

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Сибирский государственный индустриальный университет»**  
**ВК «Кузбасская ярмарка»**

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**  
**МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**№ 8 - 2022**

УДК 622.2

ISSN 2311-8342

ББК 33.1  
Н 340

Главный редактор  
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:  
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,  
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,  
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2022. - № 8. – 390 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 7-10 июня 2022 г).

Основан в 2015 г.  
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2  
ББК 33.1

© Сибирский государственный  
индустриальный университет, 2022

|                                                                                                                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....                                                                                             | 287        |
| <b>ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ</b>                                                                                                           | <b>291</b> |
| О ПЕРСПЕКТИВАХ И НАПРАВЛЕНИЯХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ.....                                                                          | 293        |
| д.т.н. Прошунин Ю.Е. ....                                                                                                                                                     | 293        |
| Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....                                                                                             | 293        |
| О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ГАЗА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ КАМЕННЫХ И БУРЫХ УГЛЕЙ .....                                                                          | 300        |
| д.т.н. Прошунин Ю.Е. ....                                                                                                                                                     | 300        |
| Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....                                                                                             | 300        |
| К ВОПРОСУ ПОЛУЧЕНИЯ ВОСТРЕБОВАННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ БУРОУГОЛЬНОГО ПОЛУКОКСА.....                                                                                           | 308        |
| д.т.н. Прошунин Ю.Е. ....                                                                                                                                                     | 308        |
| Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....                                                                                             | 308        |
| ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИРОДНОГО УГЛЯ.....                                                                                                                    | 314        |
| к.т.н. Козырева Е.Н., к.т.н. Плаксин М.С., Родин Р.И., Альков В.И. ....                                                                                                       | 314        |
| Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия .....                                                                                        | 314        |
| КОМБИНАЦИЯ ПОДСИСТЕМ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ .....                                                                   | 320        |
| д.т.н. Шадрин А.В. ....                                                                                                                                                       | 320        |
| Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия .....                                                                                        | 320        |
| МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХЕМОСОРБЦИИ КИСЛОРОДА ИСКОПАЕМЫМИ УГЛЯМИ .....                                                                                        | 325        |
| д.т.н. С.П. Греков, к.т.н. В.П. Орликова.....                                                                                                                                 | 325        |
| Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор» г. Донецк, Донецкая народная республика .  | 325        |
| РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ САМОВОЗГОРАНИЯ УГОЛЬНОГО СКОПЛЕНИЯ НА ВЫЕМОЧНОМ УЧАСТКЕ .....                                                                             | 329        |
| Головченко Е.А., Момот Д.И., Белокобыльский М.А. ....                                                                                                                         | 329        |
| Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор», г. Донецк, Донецкая Народная Республика   | 329        |
| БАЛЛИСТИКА КАПЕЛЬ МЕЛКОРАСПЫЛЕННОЙ ВОДЫ В ВЕНТИЛЯЦИОННОМ ПОТОКЕ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ.....                                                                                         | 332        |
| д.т.н. Агеев В.Г., Коляда А.Ю. ....                                                                                                                                           | 332        |
| Государственный научно-исследовательский институт горноспасательного дела, пожарной безопасности и гражданской защиты «Респиратор», г. Донецк, Донецкая народная республика . | 332        |
| ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ НЕЗАКОННОЙ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕВОЗКЕ УГЛЯ .....                                                             | 336        |
| <sup>1</sup> д.т.н. Фомин А.И., <sup>2</sup> к.т.н. Бесперстов Д.А., <sup>1</sup> д.т.н. Ли А.А. ....                                                                         | 336        |
| 1 – АО «НЦ ВостНИИ», г. Кемерово, Россия.....                                                                                                                                 | 336        |
| 2 – Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Россия .....                                                                                                        | 336        |
| ОЦЕНКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УДАРООПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ КОНЦЕПЦИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД .....                                  | 340        |
| к.т.н. Ли К.Х., д.т.н. Иванов В.В. ....                                                                                                                                       | 340        |
| АО «Научный Центр ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности в горной отрасли», г. Кемерово, Россия.....                                                            | 340        |
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ В ДЛИННОМ КОМПЛЕКСНО-МЕХАНИЗИРОВАННОМ ЗАБОЕ ПРИ ПЕРЕХОДЕ РАЗРЫВНОГО НАРУШЕНИЯ .....                             | 352        |
| к.т.н. Говорухин Ю.М., д.т.н. Домрачев А.Н., к.т.н. Криволапов В.Г., д.т.н. Палеев Д.Ю., Поздеева И.М.....                                                                    | 352        |
| ФГКУ «Национальный горноспасательный центр», г. Новокузнецк, Россия.....                                                                                                      | 352        |
| К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ АДЕКВАТНОСТИ МОДЕЛИ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СЕТИ.....                                                                                                      | 349        |

**О ПЕРСПЕКТИВАХ И НАПРАВЛЕНИЯХ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ****д.т.н. Прошунин Ю.Е.****Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия**

**Аннотация.** Показана ретроспектива развития энерготехнологической переработки твердого топлива. Рассмотрены варианты ее осуществления с помощью процессов газификации и полукоксования, сопоставлены материальный и тепловой балансы процессов, приведены характеристики получаемой продукции. Показана перспективность процесса энерготехнологической переработки бурых углей с применением полукоксования и твердого теплоносителя.

**Ключевые слова:** энерготехнологическая переработка, перспективность, газификация, полукоксование, бурые угли, буроугольный полукокс, энергетический газ, химическая продукция.

В настоящее время большая часть твердого топлива сжигается в различных теплогенерирующих установках для получения тепла. Энергетический коэффициент полезного действия в энергетических процессах, например, при получении перегретого водяного пара в современных парогенераторах довольно высок и достигает более 85%.

В технологических же процессах переработки твердых полезных ископаемых степень использования тепла, как правило, не превышает 50%. При сочетании процесса получения энергоносителя (например, водяного пара или горячей воды) сжиганием части топлива или части продуктов его термической переработки с технологическими процессами, нуждающимися в затрате тепловой энергии (полукоксование, коксование, газификация и др.), суммарный энергетический коэффициент может быть повышен до 85-90% и получены продукты, находящие широкое применение [1].

Метод комплексной переработки топлива путем комбинирования технологических процессов с энергетическими, направленными на производство энергоносителя, получил название энерготехнологической переработки топлив.

Повышенный интерес к внутрицикловой газификации угля (ВЦГУ) объясняется двумя причинами: необходимостью повышения КПД использования топлива и актуальностью проблемы уменьшения удельных выбросов в окружающую среду. Тепловые электростанции с внутрицикловой газификацией экологически более эффективны. Благодаря предварительной очистке газа перед его использованием в газовой турбине сокращаются выбросы оксидов серы, азота и твердых частиц. В то же время работа в режиме бинарного цикла позволяет существенно увеличить КПД электростанции и, следовательно, сократить удельный расход топлива [2].

В России создание парогазовых установок с высоконапорными парогенераторами и внутрицикловой газификацией угля воплощено в проектной документации парогазовой установки ПГУ-ВППГ-250 с ВЦГУ, разработанной ОАО «Таганрогский котельный завод». В соответствии с расчетами запыленность газа должна составить не более 2 мг/м<sup>3</sup>, концентрация NO<sub>x</sub> (при содержании O<sub>2</sub> в отходящих продуктах горения 6%) – 150-250 мг/м<sup>3</sup>, связывание серы составит не менее 80% [2].

Большой интерес представляет так называемое термоокислительное полукоксование в реакторах шахтного типа с плотным слоем бурого угля по технологии «Термококс», разработанной фирмой «Сибтермо» и реализованной в г. Красноярске ЗАО «Карбоника-Ф». Опытное-промышленное производство буроугольного полукокса (БПК) из Канско-Ачинских углей имеет производительность 33 тыс. тонн в год по углю или 10 тыс. тонн в год по полукоксу. Фактически, это - слоевой процесс газификации угля при температуре в зоне газификации 850°C на воздушном дутье, в котором газификации подвергаются в основном

летучие вещества, а степень газификации твердого углеродсодержащего остатка регулируется режимом подачи дутья [1, 3].

Реактор конструктивно состоит из трех частей (рис. 1). В верхней части размещены загрузочный люк, выпускной патрубок газа, электротермическое устройство для начального розжига верхних слоев угля. Верхняя часть газификатора футерована огнеупорным кирпичом и жаростойким бетоном. Средняя часть аппарата снабжена водяной рубашкой. Нижняя треть средней части выполнена в виде усеченного конуса. Там расположено выгрузочное устройство, колосниковая решетка, устройство для подвода воздуха и охлаждающего газа. Производственная программа выполняется в 20 реакторах. Процесс управления полностью автоматизирован. В рабочем режиме фронт горения в реакторе смещается навстречу потоку дутья и за фронтом горения остается твердый остаток – полукокс. При движении фронта горения слой угля последовательно проходит стадию нагрева, сушки пиролиза, горения и активации – реагирования углеродсодержащего остатка с водяным паром, диоксидом углерода. Побочным продуктом этих реакций является горючий газ, который сжигается для генерации тепловой энергии.

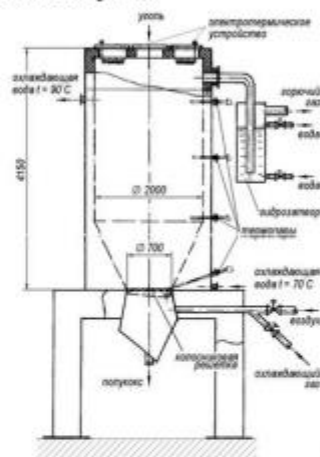


Рис. 1. Газификатор шахтного типа «Термококс»

Из 1 тонны угля бурого угля (отсева класса 0-25 мм после сортировки угля) с теплотой сгорания 3800 ккал/кг производится 0,3 тонны полукокса (БПК) с  $Q = 6500$  ккал/кг и  $1700 \text{ м}^3$  горючего газа с  $Q = 850-900$  ккал/м<sup>3</sup>. По энергетическому балансу 56 % теплоты сгорания исходного угля содержится в полукоксе и 40 % - в горючем газе. Теплопотери составляют 4 %.

По мнению разработчиков [1, 3, 4], технологический процесс «Термококс» имеет ряд преимуществ по сравнению с существующими промышленными технологическими процессами полукоксования и слоевой газификации.

1. Простота аппаратного оформления одностадийного процесса и объединение в одном аппарате операций сушки, пиролиза, термического разложения летучих веществ и охлаждения полукокса. Процесс автотермичен, в аппарат подается только воздух, а внешний теплоноситель для нагрева угля не используется.

2. Экологическая чистота процесса: все углеводороды, в том числе смолистые вещества, расщепляются и газифицируются внутри аппарата с образованием горючего газа, содержащего только водород, оксиды углерода, азот, водяной пар и незначительное количество метана и сероводорода. Прочие вредные примеси не образуются.

3. Вследствие низкой скорости фильтрации газов в слоевом реакторе (0,02-0,03 м/сек по сравнению с 0,5-2,5 м/сек в шахтных печах типа Лурги) практически отсутствует вынос летучей золы и горючий газ может быть использован в газовой турбине без

предварительной очистки, а также процесс мало критичен к фракционному составу угля, гидравлическому сопротивлению слоя и позволяет перерабатывать мелкозернистые угли.

4. Содержание твердых примесей, оксидов серы и азота в дымовых газах ниже, чем при сжигании эквивалентного по теплосодержанию количества угля. Горючий газ без очистки может быть использован для производства тепловой и (или) электрической энергии, либо как энергоноситель для термических процессов.

В 2003 году были проведены опытно-промышленные испытания по производству полукокса, из длиннопламенного угля марки ДКО класса 25–100 мм разреза «Моховский» (Кузбасс) [4, 5]. Удельный выход полукокса составил 46,5–52 % от массы исходного угля, а максимальная температура в зоне окисления – 1050–1150°K. Каменноугольный полукокс «Термококс» имеет низкое содержание серы (0,13–0,22 %) и фосфора (0,026–0,038 %), достаточно высокую структурную прочность (68,1–76,2 %) и термическую стойкость (79,7–81,3 %) и по этим параметрам не уступает полукокса, получаемым другими производителями.

В 2007 году на котельной Березовского разреза (ОАО СУЭК, Красноярский край) выполнена модернизация типового котла КВТС-20 (рис. 2) [1, 3–5]. Его тепловая мощность была снижена из-за местного ограничения по сбыту тепла до 16,3 МВт (14 Гкал/час). В энерготехнологическом исполнении котел потребляет примерно 10,2 т/час березовского бурого угля с теплотой сгорания около 15,5 МДж/кг и, кроме горячей воды, производит примерно 2,5 т/час буроугольного кокса. При средней температуре кипящего слоя около 750°С КПД по суммарной полезной продукции составляет 83%. Примерное распределение полезной тепловой энергии между продуктами: 45% – тепло и 55% – БПК.

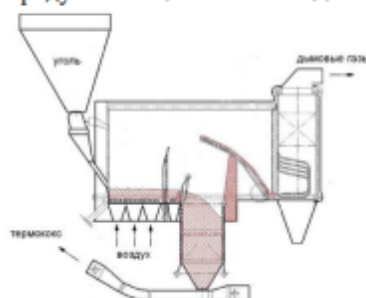


Рис. 2. Схема модернизации типового котла КВТСВ-20 для энерготехнологической переработки бурого угля

Однако, энерготехнология на основе газификации твердого топлива имеет два существенных недостатка [6, 7].

1. Достаточно невысокое теплосодержание получаемого газа – 850–900 ккал/нм<sup>3</sup>. Примерно такую же теплотворную способность имеют энергетический газ подземной газификации углей и доменный газ, так как доменная печь также является газогенератором шахтного типа. Это обстоятельство накладывает серьезное ограничение на реализацию рассматриваемой технологии, вследствие невыгодности передачи низкокалорийного газа на значительное расстояние, что не дает возможности сооружать газогенераторы рядом с местом добычи полезных ископаемых, а предполагает их размещение исключительно вблизи потребителей тепловой и (или) электрической энергии.

2. Невозможность получения химической продукции.

Этих недостатков лишена энерготехнология на основе полукоксования твердого топлива. Полукоксование, как технологический процесс, менее распространен, чем коксование. Между тем, твердые, жидкие и газообразные продукты низкотемпературного пиролиза углей имеют своеобразные свойства, представляющие большую ценность для использования в промышленных процессах. Твердые продукты обладают по сравнению с коксом более ярко выраженной реакционной и адсорбционной способностью, легче подвергаются

последующей активации и газификации. Смола, выход которой достигает более 20% от органической массы, содержит до 50% востребованного фенольного сырья [1].

Следовательно, полукоксование в большей мере, чем коксование представляет возможность для реализации химического потенциала угля. Газ полукоксования имеет высокую (более 20 МДж/м<sup>3</sup>) теплотворную способность. Сырьевой базой процесса может служить широкая гамма неспекающихся каменных и бурых углей [1].

Процесс полукоксования рассматривается, в настоящее время, как менее затратный, чем высокотемпературное коксование, способ комплексной переработки угля с получением твердых, жидких и газообразных продуктов. Кроме того, экологическая ситуация в стране уже сейчас настоятельно требует получения бездымного твердого топлива для малых отопительных устройств. Потребность в нем составляет десятки миллионов тонн в год. Подлинно бездымным, к тому же высокореакционным топливом, могут быть только продукты пиролиза угля. Одним из путей решения этих проблем может быть расширение использования процесса полукоксования [1].

Энерготехнологические процессы переработки твердых топлив предусматривают комбинирование полукоксования с энергетическими агрегатами [1, 6]. Получаемый при этом, как правило, мелкозернистый или пылевидный полукокк используется в качестве топлива для парогенератора. Полукоксовый газ и смола являются дополнительными продуктами технологии, реализация которых позволяет снизить затраты на производство тепло- и (или) электроэнергии. Мелкозернистый полукокк может эффективно применяться в металлургии при получении различных сортов кокса, агломерата, чугуна.

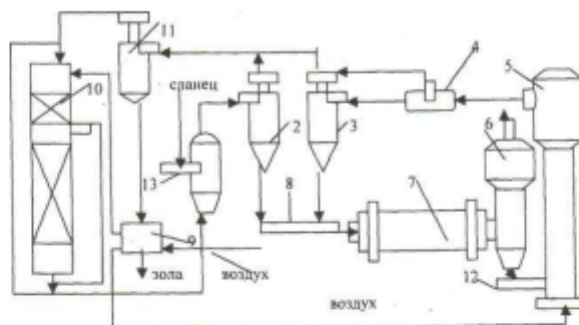
Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского в конце 50-х годов XX столетия разработаны и освоены в опытно-промышленном масштабе несколько вариантов многопродуктовых энерготехнологических процессов на основе высокоскоростного полукоксования торфа, сланцев и бурых углей. В США, Германии Японии и других странах внимание к этим вопросам возросло лишь с начала 1960-х годов, поэтому Россия пока существенно опережает другие страны по разработке энерготехнологии [8].

Наиболее перспективным вариантом парогазовых установок (ПГУ) на твердом топливе, предлагаемым к реализации в настоящей статье, является сочетание энергоустановок с установками полукоксования. В данном случае не требуется производство кислорода и возможно исполнение установки как в виде комплекса газотурбинного цикла с использованием продуктов сжигания охлажденного газа полукоксования (цикл Брайтона), так и паротурбинного цикла сжигания полукокса (цикл Ренкина). В последнем варианте необходимо организовать переработку химических продуктов полукоксования. Возможен и энергометаллургический вариант с газотурбинным циклом и производством полукокса для черной металлургии [1, 6]. Применение в энерготехнологии установок полукоксования по сравнению с использованием газификации позволяет существенно сократить объем инвестиций на реализацию проекта и получить компактный, экономичный и экологичный агрегат с использованием имеющегося котельного и турбинного оборудования.

Возможны различные варианты реализации этого процесса. Так, целевыми продуктами могут быть кусковый полукокк, используемый в качестве обогороженного бездымного топлива для котельных установок и бытовых печей, активного углеродистого восстановителя для химической и металлургической промышленности, а также смола – сырье для производства различных химических продуктов.

По мнению разработчиков технологии, она может быть также адаптирована для переработки бурых и каменных неспекающихся углей. В этом варианте циркулирующим теплоносителем будет служить, нагретый за счет частичного сжигания в аэрофонтанной (технологической) топке (в количестве 3-4% от поступающей в топку массы) полукокк. Продуктами этого варианта технологии будут: мелкозернистый полукокк, газ, смола. С учетом результатов работы опытно-промышленных установок полукоксования бурого угля с твердым теплоносителем на ТЭЦ-2 г. Калинина (Тверь) и Красноярском металлургическом заводе «Сибэлектросталь» проработан материальный баланс [1, 6].

В настоящем проекте предлагается создать комплекс по энерготехнологической переработке бурых углей Кемеровской области путем реализации отечественной технологии полукоксования с применением твердого теплоносителя (УТТ-3000). Такая установка эксплуатируется на Заводе Масел в г. Нарва с 1980 г. Принципиальная схема установки с твердым теплоносителем УТТ-3000 [1, 6, 8] для производства БПК из бурых углей представлена на рис. 3.



1 – аэрофонтанная сушилка; 2 – циклон сухого бурого угля; 3 – циклон теплоносителя; 4 – байпас; 5 – технологическая топка; 6 – пылевая камера; 7 – реактор; 8 – смеситель; 9 – теплообменник; 10 – котел-утилизатор; 11 – циклон; 12, 13 – шнековые питатели

Рис. 3. Технологическая схема термической переработки топлива на установке УТТ-3000

Термическую деструкцию бурого угля в этом процессе проводят во вращающемся реакторе барабанного типа. Бурый уголь, предварительно измельченный до класса менее 15 мм, подают в сушилку аэрофонтанного типа 1, где его сушат и подвергают предварительному нагреванию дымовыми газами от котла-утилизатора, поступающими с температурой около 600° С. Далее газоугольная взвесь направляется в двухступенчатый циклон 2, в котором бурый уголь отделяют от сушильного агента и подают в смеситель 8. Здесь происходит смешение бурого угля с твердым теплоносителем - нагретым БПК, полученным при частичном сжигании твердого остатка термической переработки бурого угля в технологической топке 5. В смесителе начинается процесс термической деструкции бурого угля, который развивается и завершается во вращающемся барабанном реакторе 7.

Топливо находится в реакторе 10-20 мин, перемещаясь за это время в соответствии с наклоном «барабана» от входа к выходу из него. Образовавшиеся парогазовые продукты и твердый остаток поступают в пылевую камеру 6, где отделяются парогазовые продукты. Далее они направляются в отделение охлаждения и конденсации, а твердый остаток - в технологическую топку 5.

В топке осуществляется частичное сжигание и нагрев БПК, используемого в дальнейшем в качестве твердого теплоносителя. Для этого в нижнюю часть топки подают воздух, который служит также для транспортирования БПК по тракту. Часть его через байпас 4 направляют в циклон 3 и далее в смеситель 8 для нагревания сухого бурого угля. Остальное количество (избыток) БПК через циклон 11 подают в теплообменник 9 для нагревания воздуха, поступающего в котел-утилизатор 10. Охлажденная БПК выводится из цикла.

Дымовые газы дожигаются в котле-утилизаторе в потоке воздуха, нагретого до 440°С, температура горения при этом составляет 880° С. Топочные газы после котла-утилизатора направляются в сушилку сырого бурого угля 1.

Принцип работы УТТ предлагаемого нами варианте будет основан на высокоскоростном термическом разложении (пиролизе) органической части бурого угля при нагревании его в реакторе без доступа кислорода до 450°С градусов во время перемешивания с твердым теплоносителем - БПК. При разложении органической части бурого угля выделяется углеводородная парогазовая смесь, сжигаемая для получения тепло- и (или) электроэнергии и БПК, часть которого отводится в виде готового продукта.

Уверенность авторов настоящего проекта в его осуществимости базируется на результатах многолетних исследований, выполненных Энергетическим институтом имени Кржижановского (ЭНИН, Москва) и Восточным углехимическим научно-исследовательским институтом (ВУХИН, Екатеринбург, Новокузнецк) по полукоксованию бурых углей Канско-Ачинского бассейна с использованием установок с твердым теплоносителем. Прежде всего, это пилотная установка на ТЭЦ-4 (г. Тверь), перерабатывавшая четыре тонны в час угля. В длительных (10-20 суток) испытаниях были отработаны основные технологические режимы. Проведены балансовые замеры, определены выходы и составы всех получаемых продуктов. Термический КПД процесса составил 92-95%. В промышленном масштабе процесс реализован на установке Красноярского металлургического завода «Сибэлектросталь», перерабатывающей шесть тонн бурого угля в час. Всего на установках в г.г. Тверь и Красноярск было переработано 100 000 тонн бурого угля Канско-Ачинского бассейна [1, 6].

На опытно-промышленной установке термодиффузионной переработки углей в кипящем слое (ТККУ) производительностью четыре тонны бурого угля в час (ТЭЦ им. В.В. Куйбышева, г. Екатеринбург) ЭНИНом и ВУХИНом в длительных испытаниях (около трех лет) отработан процесс получения зернистых и порошкообразных сорбентов из бурых и каменных углей [1].

Выполненные расчеты и наш опыт показывают, что основные параметры, реализованные в этих процессах (температура теплоносителя (800°C), температура БПК (400°C) и время пиролиза 15-20 минут) могут быть достигнуты на установке УТТ-3000. При этом детально изучено изменение технологических свойств бурых углей в процессе их переработки и характеристики получаемого основного продукта – БПК, разработаны параметры процессов складирования используемых материалов.

Учитывая многолетний успешный опыт эксплуатации оборудования установки УТТ-3000, тот факт, что принципиальных изменений в работе оборудования не планируется, технологические параметры полукоксования будут корректироваться методами режимной наладки, а процесс сжигания газопаровой смеси не должен вызвать особых сложностей (он был решен еще в 1980-х годах применительно к пуску промышленной установки ЭТХ-175) можно, по нашему мнению, рекомендовать процесс к внедрению [1, 6, 7].

Основные технологические параметры получения БПК показаны в табл. 1.

Таблица 1

Основные технологические параметры получения БПК

|                                                                            |      |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| Общее потребление угля:                                                    |      |
| Расход угля, тыс. т/год                                                    | 3000 |
| Теплосодержание угля (3700 ккал/кг), миллионов Гкал/год                    | 11,1 |
| Производство энергетической продукции:                                     |      |
| Теплоэнергия, миллионов Гкал/год                                           | 4,3  |
| Производство буроугольного полукокса:                                      |      |
| Теплосодержание производимого полукокса (6900 ккал/кг), миллионов Гкал/год | 4,9  |
| Выход кокса, тыс. т/год                                                    | 1300 |
| Удельный расход угля, тонн/т кокса                                         | 2,25 |
| Всего полезной продукции (100%), миллионов Гкал/год                        | 9,2  |
| в том числе:                                                               |      |
| горячая вода (46,7%), миллионов Гкал/год                                   | 4,3  |
| теплосодержание полукокса (53,3%), миллионов Гкал/год                      | 4,9  |
| Энергетический КПД производства в целом                                    | 83 % |

В состав типового энерготехнологического комплекса входят три установки с твердым теплоносителем УТТ-3000 для получения буроугольного полукокса, тепло- и электроэнергии, установка для приема и хранения бурых углей и угля марки ТР, установки для приготовления и отгрузки полупродукта пылеугольного топлива.

Сырье для производства БПК - бурый уголь – на первом этапе может приобретаться на разрезе Березовском. На втором этапе целесообразна организация добычи бурого угля на разрезе Барандатского месторождения Кемеровской области. Полученный БПК крупностью 0-0,25 мм может отгружаться потребителям в виде смесей с мелкими классами каменных углей.

Предложенная технология позволяет получить не только тепло- и (или) электроэнергию (при сжигании углеводородной парогазовой смеси), но и БПК, на основе которого может быть организовано производство следующих видов продукции [1, 6, 7, 9]:

- полупродукт пылеугольного топлива (ПУТ) для доменных печей или энергогенерирующих установок с использованием БПК;
- пластиковые формовки на основе БПК в качестве:
- составной части шихты для коксования;
- высокорекреационного бездымного топлива для коммунально-бытовых и технологических нужд;
- углеродистого восстановителя для ферросплавной промышленности.

Как вариант, возможно, вместо сжигания углеводородной парогазовой смеси, получение ценной химической продукции, ограничившись производством относительно небольшого количества тепло- и (или) электроэнергии для собственных нужд. Эта возможность позволяет располагать установку энерготехнологической переработки бурых углей с применением полукоксования и твердого теплоносителя как вблизи потребителя тепло- и (или) электроэнергии, так и рядом с местом добычи бурого угля, изменив технологическую схему процесса.

Реализация предложенного проекта имеет следующие достоинства [1, 6, 9]:

- получение высококачественного продукта, сбыт которого в течение ближайших 4-5 лет составит как минимум 5-7 миллионов тонн только в качестве компонента пылеугольного топлива (не менее перспективным является использование его в качестве компонента шихты для коксования, экологически чистого энергетического топлива);
- отрицательная себестоимость БПК вследствие низкой стоимости сырья и большого количества выделяющихся попутно тепло- и (или) электроэнергии;
- снижение удельного расхода топлива на выработку тепло- и (или) электроэнергии на 10-15%;
- уменьшение выбросов вредных веществ на выработку единицы тепло- и (или) электроэнергии на 20-30%.

**Выводы.** Исследование процессов полукоксования конкретных бурых углей, оценка технологических свойств полученного БПК, жидких и газообразных продуктов полукоксования, составление материального баланса, проектирование УТТ-3000, установок для получения пластиковых формовок на основе БПК, для приготовления полупродукта ПУТ, разгрузки, подготовки сырья, отгрузки готовой продукции и выполнение пуско-наладочных работ может быть осуществлено ВУХИНОм (Екатеринбург, Новокузнецк), НТЦ «Экосорб» (Москва), ЭНИНОм (Москва), Атомэнергопроект (Санкт-Петербург).

Основные экономические показатели проекта: общая стоимость проекта – 120 млн. долларов США; срок выполнения проекта (с начала получения финансирования до вывода установки на проектный режим) – 30 месяцев; дисконтированный период окупаемости 28 месяцев с начала серийного производства [1, 6, 7].

#### Список литературы

1. Школлер М.Б. Полукоксование каменных и бурых углей. – Новокузнецк: Инженерная академия России, Кузбасский филиал, 2001. – 235 с.
2. Сучков С. И., Бабий В. И., Абросимов. А. А. Экспериментальная разработка системы газификации твердого топлива для ПГУ // Теплоэнергетика. – 1998. – № 6. – С. 43-49.

3. Исламов, С.Р. Энерготехнологическая переработка углей: монография. – Красноярск: Поликор, 2010. – 224 с.
4. Степанов С.Г. Промышленные технологии переработки угля: перспективы использования в Канско-Ачинском угольном бассейне. – Красноярск: Красноярский гос. университет, 2002. – 85 с.
5. Исламов, С.Р. Энерготехнологическая переработка бурого угля в типовом котельном агрегате // Промышленная энергетика. – 2008. – № 2. – С. 25-28.
6. Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б., Лобанов В.В. Технологическо-проектные проблемы и направления процессов глубокой переработки каменных и бурых углей (обзор) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2016. – №24. – С. 1 – 14.
7. Прошунин Ю.Е., Школлер М.Б. К вопросу о перспективах энерготехнологической переработки бурых углей Кемеровской области // Металлургия: технологии, инновации, качество: сб. науч. докладов всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, 15-16 ноября 2017. – Новокузнецк, 2017. – Часть 2. – С. 369-375.
8. Бруер Г.Г., Иванчиков А. К., Школлер М.Б. Результаты промышленных испытаний установки высокоскоростного пиролиза угля на завод «Сибэлектросталь»: сб. Комплексное использование бурых углей Канско-Ачинского бассейна. – Новосибирск: Наука, 1968, С. 41-46.
9. Школлер М.Б., Прошунин Ю.Е., Степанов С.Г., Исламов С.Р. Сырьевая база производства пылеугольного топлива для вдувания в горн доменных печей // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: тр. междунар. науч.-технич. конф., 18-21 декабря 2006. – Донецк, 2006. – С. 144 – 151.

УДК 662.74

#### **О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ГАЗА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ КАМЕННЫХ И БУРЫХ УГЛЕЙ**

**д.т.н. Прошунин Ю.Е.**

**Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия**

**Аннотация.** Показана ретроспектива развития подземной газификации каменных и бурых углей. Предложен способ подготовки энергетического газа, позволяющий избежать конденсации углеводородов в газопроводах, осуществлять очистку газа сухим способом, исключив дорогостоящие процессы переработки сточных вод, взрывоопасных и токсичных материалов, существенно улучшив экологические и экономические параметры процесса.

**Ключевые слова:** каменные и бурые угли, подземная газификация, энергетический газ, температурный режим, конденсация углеводородов, сухая очистка, способ подготовки газа.

Впервые гипотеза о возможности реализации подземной газификации углей (ПГУ) была сформулирована сэром Вильямом Сименсом в 1868г. в сообщении Химическому Обществу Лондона [1]. Эта идея была развита великим русским ученым Д.И. Менделеевым в 1888г., а несколько позже им же была предложена принципиальная технологическая схема подземного газогенератора и обозначена возможность его использования для тушения подземных пожаров [2].

В Советском Союзе в тридцатых годах прошлого века интенсивные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать основные принципы осуществления технологии, на основании которых были введены в эксплуатацию и успешно функционировали в течение ряда лет и даже десятилетий несколько опытно-промышленных установок подземной газификации. Это Южно-Абинская (Кузбасс) и Лисичанская (Донбасс) станции «Подземгаз» на каменных углях, Подмосковная и Шатская (Подмосковный бассейн), Ангренская (Узбекистан) и Синельниковская (Днепропетровский бассейн) станции