

Пинчук В. А., Потапов Б. Б.  
Национальная металлургическая академия Украины

## БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ В ГАЗ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ И МЕТАЛЛУРГИИ

*Для реализации безотходной технологии использования низкосортных углей предложен новый энерготехнологический комплекс, обеспечивающий полную утилизацию побочных и вторичных энергетических ресурсов в собственном производстве и смежных отраслях промышленности. Схема энергетического использования генераторного газа реализуется на базе парогазовой установки с внутрицикловой газификацией. Проведена оценка эффективности безотходной технологии переработки низкосортных углей и показана техническая возможность реализации*

Учитывая дефицит и высокую стоимость природного газа и мазута, создание технологий использования низкосортных углей является перспективным направлением развития энергетики и металлургии.

Уголь необходимо рассматривать как комплексное сырье, содержащее в себе углерод, являющийся источником тепловой и химической энергии, зольную часть в виде соединений, которые могут быть использованы в строительстве, редкие и редкоземельные элементы, представляющие ценность, серу, высокие концентрации которой обуславливают целесообразность ее извлечение, [1-3].

Одним из способов переработки углей является газификация. Газификация угля как возможный источник горючих газов является средством повышения эффективности использования топлива в энергетике, где по условиям топливного баланса должны применяться в больших количествах низкокачественные угли. Для низкосортного угля предпочтительной является высокотемпературная газификация, поэтому в основу разработанных технологий положен процесс поточной высокотемпературной газификации пылевидного топлива,

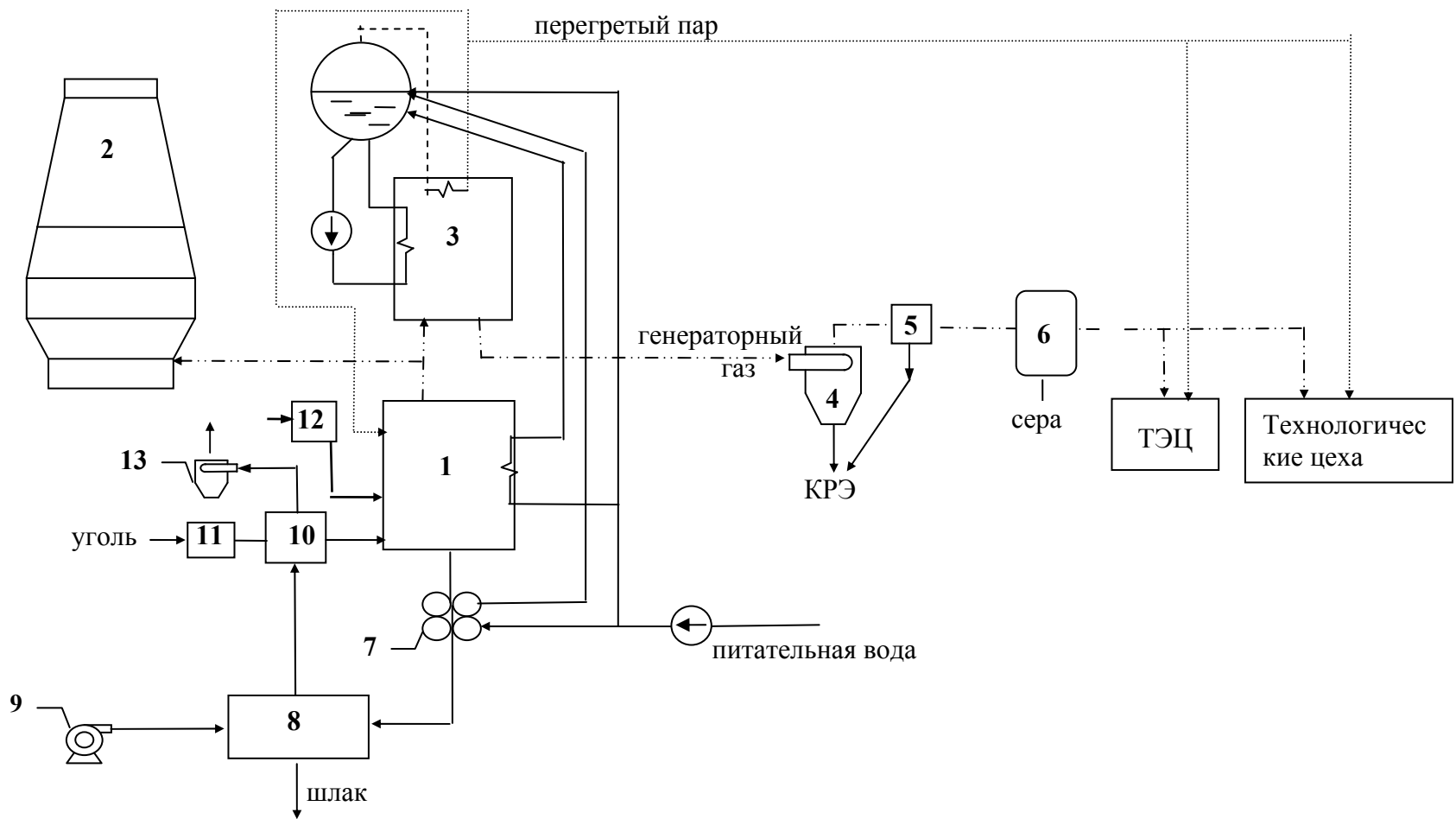
[4]. Преимуществом такого вида газификации является высокая интенсивность процесса, возможность удаление золы в виде расплава, использования таких эффективных факторов интенсификации, как значительное развитие реакционной поверхности и применение высоких температур.

Возможны следующие направления использования генераторного газа:

- энергетическое, задача которого - получение генераторного газа с дальнейшей выработкой тепловой и/или электрической энергии;
- технологическое, с целью получения высокотемпературных восстановительных газов, [5].

На рис. 1 представлена схема комплексного использования генераторного газа, которая включает использование высокотемпературного газа для вдувания в доменную печь, использование генераторного газа в качестве топлива для технологических агрегатов и ТЭЦ.

Высокозольный уголь поступает на углеподготовку (11), где измельчается до фракции 0 – 0,13 мм, затем сушится в сушильной камере (10) до влагосодержания 5 – 7%. Далее пылевидное топливо вместе с кислородом из блока разделения воздуха (12) и паром поступает в циклонный газификатор (1). В газификаторе реализуется технологический процесс поточной газификации с образованием генераторного газа и расплава золы. Жидкий шлак стекает по стенке газификатора в копильник расплава, оттуда поступает на валковые охладители расплава шлака (7), затвердевает, а затем измельчается на дробящих валках. Дробленый шлак охлаждается потоком воздуха из нагнетателя воздуха (9) в охладителе шлака (8). Нагретый здесь воздух расходуется на сушку угольной пыли в сушильной камере (10), после чего очищается циклоном (13) и выбрасывается в атмосферу. Генераторный газ разделяется на два потока: высокотемпературный газ вдувается в доменную печь (2), другой поток генераторного газа поступает в охладитель генераторного газа (3). В процессе охлаждения газа в охладителе осуществляется значительный отвод тепла (до 85 %) и генерируется перегретый пар. После охлаждения генераторный газ подается на очистку. Вначале очищается от крупнодисперсных частичек золы в циклоне (4), а затем дочищается в металлотканевом фильтре (5). При этом уловленная зола является концентратом редкоземельных элементов (КРЭ). Далее газ поступает в блок сероочистки (6). Очищенный и обессеренный газ поступает на ТЭЦ и технологическим потребителям газа.



**Рис. 1.** Схема комплексного использования генераторного газа на металлургическом предприятии  
 1-газогенератор; 2-доменная печь; 3-охладитель генераторного газа; 4-циклон; 5-металлотканевый фильтр; 6-блок сероочистки; 7-валковые охладители шлака; 8-охладитель гранулированного шлака; 9-нагнетатель воздуха; 10-сушильная камера; 11-угледготовка; 12-блок разделения воздуха; 13-циклон

Использование генераторного газа для выработки тепловой и электрической энергии целесообразно в парогазовых циклах с внутрицикловой газификацией. Генерация чистого топлива для газовых турбин путем газификации позволяет одновременно решать наиболее полно проблему защиты окружающей среды от вредных выбросов тепловых электростанций. Комбинированные парогазовые установки по сравнению с паротурбинными имеют большую маневренность и лучшие технико-экономические показатели при работе в переменной части графика электрических нагрузок. В связи с ростом неравномерности графика электрических нагрузок на перспективу потребность в такого рода установках растет, [6].

При включении системы газификации в цикл парогазовой установки следует иметь в виду некоторые особенности этой технологии:

- в схеме предусматривается использование высокосернистых зольных топлив с технологией предотвращения вредных выбросов в окружающую среду, основанной на первоначальной газификации топлива с последующим сжиганием очищенного от пыли и серы генераторного газа в камерах сгорания газотурбинной установки;

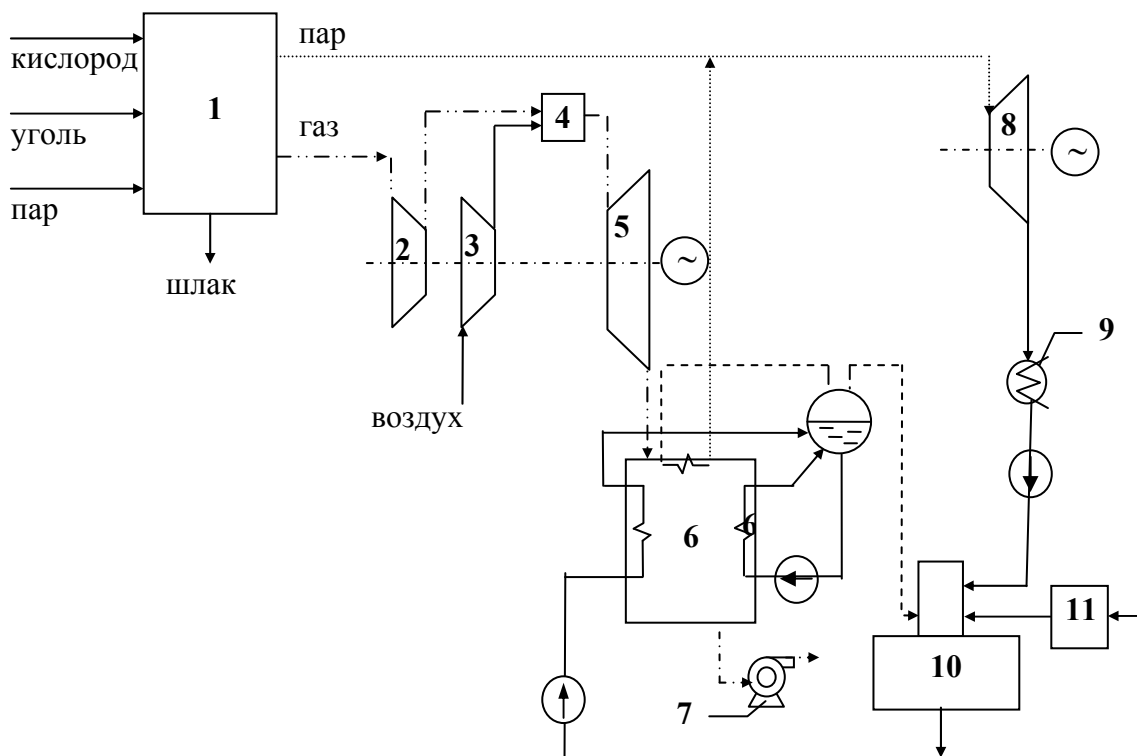
- при выбранных параметрах процесса газификации достигается почти полная конверсия углерода в газ. Высокие скорости химических реакций, протекающих в газовой сфере, делают состав генераторного газа близким к равновесному, что подтверждается как результатами проведенных исследований, [4, 7] так и данными из литературных источников;

- процесс газификации осуществляется при достаточной температуре, чтобы полученный газ не содержал каких-либо конденсируемых смол или органических соединений, [8] поэтому в схеме могут быть использованы высокотемпературные методы очистки, обеспечивающий более высокой КПД комплекса, чем низкотемпературные;

- охлаждение продуктов газификации, содержащих CO, H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S, не может осуществляться газом-окислителем во избежание взрывоопасных ситуаций и средами, имеющими температуру выше 400 °С, из-за высокой скорости сероводородной коррозии металла поверхности нагрева, имеющего температуру выше 450 °С;

- основная доля тепла, выделяющаяся в системе получения очищенного газа генераторного (энергетического) газа, передается питательной воде паротурбинного цикла и используется для получения перегретого пара.

Схема энергетического использования генераторного газа на базе парогазовой установки представлена на рис. 2. Условно энергетическую схему можно разбить на следующие функциональные модули: газогенераторная станция (газификация и утилизация физического тепла продуктов газификации, очистка газа от зольного уноса, очистка газа от серных соединений и их утилизация); газотурбинный цикл; паротурбинный цикл. Каждый функциональный модуль характеризуется определенным набором технологических параметров.



**Рис. 2.** Схема энергетического использования генераторного газа на базе парогазовой установки

1-газогенераторная станция; 2-компрессор для сжатия газа; 3-компрессор для сжатия воздуха; 4-камера сгорания; 5-газовая турбина; 6-котел-утилизатор; 7-дымосос; 8-паровая турбина; 9-конденсатор; 10-деаэратор; 11-химводоочистка

Очищенный и обессеренный газ из газогенераторной станции (1) сжимается в компрессоре (2) и вместе со сжатым воздухом из компрессора воздуха (3) подводится в камеру сгорания (4). Продукты сгорания поступают в газовую турбину (5) для выработки электроэнергии. Генератор электроэнергии связан с тем же валом, что и турбина с компрессорами. Турбина передает мощность на вал, где

приблизительно половина мощности используется для привода компрессоров, а остальная часть – электрогенератора. Отработанные продукты сгорания из газовой турбины используется для получения пара в котле-утилизаторе (6). Далее дымовые газы проходят через дымосос (7) и выбрасываются в атмосферу.

Перегретый пар из газогенераторной станции (1) и котла-утилизатора (6) подается в паровую турбину (8) для выработки электроэнергии. Паровая турбина, применяемая в этом цикле является конденсационной без регенеративного подогрева питательной воды. Из турбины отработанный пар конденсируется в конденсаторе (9) и подается в деаэрактор (10) вместе с подпиточной водой из блока химической очистки воды (11), компенсирующей потери воды и пара в системе. Деаэрация воды осуществляется паром поступающим из барабана котла-утилизатора (6).

Безотходность и полная утилизация побочных продуктов вышеописанной схемы обеспечивается следующими мероприятиями:

-расплав золы, получаемый при газификации, охлаждается, утилизируя свою теплоту, гранулируется и используется как строительный материал, а не выбрасывается в шлаковые отвалы тем самым, загрязняя окружающую среду, [3];

-при очистке от серы генераторного газа, существенно снижается загрязнение атмосферы оксидами серы. Сера в генераторном газе содержится в виде сероводорода, а это позволяет использовать очистку газа с конверсией сероводорода в товарную серу;

-уловленная зола из генераторного газа является сырьем богатым редкими и редкоземельными элементами, продажа которого повысит эффективность технологии, [2].

Проведенная оценка эффективности безотходной технологии переработки низкосортных углей показала, что КПД брутто представленной системы составляет до 65-68 %. При этом наблюдаются следующие виды потерь в комплексе (табл. 1).

**Таблица 1**

Потери энергии в комплексной энергетической схеме

Вид потерь	Величина потерь, % от прихода энергии
В паровом цикле	11
В газотурбинном цикле	7,8
В охладителе генераторного газа	4,3

В газогенераторе	3
В котле -утилизаторе	3
В системе валковых охладителей	2
В системе очистки газа	0,9

При использовании низкосортного энергетического угля в виде пылеугольного топлива на ТЭС блоки имеют КПД нетто 32-35 %, [5]. Как следует из расчетов КПД нетто представленного комплекса составляет 40-43 %, что на 10 % стандартного производства электроэнергии путем сжигания пылеугольного топлива. Основная доля затрат энергии на собственные нужды приходится на привод компрессоров (51,6 %), остальное на производство кислорода в блоке разделения воздуха (18,4 %), на химводоочистку (20,3 %), на газификацию и прочее оборудование (9,7 %).

При создании энергетических парогазовых установок необходимо учитывать возможность использования стандартного оборудования. Технический уровень используемых паротурбинной и газотурбинной установок давно освоен в энергетике. Простота пароводяной схемы и уровень рабочих параметров позволяют использовать стандартное оборудование. Это относится к насосам, деаэраторам, конденсатору, а также к комплексу вспомогательного оборудования и системам водоподготовки. Электрогенерирующее и компрессорное оборудование выпускается промышленностью. Котел-утилизатор, работающий за газовой турбиной и охладитель генераторного газа требуют дополнительных конструктивных разработок, но полностью укладываются в рамки современной технологии. Реактор газификации угля является весьма ответственным элементом схемы и к настоящему времени не выпускается промышленностью.

Сегодня предприятия черной металлургии традиционно сориентированы на использование дефицитных, дорогостоящих топлив (кокса, природного газа, мазута). Использование в металлургических технологиях углей и продуктов их газификации позволит решить проблему рационализации топливно-энергетического баланса металлургического предприятия. Энергетическое использование генераторного газа, получаемого из угля, наиболее экономично в парогазовых циклах. Сопоставление выработки энергии в парогазовых циклах с традиционным сжиганием углей в котлах по паротурбинному циклу показало, что в первом случае КПД на 10 % выше. В связи с этим парогазовые циклах находят все более широкое применение в различных странах мира.

## Литература

1. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Анализ энергетического потенциала процессов термической переработки низкосортных углей./ Интегровані технології та енергозбереження/ Щоквартальний науково-практичний журнал. Харків: НТУ "ХПІ", -2002, №2, 140 с., с. 29-33
2. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Извлечение микроэлементов при высокотемпературной газификации углей /Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск. НМетАУ, 2003. – 219 с.
3. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Исследование теплообмена шлаковых и золowych расплавов в валковых охладителях// Материалы 2-й международной научно-практической конференции «Автоматизированный печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии», 3-5 декабря, 2002 г., Москва (Россия), стр.259-260.
4. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Исследование и разработка режимов поточной газификации углей украинских месторождений. // Металлургическая теплотехника/ Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск. НМетАУ, 2000. – 219 с.
5. Товаровский И. Г., Севернюк В. В., Лялюк В. П. Анализ показателей доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2000. –420 с.
6. Парогазовые установки с внутрицикловой газификацией топлива и экологические проблемы энергетики. Масленников В. М., Выскубенко Ю. А., Штеренберг В. Я. (СССР), Смитсон Г. Р., Робсон Ф. Л., Лемон А. В., Лохон В. Т. (США).-М.: Наука, 1983.-264 с.
7. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Исследование влияния параметров окислителя на процесс газификации низкосортных углей ГХК «Павлоградуголь» // Металлургическая теплотехника/ Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. Том 8 – Днепропетровск. НМетАУ, 2002. – 114-119.
8. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Термодинамические исследования экологических характеристик процесса газификации углей Западного Донбасса (ГХП "Павлоградуголь")/ Экотехнологии и ресурсосбережения, 2002, №3, стр. 121-124.