

Топливо и энергетика

УДК 66.091.3

DOI: 10.33070/etars.3.2019.01

Шульга И.В.¹, канд. техн. наук, **Мирошниченко Д.В.²**, докт. техн. наук,
Рудыка В.И.³, докт. эконом. наук, **Цымбал А.А.³**

¹ ГП «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИН)», Харьков

ул. Веснина, 7, 61023 Харьков, Украина, e-mail: ko@ukhin.org.ua

² Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

ул. Кирпичева, 2, 61002 Харьков, Украина, e-mail: dvmir79@gmail.com

³ ГП «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕДПРИЯТИЙ КОКСОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ» (ГП «ГИПРОКОКС»), Харьков

ул. Сумская, 60, 61002 Харьков, Украина, e-mail: giprokoks@ic.kharkov.ua

Химико-технологическая переработка углей различных регионов Украины

Рассмотрена сырьевая база газификации на основе энергетических каменных углей Западного Донбасса марки ДГ. Для различных вариантов технологического оформления процесса определены параметры газификации (количество и состав дутья, температура, давление, размеры и количество реакторов, количество и свойства получаемого газа, в том числе его состав, теплота сгорания, содержание примесей); потребность в энергоресурсах (пар, электроэнергия, кислород, вода); количество получаемой попутной продукции, отходов производства и образующихся сточных вод. Показано, что наилучшие показатели достигаются при использовании технологий, предусматривающих газификацию угля в потоке. Образующийся генераторный газ предусматривается использовать для получения моторных топлив. Объем переработки каменного угля – 550 тыс. т/год. *Библ. 12, табл. 6.*

Ключевые слова: газификация, каменные угли, моторные топлива, генераторный газ, энергетические ресурсы.

По оценкам Всемирного совета по энергетике, мировых запасов нефти на текущий момент осталось приблизительно на 40 лет, природного газа – на 60 лет, твердых горючих ископаемых, в первую очередь угля, – на 240 лет [1]. В соответствии с этим именно твердое топливо должно быть главным источником обеспечения потребностей человечества в энергетических ресурсах и сырье. Мировая добыча угля в по-

следние десятилетия возрастает в среднем на 3,5 % в год и, по прогнозам, должна достичь к 2020 г. 7 млрд т, увеличившись вдвое по сравнению с 1995 г. [2].

Ситуация в Украине в целом соответствует общемировой [3]. Имеющиеся в нашей стране геологические запасы твердого и жидкого топлива очень малы, добыча нефти и природного газа уже сейчас обеспечивает потребности на-

ционального хозяйства лишь на 13 и 20 % соответственно [4]. Это приводит к зависимости экономики страны от импортных поставок. В сложившихся условиях необходима разработка технологий, позволяющих использовать в первую очередь те ресурсы органического сырья, которые есть в Украине, — ископаемый уголь, запасы которого у нас составляют почти 50 млрд т.

В имеющихся запасах есть все марки углей — от бурых до антрацита, что создает предпосылки для их эффективного использования и в традиционных сферах (коксохимии [5] и энергетике [6]), и в новых процессах, прежде всего химико-технологической переработки. При этом необходимо ориентироваться на энергетические угли, доля которых в запасах с учетом газовых углей составляет 87 %, прежде всего на малометаморфизованные (марок Б, Д, ДГ и Г), которыми представлены почти 2/3 геологических запасов.

В ходе разработки технических решений по технологии переработки углей использовали результаты выполненных ранее исследований, в частности, направленных на создание комплекса по газификации угля и производству метанола на Баглейском КХЗ (ныне ЧАО «ЮЖКОКС») [7]. При этом в качестве сырьевой базы процесса были определены угли Западного Донбасса.

В данной работе нами в качестве потенциальной сырьевой базы рассматривались газовые угли Западного Донбасса шахт «Степная» и «Юбилейная». В связи с тем, что угли указанных шахт Западного Донбасса находят приме-

нение в качестве компонентов угольных шихт при коксовании, в качестве сырьевой базы рассматривали также энергетические длиннопламенные угли шахт «Днепровская» и им. Героев Космоса ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Сопоставительные характеристики технологических свойств этих углей, по данным исследований их представительных проб в ГП «УХИН», приведены в табл.1.

По комплексу технологических свойств в качестве сырьевой базы газификации рекомендуются не используемые для коксования энергетические угли шахт «Терновская» и им. Героев Космоса ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», так как они имеют наибольшие объемы добычи, минимальную сернистость, благоприятный элементный состав и достаточно высокую теплоту сгорания, что способствует при их газификации увеличению выхода генераторного топлива с большей величиной теплоты сгорания и росту КПД процесса газификации.

Ранее было показано, что наиболее подготовленными к промышленному внедрению в Украине являются следующие технологии газификации ведущих мировых разработчиков [7]: в неподвижном (стационарном) слое германской фирмы Lurgi; в потоке угледутьевой смеси также германской фирмы Siemens; противоточная кислородная газификация водоугольной пульпы фирмы Техасо (США).

Для различных вариантов технологического оформления процесса были определены следующие технологические параметры: количество и состав дутья (расходы пара (воды) и кислорода на 1 т рабочей массы угля); параметры состояния реакционной зоны (температура и давление); размеры и количество реакторов; количество и свойства получаемого газа (выход газа из 1 т рабочей массы угля, содержание в нем подлежащих удалению примесей, состав газа после очистки, его плотность и теплота сгорания).

При определении технологических параметров вначале на основе данных источников научно-технической информации о мировой практике работы различных промышленных установок по газификации угля, систематизированных в работах [8, 9], предварительно задавались количеством и составом дутья, а также параметрами состояния реакционной зоны. Затем на основании приведенных в табл.1 данных о свойствах угля шахты им. Героев Космоса (как имеющей наибольший объем до-

Таблица 1. Технологические свойства углей

Показатель	I	II	III	IV
Объем добычи, тыс т	1714	1237	1520	2398
Зольность рядового угля A_d , %	37,5	35,0	39,9	41,6
Влажность рабочая W_r , %	6,5	8,5	11,0	10,4
Выход летучих веществ V_d , %	35,6	33,6	36,3	37,2
Сернистость общая S_d , %	2,3	2,5	1,5	1,1
Элементный состав, %:				
углерод C_d	71,9	71,7	70,9	69,0
водород H_d	3,5	5,4	5,3	5,1
азот N_d	1,3	1,3	1,3	1,2
сера S_d	2,3	2,5	1,5	1,1
Кислород O_d	6,0	4,1	6,0	8,6
Зольность A_d	15,0	15,0	15,0	15,0
Теплота сгорания низшая Q_{r1} , ккал/кг	6391	6234	5864	6126
Температура плавления золы, °С	1490	1420	1420	1450
Толщина пластического слоя U , мм	13	8	6	6

бычи) составляли материальный и тепловой балансы газификации в соответствии с методикой, изложенной в работе [10].

Расчеты вели на 100 кг исходного угля. При составлении материального баланса количество молей основных компонентов генераторного газа: CO, CO₂, H₂, H₂O (непрореагировавший водяной пар) – определяли из системы четырех уравнений с четырьмя неизвестными:

– баланс углерода



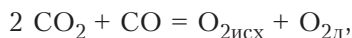
где $C_{\text{исх}}$ – количество углерода в угле, поступающем в зону газификации, моль;

– баланс водорода



где $\text{H}_2\text{O}_{\text{исх}}$ – количество воды, поступающей с исходным углем, моль; $\text{H}_2\text{O}_{\text{д}}$ – количество водяного пара, поступающего с дутьем (либо воды, использованной для приготовления пульпы), моль; $\text{H}_{2\text{исх}}$ – количество водорода, поступающего с исходным углем, моль;

– баланс кислорода



где 2 – количество атомов кислорода в молекуле CO₂; $\text{O}_{2\text{исх}}$ – количество кислорода, поступающего с исходным углем, моль; $\text{O}_{2\text{д}}$ – количество кислорода, поступающего с дутьем, моль.

В качестве четвертого уравнения для технологий газификации в потоке (Siemens и Техасо) использовали соотношение концентраций (количества молей) различных веществ в получаемом газе по практическим данным [10, 11]:

$$K = \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2}.$$

Для более медленного процесса газификации в стационарном слое (технология Lurgi) четвертым уравнением было выражение для константы равновесия обратимой реакции:



$$K_p = \frac{\text{CO} \cdot \text{H}_2\text{O}}{\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2}.$$

Величину K_p определяли по зависимости ее логарифма от абсолютной температуры (в градусах К) в реакционной зоне Т:

$$\lg K_p = 7,62 - 1,61 \lg T - \frac{2559}{T} - \frac{21261}{T^2}.$$

Полученное решение системы из четырех уравнений проверяли составлением теплового баланса (по высшему пределу) получения генераторного газа рассчитанного состава для условий принятых ранее температур газа в реакционной зоне и на выходе из реактора. Допустимую величину тепловых потерь принимали на уровне 5–10 %. Получение такой величины потерь свидетельствовало о правильности принятых значений расхода пара (воды) и кислорода в составе дутья на газификацию.

В случае выхода величины тепловых потерь за пределы принятого интервала 5–10 % расходы пара (воды) и кислорода корректировали в соответствии с результатами расчета: при слишком больших тепловых потерях снижали количество молей подаваемого в составе дутья кислорода за счет соответствующего увеличения количества молей воды (пара). Дальнейший расчет вели методом последовательных приближений.

По количеству молей образовавшихся продуктов газификации определяли выход генераторного газа (м³/т угля). Количество подлежащих выделению из генераторного газа примесей определяли следующим образом:

– для смолы при газификации в стационарном слое – 50 % от ресурсов ее образования без доступа воздуха;

– для аммиака, исходя из расхода на его образование 25 % содержащегося в угле азота (принимали, что остальное его количество переходит в газ);

– для сероводорода, исходя из расхода на его образование 80 % содержащейся в угле серы (принимали, что остальное ее количество переходит в шлак).

Состав генераторного газа определяли по количеству молей образовавшихся продуктов газификации, а затем по составу рассчитывали свойства газа: его плотность и теплотворную способность.

Размеры реакторов и их производительность принимали по имеющимся в источниках научно-технической информации данным о промышленно освоенных в мире технологических процессах, а необходимое количество реакторов – по заданным объемам переработки угля и рассчитанным количествам получаемого газа.

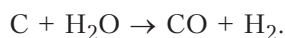
Технологические параметры газификации для различных вариантов оформления процесса приведены в табл.2.

Анализ этих данных свидетельствует, что в технологии Lurgi требуется наибольший расход пара. Это связано в первую очередь с недостаточной интенсивностью процесса (малыми ско.

Таблица 2. Технологические параметры газификации

Показатель	Lurgi	Siemens	Texasco
Расход компонентов дутья:			
пар, т/т угля	0,44	0,11	–
кислород, м ³ /т угля	560	850	536
Вода для получения пульпы, т/т угля	–	–	1,00
Параметры реакционной зоны:			
максимальная температура, °С	950	1300	1600
давление, атм	25	7	40
Выход очищенного газа, м ³ /т угля	1680	2120	1652
Состав очищенного газа, % (об.):			
СО	42,7	48	55
Н ₂	30,6	27	31
СО ₂	20,7	10	12
СН ₄	5,7	?1	?1
Н ₂ + Аг	0,3	14	?1
Содержание примесей в газе, г/м ³ :			
Н ₂ S	5,5	4,5	5,5
NH ₃	2	1,4	2
смола	24	–	–
Теплотворная способность газа, ккал/м ³	2583	2248	2565
Плотность газа, кг/м ³	1,011	0,831	0,958
Размеры реактора, м:			
диаметр	4,7	2	7,6
высота	11,0	20	40
Количество рабочих реакторов	2	3	1

ростями газификации и временем пребывания твердофазного материала в реакторе в течение 0,5–1,0 ч), что требует применения избытка пара, степень разложения которого не превышает 50 % в реакции



Для обеспечения протекания этого эндотермического (протекающего с поглощением тепла) процесса необходимо сжигать в нижней части реактора значительную долю углерода топлива. В результате газ характеризуется максимальным содержанием СО₂, который является балластом. Кроме того, при нахождении угля в течение достаточно длительного времени в верхней части реактора (где практически отсутствует кислород) развиваются процессы термической деструкции, вследствие чего образуются заметные количества метана и смолы, которые в данном случае являются побочными продуктами. Возникает необходимость дополнительных стадий: очистки газа от смолы и конверсии метана. В целом суммарное количество СО + Н₂, получаемых из 1 т угля, при использовании технологии Lurgi наименьшее (1230 м³/т). Кро-

ме того, данная технология требует использования крупного сортового угля (более 6 мм), который наиболее дефицитен в связи с развитием переизмельчающих уголь механизированных технологий добычи.

Технология Siemens характеризуется более рациональным составом дутья: большим количеством используемого кислорода и меньшим водяного пара. В результате содержание СО₂ в газе наименьшее среди всех трех процессов, а суммарный выход целевых компонентов: СО и Н₂ — максимальный (1590 м³/т угля).

При использовании технологии Техасо исключается использование в составе дутья пара. Вместо этого газифицируется водяная пульпа. Затраты тепла на испарение воды в реакторе снижают выход газа и КПД реактора. Часть этого снижения компенсируется применением повышенных температур и давлений, поэтому содержание СО₂ в газе по сравнению с предыдущим процессом возрастает всего на 2 % — от 10 до 12 %. Суммарное содержание в газе СО и Н₂ максимальное, но общий выход этих компонентов на 1 т угля (1420 м³/т) меньше, чем по технологии Siemens, в связи с уже отмеченным снижением выхода газа.

Содержание примесей (сероводорода и аммиака) в получаемом газе определяется сернистостью исходного угля и содержанием в нем азота, а также общим количеством получаемого газа: чем выше выход газа, тем содержание примесей в нем ниже.

Теплотворная способность газа, полученного по технологии Siemens, меньше, чем по двум другим технологиям, так как при газификации пылевидного топлива в потоке получаемый газ разбавляется азотом, используемым для подачи измельченного угля в реактор. Изменение плотности газа обусловлено в первую очередь содержанием в нем наиболее тяжелого компонента — СО₂.

Технология Техасо характеризуется наибольшей производительностью промышленно освоенных реакторов. Переработка 550 тыс. т угля в год обеспечивается одним рабочим реактором производительностью по сырью 75 т/ч. По технологии Lurgi требуются два рабочих реактора производительностью по 50 т/ч каждый.

По технологии Siemens достаточный объем информации есть только по реакторам производительностью 25 т/ч, эксплуатируемым в те-

Таблица 3. Потребность в энергоресурсах

Показатель	Lurgi			Siemens			Texaco		
	т	ч	год	т	ч	год	т	ч	год
Пар, т	0,44	27,6	242000	0,11	6,9	60500	–	–	–
Кислород, тыс. м ³	0,56	35,2	308072	0,85	53,4	467609	0,54	33,7	294869
Электроэнергия, кВт·ч	42	2638	23105376	172	10802	94622016	125	7850	68766000
Вода, м ³ :									
химочищенная оборотная	0,44	27,6	242000	0,11	6,9	60500	0,33	20,7	181542
техническая оборотная	1,26	79,1	693161	0,95	59,7	522622	0,33	20,7	181542
загрязненная оборотная	12	754	6601536	–	–	–	6,7	421	3685858
загрязненная	–	–	–	1,5	94,2	825192	1	62,8	550000

ние 25 лет на комбинате Schwarze Pumpe (Восточная Германия). Аналогичный реактор введен в эксплуатацию в 2008 г. на предприятии в Suaz Vresova (Чехия). Таких рабочих реакторов требуется три для обеспечения заданной годовой производительности по углю. Информации о реакторах производительностью 60 т/ч, предусмотренных на двух предприятиях в Китае, на данном этапе недостаточно для принятия обоснованного решения о применении таких реакторов.

На основании технологических параметров газификации и анализа источников научно-технической информации была определена потребность в энергоресурсах при использовании различных технологий: удельная (на 1 т перерабатываемого угля), часовая (62,8 т/ч по углю) и на весь годовой выпуск продукции. Эта потребность приведена в табл.3.

Расходы пара и кислорода обусловлены технологическими параметрами газификации. Минимальный расход электроэнергии характерен для технологии Lurgi как менее интенсивной и требующей меньших затрат на углеподготовку (нет необходимости в дроблении угля). Наибольший расход электроэнергии – по технологии Siemens, где требуется максимальное количество кислорода.

Таблица 4. Объемы получаемой попутной продукции, количество отходов производства и сточных вод

Показатель	Lurgi			Siemens			Texaco		
	т	ч	год	т	ч	год	т	ч	год
Попутная продукция									
Электроэнергия, кВт·ч	–	–	–	–	–	–	53,3	3348	29326054
Пар, т	–	–	–	–	–	–	0,33	20,7	181332
Смола, т	0,04	2,5	22000	–	–	–	–	–	–
Серная кислота, т	0,026	1,6	14080	0,026	1,6	14080	0,026	1,6	14080
Сульфат аммония, т	0,01	0,65	5700	0,01	0,65	5700	0,01	0,65	5700
Отходы									
Шлак, т	0,14	8,74	76580	0,14	8,74	76580	0,14	8,74	76580
Сточная вода, м ³	0,25	15,5	135780	0,08	5,0	43780	–	–	–

В технологии Texaco химически очищенная вода необходима для питания котлов-утилизаторов, в двух других технологиях – для получения пара для газификации. Техническая оборотная вода необходима во всех технологиях для первичного охлаждения газа перед очисткой. Загрязненная оборотная вода в технологии Lurgi необходима для орошения коллектора газа, выходящего из реакторов при температуре 480 °С, а в технологии Texaco – для орошения скрубберов, в которых охлаждается газ, выходящий из котлов-утилизаторов второй ступени с температурой 300 °С. Безвозвратный расход загрязненной воды необходим в технологии Texaco для приготовления водоугольной пульпы, в технологии Siemens – для закалки газа (охлаждения его до 70 °С) в нижней части реактора.

Объемы получаемой попутной продукции, количество отходов производства и сточных вод обусловлены свойствами исходного сырья и технологическими параметрами газификации. Данные об этих объемах приведены в табл.4.

Технология Texaco является единственной среди рассмотренных, которая позволяет утилизировать тепло получаемого газа для выработки пара и электроэнергии. В результате будет

обеспечено своей электроэнергией более 40 % потребностей основного производства. Эта технология не использует пар, поэтому вырабатываемый пар будет товарной продукцией.

В противоточной технологии Lurgi часть тепла получаемого газа используется для подогрева исходного угля в верхних слоях реактора. В технологии Siemens все тепло получаемого газа безвозвратно теряется при его закалке (охлаждении циркулирующей водой) в нижней части реактора. Прототипом этой технологии является технология Горного бюро США, использовавшаяся в промышленности в 1950-х гг. [19]. Современные технологии газификации угля в потоке (например, вариант PSG технологии PRENFLO) предусматривают использование тепла получаемого газа в котлах-утилизаторах.

В процессе Lurgi образуются заметные количества смолы в результате реакций термической деструкции без доступа воздуха при достаточно длительном нахождении угля в верхней части реакторов. Как и в других непрерывных процессах переработки угля (например, производстве формованного кокса), эта смола загрязнена уносом твердофазного материала, поэтому несмотря на свою малую степень пиролизованности она характеризуется повышенными вязкостью, плотностью и содержанием нерастворимых веществ.

Количество получаемых серной кислоты и сульфата аммония определяется ресурсами серы и азота в исходном угле. Примерно 30 % получаемой серной кислоты будут использоваться при улавливании аммиака, 70 % будут товарной продукцией.

Количество образующегося шлака определяется в первую очередь зольностью угля. Для

получения шлака в товарном виде при переработке тонкоизмельченного угля необходимо предусмотреть температуры газификации выше температуры плавления золы и грануляции шлака.

Унос части сырья из реакторов с образующимся газом предусматривается выделять при очистке газа и возвращать на газификацию.

Количество образующихся сточных вод определяли по балансу водорода (разнице прихода и расхода) в технологическом процессе. При этом основные приходные статьи: водород, содержащийся в органической массе угля, влага угля, количество пара (воды), подаваемых на газификацию. Расходные статьи: водород, содержащийся в газе в виде простого вещества (H_2), входящий в состав метана (CH_4), и насыщающие газ водяные пары при 30 °С после первичного охлаждения газа перед очисткой.

Наибольшее количество сточных вод образуется в процессе Lurgi в связи с его малой интенсивностью и обусловленной этим низкой степенью разложения пара (≈ 44 %). Сточные воды образуются также в технологии Siemens, хотя и в меньшем количестве.

Технология Техасо является дефицитной по воде, так как часть воды, входящей в состав пульпы, при газификации разлагается. В связи с этим для приготовления пульпы необходим непрерывный подвод дополнительного количества воды. При этом возможно использование воды с органическими загрязнениями (например, хозяйственно-фекальной, образующейся при очистке газа). В частности, на Баглейском КХЗ для этих целей предполагалось использовать избыточную воду после аммиачных колонн действующего коксохимического производства [7].

После создания и освоения головной промышленной установки появляется возможность

их тиражирования в разных регионах Украины для обеспечения хозяйственных потребностей в заменителях продуктов, получаемых в настоящее время переработкой импортных нефти и природного газа. В частности, выполнены проработки по химико-технологической переработке угля Тягловского участка, расположенного во Львовско-Вольнском бассейне (табл.5).

Как видно из представленных данных, это — каменные угли марок Г, ГЖ и Ж [11]. Балансовые запасы суммарно по категориям А + В + С1 составляют около 300 млн т. Га-

Таблица 5. Характеристики каменных углей Тягловского месторождения

Показатель	Численные значения		
	min	max	среднее
Влажность W_{r_t} , %	0,4	2,3	1,4
Зольность сухой массы A_d , %	7,0	27,0	17,0
Сернистость общая сухой массы S_{d_t} , %	1,5	4,5	3,0
Выход летучих веществ из горючей массы V_{daf} , %	29,0	35,0	32,0
Низшая теплотворная способность Q_{r_i} , ккал/кг	7900	8850	8375
Толщина пластического слоя U , мм	17	22	20
Содержание углерода в горючей массе C_{daf} , %	80,0	87,0	83,5
Плотность действительная, г/см ³	1,22	1,29	1,26
Плотность кажущаяся, г/см ³	1,15	1,25	1,20
Микротвердость, г/мм ²	32,3	39,0	35,7
Средний произвольный показатель отражения витринита $\langle R^o \rangle$, %	0,82	0,88	0,85

Таблица 6. Характеристики бурых углей Ново-Дмитровского месторождения

Показатель	Пласт III ₂			Пласт IV ₂		
	min	max	среднее	min	max	среднее
Действительная плотность, г/см ³	1,01	1,49	1,25	1,11	1,34	1,19
Рабочая влажность W _{гт} , %	44,2	64,0	50,1	45,2	60,2	52,2
Зольность сухой массы A _d , %	6,3	40,6	14,2	9,6	39,9	24,5
Выход летучих веществ V _{daf} , %	42,8	75,7	58,3	52,3	69,6	61,7
Сернистость сухой массы S _{dт} , %	0,5	8,7	2,7	0,2	7,6	2,2
Теплота сгорания Q _{гт} , ккал/кг	1142	3628	2560	1120	2614	1906

зовые угли пригодны для переработки рассмотренными методами.

В настоящее время выполнен проект шахты «Тягловская» № 1. По данным Львовской геологоразведочной экспедиции, шахтное поле находится в северо-западной части Тягловского месторождения Львовско-Волинского каменноугольного бассейна и приурочено к одноименной синклинали северо-западного простирания. Угол падения на крыльях складки 4–9°. Тектоническое строение участка, непосредственно отводимого под поле шахты, относительно простое, с пологим залеганием угольных пластов. Балансовые запасы на шахтном участке составляют 71,4 млн т, проектная мощность шахты – 1,2 млн т угля в год. Рабочие угольные пласты поля шахты (b4, n9, n8b, n8, n7b, n71, n7) залегают на глубинах 528–833 м. Раскрытие их предусмотрено вертикальными стволами и горизонтальными квершлагами. Угольные пласты имеют толщину 0,5–1,0 м. Каменноугольные отложения угленосной формации турнейского, визейского, серпуховского и башкирского ярусов карбона имеют ритмическое строение с чередованием пород от морского к континентальному. Угленосные отложения перекрыты толщей четвертичных, меловых и юрских отложений общей мощностью до 550 м. Они представлены различиями с низкими (коэффициент прочности по Н.М.Протоdjяконову $f = 1-2$) и средними ($f = 3-5$) прочностными характеристиками. Угледержащие породы – аргиллиты, алевролиты, песчаники, известняки.

Шахтное поле пересекается железнодорожной линией, проходящей параллельно с автомобильной дорогой, рядом проложена высоковольтная линия электропередачи. Непосредственно к участку шахты № 1 прилегает участок шахты «Тягловская» № 2 с предварительно разведанными запасами 96,4 млн т. Объединение этих шахтных полей дает возможность увеличить производственную мощность шахты до 1,5–2,0 млн т/год, что позволит уменьшить удельные капиталовложения на 1 т добытого угля.

Предусматривается также проектирование шахты «Тягловская» № 3, что позволит создать в Западной Украине новый центр угольной промышленности.

На территории Украины имеются также большие запасы бурых углей. Значительный интерес в последнее время вызывает Ново-Дмитровское месторождение, расположенное в Лозовском и Барвенковском районах Харьковской области. Балансовые запасы составляют 380 млн т. Угли характеризуются пластами мощностью до 80 м на небольшой глубине залегания и на ряде участков выходящими на поверхность. Это делает возможным добычу их открытым способом с себестоимостью добычи всего лишь 8 долл./т. Данные исследования керновых проб, полученных ГП «Бахмутгеология», приведены в табл.6.

Как видно из табличных данных, бурый уголь имеет чрезвычайно высокие влажность, выход летучих веществ, зольность и сернистость, что в целом характерно для углей этого типа. В связи с высоким содержанием балластных веществ в угле (влаги и минеральных веществ) его низшая теплота сгорания крайне мала, что не позволяет рассматривать его как эффективное топливо. Следовательно, необходима его химико-технологическая переработка.

Выполненные исследования показали, что высокое содержание в этих углях водорода в составе органической массы и в виде влаги угля позволяют использовать его как реагент при гидрогенизации с целью получения моторных топлив. При этом эффективными будут высокоэнергетические процессы, в частности, плазмохимические технологии [12].

Выводы

Для Украины, не имеющей собственных значительных запасов нефти и природного газа, актуальной является задача химико-технологической переработки угля для производства заменителей продуктов, получаемых в настоящее время переработкой импортных энергоносителей.

Определена сырьевая база процессов при их размещении в различных регионах Украины: малометаморфизованные каменные угли Западного Донбасса и Тягловского месторождения Львовско-Волынского бассейна, а также бурые угли Ново-Дмитровского месторождения Харьковской обл.

Список литературы

1. Рудыка В.И., Ковалев Е.Т., Старовойт А.Г. Уголь как ключевой энергетический ресурс XXI века. *Металлургический комплекс*. 2008. № 4. С. 18–21.
2. Дроздник И.Д., Старовойт А.Г., Гусак В.Г. и др. Угли для коксования и пылеугольного топлива. Харьков : Контраст, 2011. 188 с.
3. Дроздник И.Д., Шульга И.В. О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей. *Сибирский уголь*. 2009. № 2–3. С. 34–35.
4. Тютюнников Ю.Б., Шульга И.В., Филоненко Ю.Я., Чешко Ф.Ф. Концепции современного естествознания. Харьков : ИД ИНЖЭК, 2005. 400 с.
5. Филатов Ю.В., Ковалев Е.Т., Шульга И.В. и др. Теория и практика производства и применения доменного кокса улучшенного качества. Киев : Наукова думка, 2011. 128 с.
6. Григорьев Л.М., Салихов М.Р. Базовый сценарий развития мировой энергетики до 2030 г. *Экономическое обозрение*. 2007. № 7. С. 54–60.
7. Янчицкий В.В., Грозовский В.И., Морохова С.Н. и др. Новые технологии химико-технологической переработки углей для ОАО «Баглейкокс». *Кокс и химия*. 2002. № 7. С. 9–13.
8. Тютюнников Ю.Б., Шептовицкий М.С., Шульга И.В. Газификация твердых топлив. Харьков : Харьк. гос. экономич. ун-т, 1994. 64 с.
9. Шульга И.В. Газификация твердых топлив : Справ. коксохимика. Харьков : ИД ИНЖЭК, 2014. Т. 2. Гл. 20.2. С. 697–715.
10. Тютюнников Ю.Б., Шептовицкий М.С., Шульга И.В. Технологические схемы, расчет и моделирование промышленных установок газификации угля. Харьков : Харьк. гос. эконом. ун-т, 1996. 80 с.
11. Савчук В.С. Склад та якість вугілля окремих марок Львівсько-Волинського басейну. *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту. Сер.: Геологія, географія*. 2003. Вип. 5. С. 3–11.
12. Булат А.Ф., Холявченко Л.Т., Давыдов С.Л., Рудыка В.И. Структура и взаимосвязь процессов комплексной переработки углеродсодержащих сред методами плазменной газификации. *Углехимический журнал*. 2014. № 3–4. С. 7–14.

Поступила в редакцию 23.06.19

Шульга І.В.¹, канд. техн. наук, **Мірошниченко Д.В.²**, докт. техн. наук,
Рудика В.І.³, докт. економ. наук, **Цимбал А.А.³**

¹ ДП «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)», Харків

вул. Веснина, 7, 61023 Харків, Україна, e-mail: ko@ukhin.org.ua

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

вул. Кирпичова, 2, 61002 Харків, Україна, e-mail: dvmir79@gmail.com

³ ДП «ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ПІДПРИЄМСТВ КОКСОХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ» (ДП «ГИПРОКОКС»), Харків

вул. Сумська, 60, 61002 Харків, Україна, e-mail: diprokoks@ic.kharkov.ua

Хіміко-технологічна переробка вугілля різних регіонів України

Розглянуто сировинну базу газифікації на основі енергетичного кам'яного вугілля Західного Донбасу марки ДГ. Для різних варіантів технологічного оформлення процесу визначено параметри газифікації (кількість та склад дуття, температура, тиск, розміри й кількість реакторів, кількість та властивості одержуваного газу, у тому числі його склад, теплота згоряння, зміст домішок); потреба в енергоресурсах (пара, електроенергія, кисень, вода); кількість одержуваної попутної продукції, відходів виробництва та стічних вод, що утворюються. Показано, що найкращі показники досягаються при використанні технологій, що передбачають газифікацію вугілля у потоці. Генераторний газ, що утворюється, передбачається використовувати для одержування моторних палив. Об'єм переробки кам'яного вугілля — 550 тис. т/рік. *Бібл. 12, табл. 6.*

Ключові слова: газифікація, кам'яне вугілля, моторні палива, генераторний газ, енергетичні ресурси.

**Shulga I.V.¹, Candidate of Technical Sciences,
Miroshnichenko D.V.², Doctor of Technical Sciences,
Rudyka V.I.³, Doctor of Economic Sciences, Tsyymbal A.A.³**

**¹ SE «Ukrainian State Research Coal Chemical Institute (UHIN)», Kharkiv
7, Vesnina Str., 61023 Kharkiv, Ukraine, ko@ukhin.org.ua**

**² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv
2, Kirpicheva Str., 61002 Kharkiv, Ukraine, e-mail: domir79@gmail.com**

**³ SE «STATE INSTITUTE FOR DESIGNING ENTERPRISES OF COKE
OVEN AND BY-PRODUCT PLANTS» (SE «GIPROKOKS»), Kharkiv
60, Sumska Str., 61002 Kharkov, Ukraine, e-mail: giprokoks@ic.kharkov.ua**

Chemical-Technological Processing of Coals of Various Regions of Ukraine

The raw material base of gasification based on energetic coals of Western Donbass of the DG brand is considered. Gasification parameters (quantity and composition of the blast, temperature, pressure, dimensions and number of reactors, quantity and properties of the gas produced, including its composition, heat of combustion, impurity content) are determined for various technological process design options; energy demand (steam, electricity, oxygen, water); the amount of associated products, waste products and generated wastewater. It is shown that the best performance is achieved when using technologies involving the gasification of coal in the stream. The resulting generator gas is intended to be used for the production of motor fuels. The volume of coal processing is 550 thousand tons per year. *Ref. 12, Tab. 6.*

Keywords: gasification, coals, motor fuels, generator gas, energy resources.

References

1. Rudyka V.I., Kovaliov E.T., Starovoyt A.H. [Coal as a key energy resource of the 21st century]. *Metalurgicheskii compas [Metallurgical compass]*. 2008. No. 4. pp. 18–21. (Rus.)
2. Drozdник I.D., Starovoyt A.G., Gusak V.G., Filatov Yu.V., Emchenko A.V. [Coals for coking and pulverized coal fuel]. Kharkov : Contrast, 2011. 188 p. (Rus.)
3. Drozdник I.D., Shulga I.V. [On the qualified use of low-metamorphosed coals]. *Sibirskiy ugol*. 2009. No. 2–3. pp. 34–35. (Rus.)
4. Tyutyunnikov Yu.B., Shulga I.V., Filonenko Yu.Ya., Cheshko V.F. [Concepts of modern science]. Kharkov : ID INZHEK, 2005. 400 p. (Rus.)
5. Filatov Yu.V., Kovalev E.T., Shulga I.V., Kaufman S.I. [Theory and practice of production and use of blast furnace coke of improved quality]. Kiev : Naukova Dumka, 2011. 128 p. (Rus.)
6. Grigoriev L.M., Salikhov M.R. [The basic scenario for the development of world energy until 2030]. *Economicheskoe obozrenie. [Economic Review]*. 2007. No. 7. pp. 54–60. (Rus.)
7. Yanchitsky V.V., Grozovsky V.I., Morokhova S.N., Mikhno S.I., Toryanik E.I. [New technologies for the chemical-technological processing of coal for JSC Bagleykoks]. *Koks i khimiya [Coke and chemistry]*. 2002. No. 7. pp. 9–13. (Rus.)
8. Tyutyunnikov Yu.B., Sheptovitsky M.S., Shulga I.V. [Gasification of solid fuels]. Kharkov : Kharkovskiy gosudarstvenny ekonomicheskyy universitet, 1994. 64 p. (Rus.)
9. Shulga I.V. [Gasification of solid fuels. Handbook of coke chemistry]. Vol. 2. Ch. 20.2, Kharkov : ID INZHEK, 2014. pp. 697–715. (Rus.)
10. Tyutyunnikov Yu.B., Sheptovitsky M.S., Shulga I.V. [Technological schemes, calculation and modeling of industrial installations for coal gasification]. Kharkov : Kharkovskiy gosudarstvenny ekonomicheskyy unversitet, 1996. 80 p. (Rus.)
11. Savchuk V.S. [Warehouse and property of the Vugilla district of Lviv-Volinsky pool brands]. [News of Dnepropetrovsk National University. Ser.: Geology, geography]. 2003. Vol.5. pp. 3–11. (Ukr.)
12. Bulat A.F., Kholyavchenko L.T., Davydov S.L., Rudyka V.I. [The structure and the relationship of the processes of complex processing of carbon-containing media by plasma gasification]. *Uglechimicheskii zhurnal. [Coal Chemical Journal]*. 2014. No.3–4. pp. 7–14. (Rus.)

Received June 23, 2019