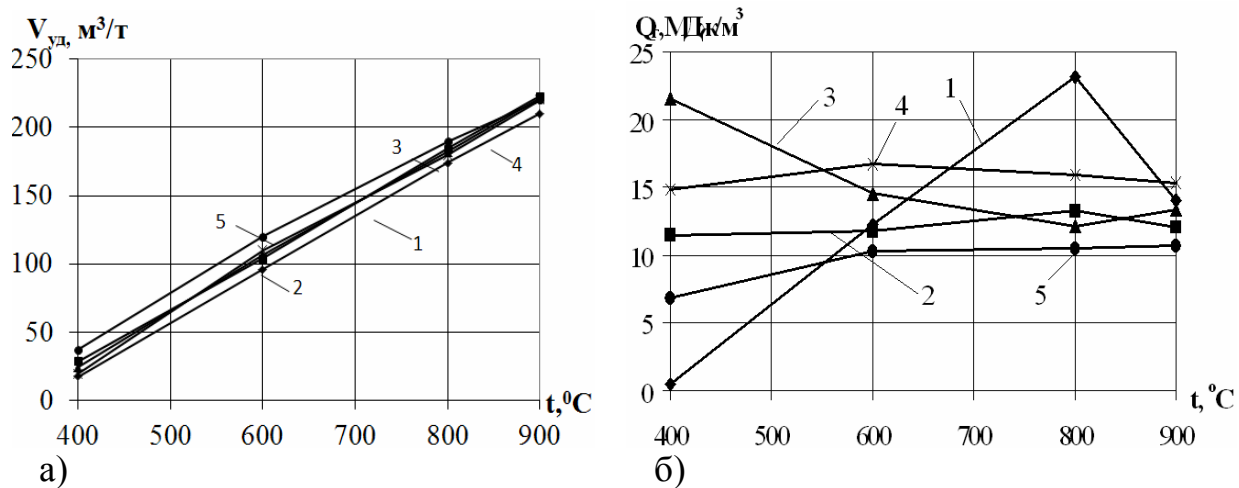
Согласно формуле (1), максимальную теплоту сгорания газа создает наличие в его составе непредельных углеводородов C_nH_m и метана CH_4 . Поэтому были проанализированы количество этих веществ и их изменение с температурой нагрева.

Объемы выхода метана из исследованных проб приведены на рис. 4, а, характер изменения которых практически совпадает с характером изменения теплоты сгорания тех же проб. Динамика выхода непредельных углеводородов в составе коксового газа шламов проиллюстрирована на рис. 4, б, характер изменения которых соответствует аналогичному синусоидальному изменению для углей. Выход водорода из шламов также увеличивается по мере роста температуры нагрева, как в углях, и содержание CO в газе из шламов также возрастает в 2-10 раз.



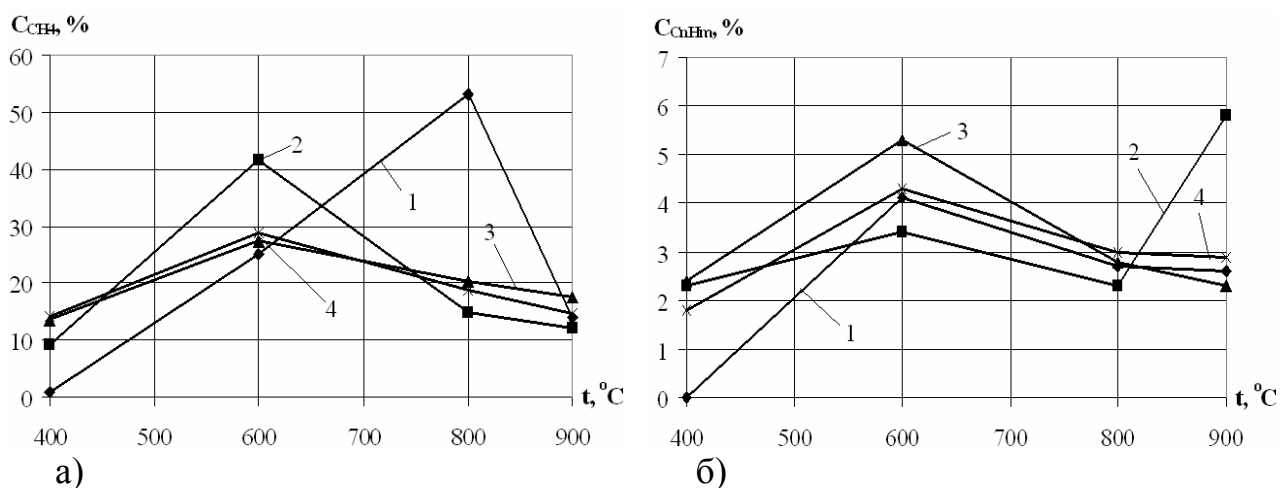
1 – усредненная проба шлама; 2 – шлам:уголь = 2:1; 3 – шлам:уголь = 1:1; 4 – шлам:уголь = 1:2; 5 – уголь

Рис. 2 – Влияние температуры коксования шлама с гумусовым углем на выход газа: а – удельный выход, б – теплота сгорания



1 – усредненная проба шлама; 2 – шлам:уголь = 2:1; 3 – шлам:уголь = 1:1; 4 – шлам:уголь = 1:2; 5 – уголь

Рис. 3 – Влияние температуры коксования шлама с сапропелевым углем на выход газа: а – удельный выход; б – теплота сгорания



1 – усредненная проба; 2 – проба № 2; 3 – проба № 3; 4 – проба № 8

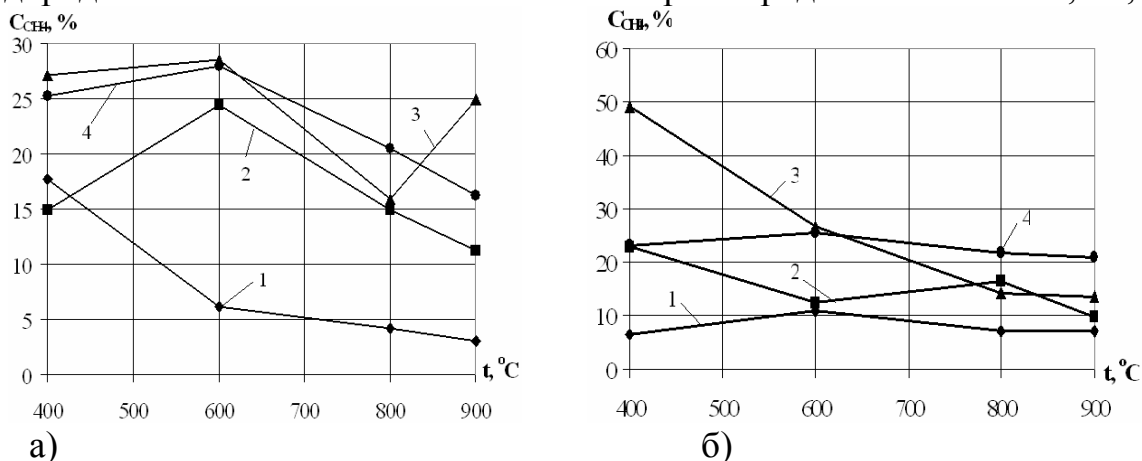
Рис. 4 – Изменение содержания метана и непредельных углеводородов из шламов от температуры коксования: а – метан; б – непредельные углеводороды

Аналогичным образом анализируем тенденции выхода отдельных компонентов газа из комплексных проб шлама с гумусовым и сапропелевым углями. В совместной пробе шлама с гумусовым углем (рис. 5, а) выход метана носит достаточно сложный характер с однозначным максимумом его содержания на 600°C для всех проб. Минимальные значения содержания метана, как и теплоты сгорания газа коксования, отмечены в пробе с наибольшим содержанием шлама. При увеличении температуры свыше 600°C количество метана в газе комплексной пробы шлам:гумусовый уголь постепенно уменьшается в 1,5-2,0 раза относительно первоначального. В комплексных пробах шлама с сапропелевым углем в диапазоне 400 – 900°C прослеживаются следующие закономерности (рис. 5, б). При двукратном превышении в комплексной пробе содержания шлама концентрация метана плавно снижается с небольшим минимумом на 600°C, а в пробах шлам:сапропелевый уголь по мере роста температуры нагрева

происходит экспоненциальное уменьшение выхода метана, а в пробе с максимальным содержанием угля – практически постоянен, что аналогично характеру теплоты сгорания газа полукоксования.

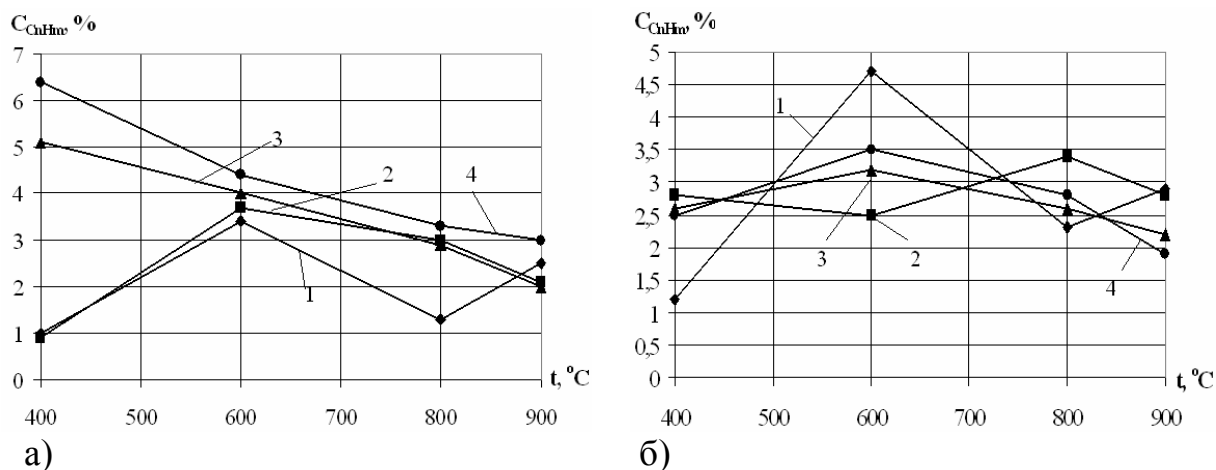
Различия в динамике выхода непредельных углеводородов с увеличением температуры, в соответствии с исходным составом проб шлама с гумусовым и сапропелевым углями, приведены на рис. 6.

Повышение содержания гумусового угля увеличивает концентрацию C_{nH_m} , которая, в свою очередь, имеет тенденцию к постепенному снижению с ростом температуры. В пробах шлама с сапропелевым углем выход непредельных углеводородов колеблется относительно некоторого среднего значения 2,5-3,0 %.



1 – уголь; 2 – шлам:уголь = 2:1; 3 – шлам:уголь = 1:1; 4 – шлам:уголь = 1:2

Рис. 5 – Выход метана при совместном коксовании проб шлам:уголь от температуры нагревания: а – проба угольного шлама и гумусового угля; б – проба угольного шлама и сапропелевого угля



1 – уголь; 2 – шлам:уголь = 2:1; 3 – шлам:уголь = 1:1; 4 – шлам:уголь = 1:2

Рис. 6 – Изменение выхода непредельных углеводородов при совместном коксовании проб шлам-уголь от температуры нагревания: а – проба угольного шлама и гумусового угля; б – проба угольного шлама и сапропелевого угля

Рассматривая выход водорода в комплексных пробах шлама с гумусовым углем, можно говорить об увеличении его объема по мере роста температуры почти в 2 раза по сравнению с выходом водорода из гумусового угля. Та же

тенденция наблюдается и в пробах шлама с сапропелевым углем, но это увеличение не такое существенное как для сапропелевого угля (в 1,5 раза). Также в комплексных пробах шлама с углями любого типа увеличивается выход CO с ростом конечной температуры нагрева, причем, чем больше в пробе шлама, тем выше концентрация в коксовом газе монооксида углерода.

Лабораторное моделирование процессов коксования различных по составу углепородных смесей и отходов углеобогащения, а также анализ динамики выхода и теплоты сгорания газов позволили получить следующие результаты.

1. Получены зависимости объема выделяющегося газа от температуры нагрева и исходного состава сырья: шламов, гумусового и сапропелевого углей шахт Львовско-Волынского бассейна. Выходы газа из гумусового угля на 30 % больше, чем из сапропелевого, что, при одинаковых условиях проведения экспериментов, объясняется различием исходного состава углей.

2. Исследованиями в режиме коксования показано, что выход твердых, газообразных и жидких продуктов терморазложения шламов зависит от конечной температуры нагрева. Так, при увеличении температуры углей и шламов от 400 до 900⁰С наблюдается прямопропорциональное увеличение объема газа. Максимальный объем газа выделяется из гумусовых углей, из сапропелевых – на 30 %, а из шлама – на 40-45 % меньше. Добавки к шламу гумусовых углей увеличивают выход газа до 40 %, а сапропелевых – на 8-5 % по сравнению с выходом газа из шламов.

3. Теплота сгорания газа при коксовании шламов на 50 % выше, чем у сапропелевых углей, в 3,5 раза – чем у гумусовых, а ее увеличение зависит от температуры нагрева и с достаточной точностью аппроксимируется полиномом вида $Q_r = -2 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 0,034 \cdot t - 0,5512$, МДж/м³.

Доказано, что теплота сгорания газа при коксовании смеси шлама с углями выше, чем при коксовании углей, в составе смеси с гумусовым углем – в 3,5 раза, сапропелевым – в 2-3 раза.

4. Теплота сгорания газа зависит от его состава и на ее увеличение, в основном, влияют количество водорода и метана. График теплоты сгорания, полученный при пиролизе шлама, практически синхронен с графиком содержания в газе метана, но имеет несколько больший коэффициент наклона в связи с ростом содержания водорода. Аналогичная тенденция получена для гумусового угля. На теплоту сгорания некондиционного сапропелевого угля больше влияет содержание водорода.

5. При коксовании углей или других углепородных смесей происходит взаимодействие промежуточных продуктов термодеструкции одного угля с поверхностью зерен (или их остатков) другого угля, а также промежуточных продуктов термодеструкции разных углей между собой. В итоге образующиеся продукты при нагревании сложной углепородной смеси представляют собой не механическую сумму составляющих, а единую систему с новыми свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворкин, Л.И. Строительные материалы из отходов промышленности / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. – 368 с.

2. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода продуктов полукоксования: ГОСТ 3168 – 93 (ИСО 647 – 74). – Действителен от 1993-10-21. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1993. – 20 с. – (Государственный стандарт Украины).

3. Тайц, Е. М. Методы анализа и испытания углей как сырья для промышленного использования / Е.М. Тайц, Н. Г. Титов, Н. В. Шишаков. – М.: Госгортехиздат, 1961. – 316 с.

4. Отчет о НИР (промежуточный) ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины; Руководитель А.Ф. Булат. – Днепропетровск, 2007. – 130 с. – № 0107U002003; инв № 6792.

5. Отчет о НИР (промежуточный) ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины; Руководитель А.Ф. Булат. – Днепропетровск, 2008. – 111 с. – № 0107U002003; инв № 6880.

УДК 622.794.3:622.74.3

А.И. Шевченко, к.т.н.
(ИГТМ НАН Украины)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА

Наведено результати раніше виконаних досліджень з переробки вугільних шламів. Виконано аналіз складу шламів. Запропоновано збагачення вугільних шламів грохоченням для одержання концентрату з максимальним вмістом вуглецю при мінімальній зольності

DEFINITION OF POSSIBILITY OF ENRICHMENT COAL SLIMES FOR CONCENTRATE RECEPTION

Results before the executed researches on processing coal slimes are resulted. The structure analysis slimes is made. Enrichment coal slimes screening for reception of a concentrate with the maximum maintenance of carbon is offered at minimum ash level

За последние годы в Украине резко возрос интерес к переработке шламов, содержащихся в накопителях [1, 2]. Это обусловлено рядом причин:

- дефицит энергоносителей, который предопределяет устойчивый спрос на угольную продукцию;

- высокое содержание горючей массы в накопителях – до 70 %;

- низкая стоимость сырья, не превышающая 10 грн/т;

- несложность добычи и ее невысокая себестоимость.

Актуальность исследований и анализа практического опыта переработки шламов различной категории связаны с громадными их запасами в накопителях. При этом зольность в различных накопителях колеблется в пределах 30...70 %. Таким образом, углеродная часть в виде мелких угольных частиц составляет весомую долю. Для более полного извлечения угля необходимы новые технологии и техника, способные решить эту актуальную техническую проблему. Учитывая огромные суммарные запасы накопителей и высокий процент содержания в них угля, они представляют собой техногенные месторождения, которые требуют освоения. Себестоимость углеродной массы, доизвлекаемой из накопителей, несравненно ниже добываемого рядового угля. Область его использования при соответствующем качестве (при зольности не более 27...28 %) очень большая (преимущественно это – энергетика), а при брикетировании и