

УДК 662.7

DOI: 10.15372/KhUR20160317

Технологическо-проектные проблемы и направления процессов глубокой переработки каменных и бурых углей

Ю. Е. ПРОШУНИН¹, М. Б. ШКОЛЛЕР², В. В. ЛОБАНОВ³

¹ООО «Энергоресурс»,
ул. Ливинская, 54, корп. 8, Новокузнецк 654102 (Россия)

E-mail: proshunin_ue@mail.ru

²Сибирский государственный индустриальный университет,
ул. Кирова, 42, Новокузнецк 654007 (Россия)

³Кузнецкий центр АО «Восточный научно-исследовательский углехимический институт»,
ул. Климасенко, 19, Новокузнецк 654038 (Россия)

Аннотация

Проанализированы тенденции развития энергетики и коксохимии – основных потребителей каменных и бурых углей. Показан значительный потенциал увеличения доли используемых углей в энергетике. Широкое применение в коксохимии технологии вдувания пылеугольного топлива для получения чугуна, с одной стороны, значительно снижает количество потребляемого металлургического кокса; с другой стороны, требует существенного улучшения его качества. Рассмотрены возможные направления повышения качества доменного кокса, совершенствования сырьевой базы пылеугольного топлива для доменных печей и производства спецвидов кокса. Предложены новые направления получения синтез-газа на основе действующих коксохимических и металлургических предприятий путем смешения коксового и конвертерного газов, а также методом газификации смолородящих эмульсий. Показана перспективность отечественного метода каталитического коксования, который не имеет аналогов в мире. Его реализация позволит развить фундаментальные научные подходы к составлению угольных смесей для коксования, а также предложить эффективные методы их подготовки. Разработана перспективная отечественная технология энерготехнологической переработки бурых углей Кемеровской области на основе полукоксования с применением твердого теплоносителя. Создан способ получения заменителей пека для производства элитных сортов игольчатого кокса путем мягкого термического растворения определенного типа углей в технических маслах, выделяемых из коксохимической смолы. Показаны преимущества технологии подготовки и сжигания водоугольного топлива: 1) относительная дешевизна; 2) доступность сырья; 3) экологическая чистота процесса сжигания; 4) апробированность процесса (отработана передача суспензии по трубопроводам на расстояние 200–600 км и переработано около 600 тыс. т топлива). Разработан не имеющий аналогов в мире способ подготовки энергетического газа подземной газификации углей, позволяющий существенно (на 40 %) снизить капитальные вложения в сооружение установки и практически в два раза уменьшить срок окупаемости капитальных вложений. Предложения направлены на использование потенциала уникального угольного бассейна, расположенного в Кемеровской области.

Ключевые слова: каменные и бурые угли, энергетика, коксохимия, синтез-газ, полукоксование с твердым теплоносителем, газификация, термическое растворение

ВВЕДЕНИЕ

Добыча твердого топлива в Кемеровской области, обладающей крупными запасами каменных и бурых углей, превысила 200 млн т/год, и для региона чрезвычайно остро стоит проблема перехода от реализации слегка обогащенно-

го (за счет сортировки и обогащения) угольного сырья к производству и сбыту продуктов его глубокой переработки с высокой добавленной стоимостью. Эта проблема особенно актуальна с учетом большой удаленности рынков сбыта.

По нашему мнению, следует обратить внимание на следующие тенденции развития отрас-

лей промышленности, которые являются основными потребителями каменных и бурых углей – коксохимия, энергетика, а также углехимия.

ЭНЕРГЕТИКА

Доля угля в энергетике мира составляет 44 %, в том числе 88 % в Австралии, 82 % в Китае, 56 % в США, 91 % в Польше, 59 % в Канаде, 63 % в Великобритании, 55 % в Германии. В России этот показатель чуть выше 20 % [1]. Это указывает на значительный потенциал использования углей в энергетике нашей страны, причем исключительно за счет современных экологичных и экономически эффективных технологий. Так, при реконструкции действующих и вводе в эксплуатацию новых энергогенерирующих установок целесообразно использовать внутрицикловую газификацию или еще более перспективное внутрицикловое полукоксование. Следует также шире вовлекать в энергетику высококачественные экологичные бурые угли месторождений Канско-Ачинского бассейна, расположенных в Кемеровской области и Красноярском крае.

Опыт прошедших десятилетий показывает, что регулярное повышение цен на нефть возобновляет интерес к альтернативным источникам получения энергии и технологии производства синтетических углеводородов из угля [2, 3], например, на основе синтеза Фишера – Тропша, который наиболее развит в ЮАР и Китае. Сегодня, когда цены на нефть снизились более чем в 3 раза, этот интерес угас, еще и в связи с необходимостью значительных капитальных затрат, львиную долю которых составляют объекты получения синтез-газа ($\text{CO} + \text{H}_2$).

Вероятно, в среднесрочной перспективе цены на нефть снова вырастут, в том числе и по причине исчерпаемости данного ресурса в ближайшие десятилетия [3, 4]. По нашему мнению, необходимо уже сегодня, используя возможности коксохимической промышленности – единственного реально существующего в России направления глубокой переработки углей, – разрабатывать и промышленно осваивать процессы синтеза углеводородов для их дальнейшего применения на углехимических комбинатах.

Причем делать это нужно безотлагательно, даже в условиях резкого снижения цен на нефть. Результаты анализа существующего положения газо- и нефтедобывающей отечественной отрасли промышленности плачевные: 1) крайне низкий уровень извлечения нефти и природного газа из земных недр – не более 30 % (для сравнения: в Норвегии этот показатель составляет около 65 %, а в СССР даже в 1960 г. он не опускался ниже 51 %); 2) катастрофическое снижение объемов выпускаемых отечественных буровых установок и геолого-разведочных работ (объемы бурения снизились в 4.5 раза по сравнению с 1990 г., а объем выпускаемого бурового оборудования нужно увеличивать более чем на порядок) и, как следствие, резкое падение запасов; 3) изношенность нефтеперерабатывающих предприятий, нефте- и газопроводов и отставание в развитии производства сжиженного газа [1].

Правительство России совершенно нелогично осуществляет так называемый налоговый маневр. Его суть заключается в сочетании низких таможенных пошлин на вывоз сырой нефти и высокого налога на добычу этого энергоносителя, что стимулирует не развитие нефтепереработки, а вывоз сырой нефти, а также существенно повышает стоимость бензина, дизельного топлива и другой подобной продукции внутри страны, делая неконкурентоспособными практически все отрасли экономики.

Для развития экономики страны и получения конкурентной продукции необходимы недорогие энергоносители, и в этом плане потенциал Кемеровской области трудно переоценить.

КОКСОХИМИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

По нашему мнению, можно выделить две основные тенденции, определяющие развитие коксохимической отрасли.

Во-первых, коксохимические предприятия преимущественно являются собственностью металлургических компаний, для которых пока только один продукт коксохимии считается профильным – доменный кокс. Остальные технологические процессы, связанные с утилизацией химических продуктов коксования, чаще всего рассматриваются как неизбежное зло.

Во-вторых, широкое использование технологии вдувания пылеугольного топлива для получения чугуна, с одной стороны, значительно снижает объемы потребляемого металлургического кокса, а с другой – требует существенного улучшения его качества [5].

В регионе функционируют два мощных коксохимических производства (КХП): в ОАО “ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК” и ОАО “Кокс”, продуцирующих из угля, наряду с металлургическим коксом, жидкие ароматические и полиароматические углеводороды, а также коксовый газ, содержащий до 60 % молекулярного водорода.

Нами предложен универсальный способ утилизации химических продуктов пиролиза твердых топлив, который призван уменьшить загрязнение окружающей среды и заменить существующий ассортимент неликвидных сегодня химических продуктов пиролиза твердых топлив востребованным ассортиментом химических продуктов, в частности моторными топливами, спиртами и водородом.

В соответствии с ним, из выделенных при охлаждении газов пиролиза смолы, воды пиролиза и органических отходов готовится водосмоляная эмульсия, которая подвергается каталитической аллотермической газификации для получения синтез-газа. Водяной газ, продукт взаимодействия углерода органических соединений с водяным паром по реакции: $C(тв) + H_2O(г) \rightarrow CO(г) + H_2(г)$ ($\Delta H^0 = 131$ кДж/моль, термодинамическая равновесная температура 879 К), теоретически должен иметь следующий состав, об. %: CO 50, H₂ 50. Выход водяного газа из 1 кг углерода должен составить 3.73 м³, низшая теплотворная способность равна 11.8 МДж/м³ (везде при нормальных условиях).

По данным ООО “Цеосит”, для синтеза высокооктановых моторных топлив объемное соотношение компонентов синтез-газа H₂/CO должно составлять 1.8–2.4 [6]. Обогащение водяного газа можно также осуществить за счет части водорода, выделенного из коксового газа. В составе химического блока остаются технологический цикл улавливания и переработки сырого бензола. Для улавливания сырого бензола могут быть использованы нефтяной или синтетический абсорбенты. Полученный обезводороженный “богатый” газ при этом может

применяться для обогрева коксовых батарей и аллотермического газификатора.

При использовании предлагаемой технологической схемы на предприятии мощностью 3 млн т кокса/год можно получить ежегодно вместо 80 тыс. т дешевых технических масел и 80 тыс. т пека следующую продукцию:

- 1) автобензин (ОЧ 90) – 100–110 тыс. т;
- 2) дизельное топливо – 10–11 тыс. т;
- 3) водород – 700–720 млн м³;
- 4) бензол высокой чистоты – 25–30 тыс. т;
- 5) электроэнергия – 25–30 МВт.

Одновременно более чем в 2.5 раза снижается нагрузка на водоочистные сооружения, из технологического цикла устраняются канцерогенные продукты, снимается проблема утилизации фусов и других жидких отходов. Доля продукции химического блока в общей выручке составит почти 32 %, т. е. возрастет практически вдвое.

Безусловно, реализация такой технологической структуры химического блока КХП потребует выполнения значительного комплекса НИОКР в области получения стабильных водосмоляных эмульсий, уточнения технологических параметров процесса их газификации, глубокой очистки коксового газа, выделения из него водорода и т. д.

С нашей точки зрения, серьезного внимания заслуживает еще один способ получения синтез-газа на интегрированных металлургических предприятиях полного цикла. Здесь обратный коксовый газ с содержанием водорода 60 об. % поступает в газовые сети и обычно применяется в качестве топлива в различных технологиях цикла чугун – сталь – прокат. В то же время конвертерный газ с содержанием CO 85–90 об. % из-за значительных колебаний по выходу (в среднем 70–90 м³/т стали) чаще всего дожигают “на свече”. Выделенный из коксового газа водород в сочетании с CO конвертерного газа представляет собой значительный ресурс для синтез-газа.

Так, например, при сложившихся на ОАО “ЕВРАЗ Объединенный ЗСМК” объемах производства кокса и стали можно получать свыше 1.3 млрд м³/год синтез-газа, что соответствует возможности и высокой рентабельности синтеза высокооктанового синтетических углеводородов.

Одна из важнейших задач коксохимии связана с решением проблемы значительного улучшения качества кокса, особенно в связи с переходом на технологию получения чугуна с вдуванием в горн доменной печи пылеугольного топлива (ПУТ). В 1970–80-х гг. в ВУХИНе был выполнен большой комплекс исследований, включая опытно-промышленные и промышленные испытания по производству высококачественного кокса из термически подготовленных [7–11], подсушенных [11, 12], частично гранулированных [13, 14] и брикетированных [15] угольных шихт. Несмотря на значительные потери за последние 30 лет, в России сохранился потенциал прикладной углехимической науки и проектирования (ВУХИН и его Кузнецкий центр в Новокузнецке). К проблемам углехимии повернулась и РАН: в Кемерово организован Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН.

Для существенного улучшения качества кокса, а также для развития процессов глубокой и энерготехнологической переработки углей, помимо использования различных апробированных в промышленных условиях технологий подготовки шихты к коксованию, необходимо решить ряд задач.

Разработка российской программы стратегического управления угольными сырьевыми ресурсами

Актуальность направления обусловлена тем, что состояние сырьевой базы российской коксохимии не позволяет производить кокс, который по качеству соответствует международному уровню и требованиям доменщиков в условиях применения ПУТ. Это связано с дефицитом отдельных марок коксующихся углей и, самое главное, со значительным произволом в формировании сырьевых баз фабрик, обогащающих коксующиеся угли.

В программе должны быть отражены:

- восстановление научно-обоснованной и планомерной геологической разведки угольных месторождений России с определением запасов полезных ископаемых применительно к развитию современных технологий их добычи;

- сбалансированное развитие добычи коксующихся и энергетических углей для коксования;

- развитие технологий отработки мало-мощных пластов с запасами углей ценных марок, а также технологий, направленных на комплексную разработку угольных пластов с запасами углей менее ценных марок, последующую их глубокую переработку и получение концентратов с заданными технологическими свойствами для коксования;

- создание независимого сертификационного центра на базе ВУХИНа для сертификации и аттестации новых угольных топлив с целью оперативной оценки качества выпускаемой продукции и продуктов, получаемых в результате внедрения новых технологий, а также для жесткой координации распределения высокодефицитных коксующихся углей между углеперерабатывающими предприятиями.

Развитие научных основ процессов спекания витринита каменных, коксующихся и некоксующихся углей

На протяжении 85 лет ведущие ученые ВУХИНа закладывали основополагающие принципы теории коксования. Эти принципы стали базой для функционирующих в России коксохимических производств. Однако ввод в эксплуатацию новых угольных месторождений, расширение наших представлений о свойствах и поведении угольных смесей в процессе их переработки, переосмысление информации об эффективности различных методов подготовки угольных шихт для коксования требуют углубить фундаментальные знания о процессе коксообразования для повышения эффективности углехимии.

С целью расширения сырьевой базы коксохимии и совершенствования технологии получения металлургического кокса перспективным представляется не имеющий аналогов в мире метод каталитического коксования [3, 4]. Предварительными исследованиями показано, что некоторые катализаторы, введенные в шихту в незначительном количестве (например, пирит, нанесенный на коксовую пыль или отощающую присадку), могут влиять на состав пластической массы, катализируя реакции перераспределения водорода и кислорода в процессе коксования. При этом катализатор ускоряет деструкцию кислородсодержащих молекул, обогащая пластическую мас-

су структурами, из которых образуется прочный кокс на последующей высокотемпературной стадии коксования.

Проект исключительно перспективен, однако эти исследования практически не финансируются и потому далеки от технологического воплощения. Реализация данного проекта позволит развить научные подходы к составлению угольных смесей для коксования при использовании углей перспективных месторождений центральной Сибири, поведение которых в процессе спекания отличается от поведения традиционно используемых углей, а также предложить эффективные методы их подготовки и коксования.

Получение и использование спецвидов кокса

Актуальны проблемы использования и сохранения выводимых из эксплуатации коксовых батарей, которые сегодня останавливаются на консервацию (например, КХП бывшего Кузнецкого металлургического комбината) и вряд ли будут вводиться в эксплуатацию в будущем. С нашей точки зрения, излишние мощности коксохимии, располагающие типичной для углехимических предприятий инфраструктурой и квалифицированными кадрами, целесообразно использовать для получения бездымного топлива или спецвидов кокса.

Известно, что каменноугольный кокс применяется в качестве восстановителя и технологического топлива во многих недоменных технологиях (литейное и ферросплавное производство, агломерация различных видов минерального сырья, получение цветных металлов, фосфора, карбида кальция и др.). Успешный ход этих процессов зачастую определяется иными свойствами кокса, нежели теми, что оптимальны при выплавке чугуна [4].

Потребность российских предприятий в таких специальных сортах каменноугольного кокса достигает 10 млн т/год. Ее покрытие в условиях снижения производства кокса может быть достигнуто за счет более широкого использования процесса полукоксования – еще одного способа глубокой комплексной переработки угля с получением твердых, жидких и газообразных продуктов. Сырьевой базой процесса может стать широкая гамма не-

спекающихся каменных и бурых углей, окомкованные угольные шламы и т. п. По сравнению с коксом полукокс обладает более ярко выраженными реакционной способностью, электросопротивлением, а его использование в электротермических процессах получения ферросплавов, фосфора, карбида кальция и др., как показывают результаты промышленного применения, способствует значительному повышению производительности электропечей и уменьшению расхода электроэнергии [4].

Энерготехнологическая переработка бурых углей Кемеровской области

Известно, что наиболее экологичным и эффективным топливом являются бурые угли и буроугольный полукокс (БПК), полученный при их переработке. На территории Кемеровской области расположены два крупных месторождения бурых углей: Итатское и Барандатское, относящиеся к Канско-Ачинскому бассейну (общие запасы составляют 66 млрд т). В качестве сырья для реализации предлагаемого проекта может быть использован высококачественный бурый уголь Барандатского месторождения, расположенного в Тисульском районе Кемеровской области. Характеристики угля: марка Б2-Б3, влажность W_t^r 32–36 %, средняя зольность A^d 7 %, минимальная – 4 %; V^{daf} 44–48 %, содержание общей серы S^d 0.3 %. Запасы углей этого месторождения составляют примерно 36 млрд т при средней мощности угольного пласта 44–58 м и максимальной мощности – до 100 м.

По имеющимся данным, требуемые инвестиции в развитие добычи в Канско-Ачинском бассейне в 1.5 раза меньше, чем при строительстве разрезов на Ерунаковском месторождении, и в 3.5 раза меньше, чем при строительстве шахт [3, 16]. Себестоимость добычи бурых углей здесь была в 5 раз ниже средней себестоимости, определенной Министерством угольной промышленности СССР, и составляла примерно 50 коп./т.

В настоящем проекте предлагается создать комплекс по энерготехнологической переработке бурых углей Кузбасса на основе перспективной отечественной технологии полукок-

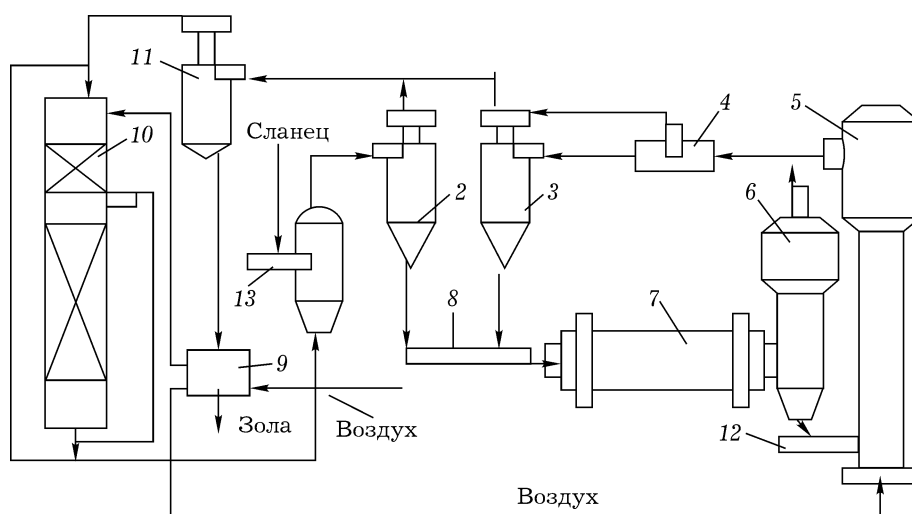


Рис. 1. Технологическая схема термической переработки топлива на установке УТТ-3000: 1 – аэрофонтанная сушилка; 2 – циклон сухого сланца; 3 – циклон теплоносителя; 4 – байпас; 5 – технологическая топка; 6 – пылевая камера; 7 – реактор; 8 – смеситель; 9 – зольный теплообменник; 10 – котел-утилизатор; 11 – зольный циклон; 12, 13 – шнековые питатели.

сования с применением твердого теплоносителя (УТТ-3000) [3, 16]. Использование в энергоблоках установок полукоксования по сравнению с ПГУ с установкой газификации позволяет существенно сократить объем инвестиций на реализацию проекта и получить компактный экономичный и экологичный агрегат с использованием имеющегося котельного и турбинного оборудования. В данном случае не требуется производство кислорода и возможно исполнение в виде комплекса газотурбинного цикла с использованием продуктов сжигания охлажденного газа полукоксования (цикл Брайтона) либо паротурбинного цикла сжигания полукокса (цикл Ренкина). В этом случае необходимо организовать переработку химических продуктов полукоксования. Целесообразен энергометаллургический вариант с газотурбинным циклом и производством полукокса для черной металлургии и (или) энергетики.

Принципиальная схема установки с твердым теплоносителем УТТ-3000 [16, 17] представлена на рис. 1. Такая установка производительностью примерно 1 млн т сланца в год, или 3 300 т сланца/сут, эксплуатируется на Заводе масел в г. Нарва с 1980 г.

Принцип работы УТТ основан на высокоскоростном термическом разложении (пиролизе) органической части бурого угля при

нагревании его в реакторе без доступа кислорода во время перемешивания с твердым теплоносителем (БПК). При разложении органической части бурого угля выделяется углеводородная парогазовая смесь, сжигаемая для получения тепло- и (или) электроэнергии.

Выполненные расчеты показывают, что необходимые для реализации процесса полукоксования параметры: температура теплоносителя 800 °С, температура БПК 400 °С, время пиролиза 15–20 мин – могут быть достигнуты с использованием установки УТТ-3000.

Проект базируется на результатах многолетних исследований, выполненных в Энергетическом институте им. Кржижановского (Москва) и в ВУХИНе (Екатеринбург, Новокузнецк) по полукоксованию бурых углей Канско-Ачинского бассейна с использованием УТТ. Разработана технология энерготехнологической переработки бурых углей и выполнен комплекс исследований в опытно-промышленных условиях на УТТ и в кипящем слое на установках в Красноярске, Твери и Екатеринбурге. Всего переработано более 100 000 т бурых углей, детально изучено изменение технологических характеристик материала в процессе их переработки и свойства получаемого основного продукта – БПК.

Учитывая многолетний успешный опыт эксплуатации оборудования установки УТТ-3000

ТАБЛИЦА 1

Основные технологические параметры получения БПК

Параметры	Значение
Общее потребление угля:	
Расход угля, тыс. т/год	3000
Теплосодержание угля (15.5 МДж/кг), млн ГДж/год	465
Производство энергетической продукции:	
Теплоэнергия, млн ГДж/год	18.0
Производство буроугольного полукокса:	
Теплосодержание производимого полукокса (28.9 ГДж/кг), млн ГДж/год	20.5
Выход кокса, тыс. т/год	1300
Удельный расход угля, т/т кокса	2.25
<i>Всего полезной продукции (100 %), млн ГДж/год,</i>	<i>38.5</i>
в том числе:	
горячая вода (46.7 %), млн ГДж/год	18.0
теплосодержание полукокса (53.3 %), млн ГДж/год	20.5
Энергетический КПД производства в целом, %	83

и тот факт, что принципиальных изменений в работе оборудования не планируется, а технологические параметры полукоксования будут корректироваться методами режимной наладки, процесс сжигания газопаровой смеси не должен вызвать особых сложностей. Более того, он был решен еще в 1980-х годах применительно к пуску промышленной установки ЭТХ-175. Таким образом, его можно рекомендовать к внедрению [3, 16, 17].

Основные технологические параметры получения БПК и его свойства приведены в табл. 1, 2.

Достоинства использования БПК в качестве компонента ПУТ обоснованы следующим [1]. Максимальный расход ПУТ ограничивается для углей с высоким выходом летучих веществ повышенным эндотермическим эффектом их разложения, а для углей с низким выходом летучих веществ – неполной газификацией угольных частиц за время их пребывания в фурменной зоне. Применение БПК в качестве инициатора зажигания эффективно с точки зрения экономии кокса, так как он имеет более низкий выход летучих веществ, которые в основном представлены такими восстановителями, как CO и H₂ (рис. 2).

Использование ПУТ, состоящего из БПК и тощего угля [1] в равной пропорции, позволит повысить производительность доменно-

ТАБЛИЦА 2

Физико-химические свойства БПК [3, 4]

Показатели	Значение
Влага аналитическая W^a , %	1.17
Зольность на сухую массу A^d , %	8.59
Выход летучих веществ на горючую массу V^{daf} , %	8.31
S^d , %	0.12
R^d , %	0.003
Элементный анализ, % на горючую массу:	
С	90.85
Н	1.97
О	6.16
S	0.13
Теплота сгорания, ккал/кг:	
высшая Q_s^{daf}	7760
визшая Q_i^r	6908
Реакционная способность по CO ₂ при 1000 °C, см ³ /(г · с)	6.48
Плотность, г/см ³ :	
действительная	1.846
кажущаяся	0.924
Пористость, %	49.9
Общий объем пор, см ³ /г	0.540
Структурная прочность, %	3.2

го производства на 7.5 %, уменьшить расход доменного кокса до 330 кг на 1 т чугуна, или

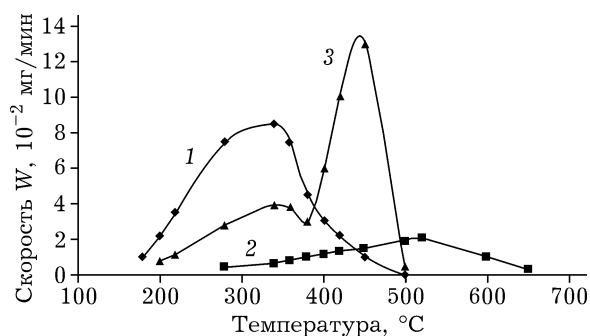


Рис. 2. Влияние температуры на скорость окисления кислородом БПК (1), угля марки Т (2), смеси БПК и угля марки Т (3).

на 23.4 %, полностью исключив при этом подачу природного газа, а также снизить себестоимость чугуна на 8.8 %. Угольная пыль может заместить в доменной печи 100 % природного газа и 20–40 % кокса, существенно улучшить технико-экономические показатели процесса, а стоимость строительства установки вдувания в 4 раза меньше, чем строительство коксовой батареи производительностью заменяемого ПУТ кокса. На 4.1 % сокращается подача кислородного дутья; благодаря высокой основности золы БПК, подачу флюсов можно сократить на 60–80 % либо полностью.

Предложенная технология позволяет получить не только тепло- и (или) электроэнергию (при сжигании углеводородной парогазовой смеси), но и БПК, обладающий рядом уникальных технологических свойств.

Тепло- и (или) электроэнергия могут быть напрямую реализованы потребителю (к энерготехнологическому комплексу проявили интерес крупнейшие города юга Кузбасса – Новокузнецк и Прокопьевск, испытывающие сегодня их существенный дефицит).

На основе БПК может быть организовано производство следующих видов продукции (технология их получения разработана авторами проекта):

- 1) полупродукт ПУТ с использованием БПК;
- 2) пластические 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.

Эффект от применения инновационного продукта потребителем:

1) получение высококачественного продукта, сбыт которого в течение ближайших 4–5 лет составит как минимум 5–7 млн т только в качестве компонента ПУТ для доменных печей, а в перспективе – до 50 млн т ежегодно в качестве компонента ПУТ для энергогенерирующих установок (не менее перспективно использование его в качестве компонента шихты для коксования, экологически чистого топлива);

2) практически нулевая себестоимость БПК вследствие низкой стоимости сырья и большого количества выделяющихся попутно тепло- и (или) электроэнергии;

3) снижение на 10–15 % удельного расхода топлива на выработку тепло- и (или) электроэнергии;

4) уменьшение выбросов вредных веществ на выработку единицы тепло- и (или) электроэнергии на 20–30 %.

При тиражировании технологии возможна организация комплекса как по циклу Ренкина, так и по циклу Брайтона, т. е., наряду с выработкой тепло- и электроэнергии, могут быть получены не только БПК, но и горючий газ и жидкое топливо в качестве сырья для получения химической продукции.

Организация производства термостойких изделий повышенной прочности из кузнецких углей

Игольчатый кокс, используемый для получения специальных сталей и сверхчистого алюминия, основным потребителем которых является оборонная промышленность, не производится в России даже в масштабе опытно-промышленных партий. Эту ситуацию нельзя назвать нормальной, так как ежегодно за рубежом приобретается не только игольчатый кокс на сумму свыше 150 млн долл. США, но и значительное количество изготавливаемых на его основе электродов для производства электросталей и другой продукции.

Главные условия получения кокса, обладающего игольчатой структурой, – целенаправленный выбор сырья и технологии его подготовки. Для изготовления электроугольных изделий и огнеупорных масс, работаю-

щих при высоких температурах и в режиме “нагрев – охлаждение”, требуется особый вид жидкого связующего нефтяного или угольного происхождения, которое обладает мезогенными свойствами, т. е. способностью при нагреве до 600 °С образовывать сферулы с правильной ориентацией. Каменноугольное сырье в данном случае предпочтительно по сравнению с нефтяным из-за низкой сернистости. Электроды из игольчатого кокса на основе анизотропного малосернистого каменноугольного пека с низким коэффициентом термического расширения и высокой электрической проводимостью характеризуются более низким показателем растрескивания и пониженным расходом графита.

Получение каменноугольного сырья из пека коксования для производства игольчатого кокса освоено в Японии и Германии. Пек подвергается очень сложной и дорогостоящей обработке и только тогда приобретает определенный потенциал мезогенности. Между тем пластическая масса коксующихся углей изначально располагает подобным потенциалом, который при коксовании трансформируется в прочное тело кристаллита доменного кокса.

Нами разработан принципиально новый процесс получения исходного материала для производства игольчатого кокса путем использования мягкого термического растворения (в интервале температур 290–320 °С, при давлении 0,2–0,3 МПа) в водорододонорном раство-

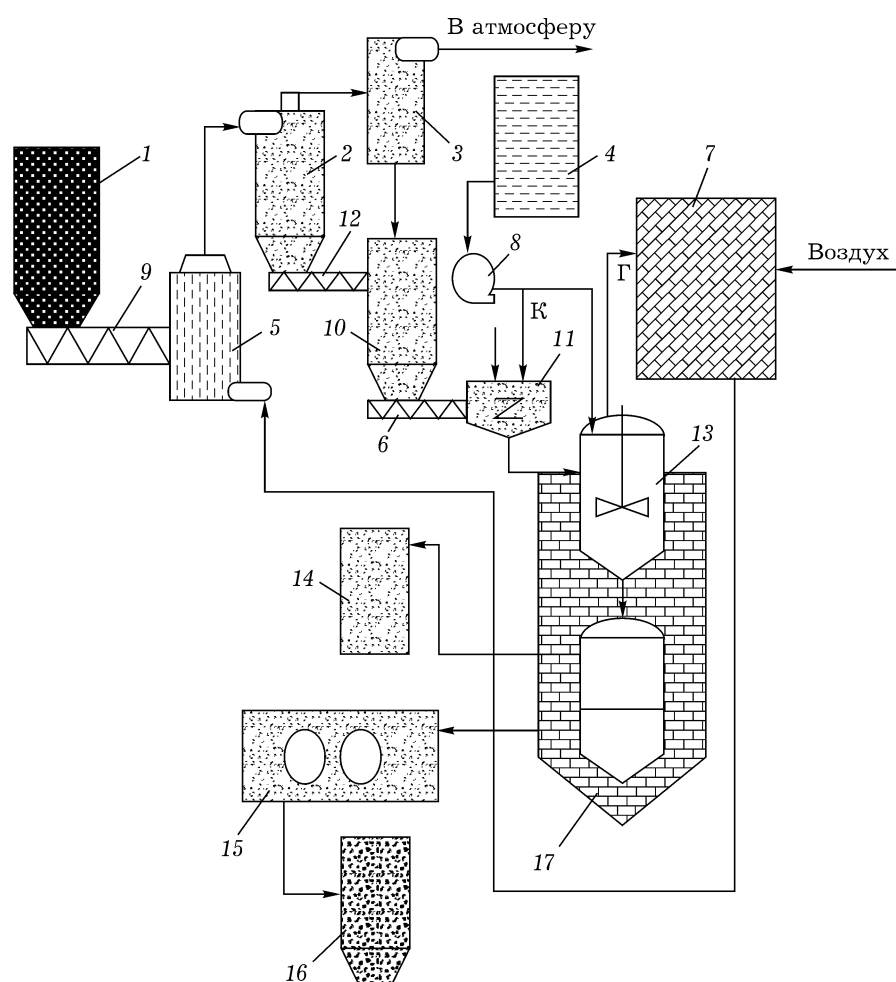


Рис. 3. Принципиальная схема процесса термического растворения углей: 1 – бункер исходного угля; 2 – циклон сухой пыли; 3 – рукавный фильтр; 4 – емкость с растворителем; 5 – мельница-сушилка; 6, 12 – питатели сухой пыли; 7 – топка; 8 – насос; 9 – питатель исходного угля; 10 – бункер сухой пыли; 11 – обогреваемый смеситель; 13 – реактор с центрифугой; 14 – хранилище пека; 15 – пресс для брикетирования шлама; 16 – склад брикетов; 17 – обогреватель реактора с центрифугой; Г – газы.

рителе, в качестве которого использованы фракции каменноугольной смолы, обладающие *n*-донорными свойствами. В мезофазном, высокоароматичном и низкосернистом продукте отсутствуют вещества, нерастворимые в хинолине, что способствует формированию анизотропной структуры электродного кокса при карбонизации и графитизации пекоподобного продукта в процессе прокаливании. При коксовании угля выход пека (побочного продукта) составляет примерно 2 % от его массы. В разработанном способе переход в растворенное состояние органической массы некоторых марок угля может достигать 85–90 % [18].

На рис. 3 приведена технологическая схема термического растворения углей [18]. Коксующиеся угли марок ГЖ или Ж загружаются в бункер 1, откуда уголь ленточным транспортером доставляется в мельницу-сушилку 5, где происходит его дробление до крупности 0–80 мкм и сушка до остаточной влажности 2–5 %. После осаждения в циклоне 2 и улавливания в рукавном фильтре 3 угольная пыль поступает в бункер сухой пыли 10.

В обогреваемый смеситель 11 из бункера сухой пыли 10 поступает необходимое для проведения процесса количество пыли, которая смешивается с поступающим из емкости 4 определенным количеством растворителя – антраценовой фракции. Полученная паста направляется в реактор 13, где при перемешивании и заданных технологических параметрах получается жидкоподвижный пекоподобный продукт. После завершения процесса жидкоподвижная масса перетекает в обогреваемый центробежный сепаратор – центрифугу, где разделяется на готовый продукт, направляемый в хранилище 14, и шлам, поступающий на установку брикетирования. Получаемые в результате пиролиза газы (Г) служат топливом для топки 7, обеспечивающей теплом реактор с центрифугой, смеситель и мельницу-сушилку.

Приведенная технологическая схема должна быть дополнена цехом производства игольчатого кокса, а также установкой по производству углепексовых брикетов для использования в отопительных системах. Технология производства углепексовых брикетов хорошо проработана многими исследователями, поэтому принципиальных трудностей при ее внедрении

возникнуть не должно. Имеется стандартное оборудование требуемой производительности.

Игольчатый кокс может быть получен тремя различными способами коксования, каждый из которых детально отработан в промышленных условиях и реализуется на стандартном оборудовании: 1) процесс коксования в динасовых камерных регенеративных печах конструкции Гипрококса; 2) на отечественных установках замедленного коксования; 3) на зарубежных установках замедленного коксования, в первую очередь производства США, перерабатывающих более 130 млн т продукта в год. Окончательный выбор варианта может быть сделан при разработке бизнес-плана для конкретного заказчика.

В настоящее время проведены научно-исследовательские работы, комплекс лабораторных и полупромышленных испытаний, выполнена предварительная проработка технологических схем процессов мягкого термического растворения угля с целью получения специального связующего и дальнейшего коксования его для производства термостойких изделий повышенной прочности (игольчатого кокса), подготовлено технико-экономическое обоснование эффективности реализации проекта.

По мнению авторов, целесообразно организовать в Кузбассе производство объемом 250 тыс. т/год пекоподобного продукта и примерно 70–80 тыс. т/год игольчатого кокса на его основе. Для этого, по предварительным расчетам, потребуется примерно 150 тыс. т концентратов углей марок Ж и К и примерно 150 тыс. т/год фракций каменноугольной смолы, получаемых на КХП Кузбасса и ОАО “Алтай-кокс”. Внедрение данного проекта позволит организовать в Кемеровской области производство высококачественного игольчатого кокса на сумму ориентировочно 100 млн долл. США в количестве, практически достаточном для обеспечения потребностей РФ. Возможна реализация части продукции на мировом рынке. В процессе производства будет также получена другая ликвидная продукция с высокой добавленной стоимостью: бензин, дизельное топливо, мазут, газы, выделяющиеся в процессах получения каменноугольного пека (по калорийности близкие к природному).

Парокислородная газификация энергетических углей

Перспективным направлением является развитие классического процесса наземной парокислородной газификации энергетических углей (пример – комбинат Sasol в ЮАР, перерабатывающий ежегодно более 40 млн т угля) и дальнейшая организация производства синтез-газа с получением на его основе химических продуктов и моторных топлив. Не следует списывать со счетов и богатейший отечественный опыт: в 1950-е годы в СССР успешно функционировало около 350 газогенераторных станций и более 2500 газогенераторов.

Технология подготовки и сжигания экологически чистого водоугольного топлива на основе угольных шламов и отходов углеобогащения

Технология подготовки и сжигания водоугольного топлива (ВУТ) имеет ряд преимуществ: 1) относительная дешевизна ВУТ, частично приготовленного на основе угольных шламов и отходов углеобогащения; 2) доступность сырья благодаря наличию в регионе нескольких десятков углеобогатительных фабрик; 3) относительная экологичность процесса сжигания ВУТ по сравнению со сжиганием пылеугольного топлива или сортированного топлива на подвижной колосниковой решетке. Благодаря этому ее можно рекомендовать к широкому внедрению не только в Кузбассе, но и в смежных регионах. Технически проблема передачи ВУТ по трубопроводам на расстояние 200–600 км решена еще в 1980-х годах. Разработана технология подготовки и сжигания экологически чистого ВУТ, приготовленного на основе каменных и бурых углей. Технология успешно реализована в промышленных условиях: переработано около 600 000 т ВУТ [19].

В настоящее время Администрацией г. Новокузнецка принято решение о переводе на сжигание ВУТ одной из котельных города для вынесения заключения о целесообразности внедрения данной технологии на других энергетических объектах города и региона.

Подземная газификация каменных и бурых углей

Использование этого процесса перспективно в тех случаях, когда добыча угля с использованием традиционных методов нецелесообразна или нерентабельна, а также при необходимости оперативно увеличить объемы вырабатываемой тепло- и (или) электроэнергии. В СССР на шести промышленных станциях “Подземгаз” из каменных и бурых углей, начиная с 1930-х годов, переработано более 15 млн т угля и получено более 50 млрд м³ газа. Южно-Абинская станция функционировала с мая 1955 по 1996 гг., а Ангренская работает с 1963 г. поныне.

По нашему мнению, одно из наиболее узких мест внедрения ПГУ – отсутствие четкой концепции подготовки и использования энергетического газа. Важность этой проблемы обусловлена, во-первых, тем обстоятельством, что стоимость наземного комплекса достигает 75 % от общей стоимости установки ПГУ [20], и снижение капитальных и эксплуатационных затрат позволит существенно улучшить экономические показатели процесса. Во-вторых, все виды работ по транспортировке и очистке агрессивного, высокотемпературного газа, содержащего большое количество влаги и смолы, по переработке полученных химических продуктов, а также дорогостоящая операция обеззараживания сточных вод сопряжены с повышенной экологической опасностью. В-третьих, наличие жестких требований к качеству энергетического газа для газовых турбин формирует повышенные требования к режиму работы дутьевого оборудования и оборудования для очистки газов.

Между тем очистка газов и переработка выделяемых химических веществ в работах, посвященных ПГУ, отражены условно; серьезной технологической и проектной проработки не проводилось. По мнению авторов настоящей статьи, это обстоятельство в немалой степени тормозит широкое внедрение ПГУ.

Анализ температур конденсации различных смесей углеводородов [16, 21], образующихся при пиролизе углей с разной степенью метаморфизма, показывает, что количество углеводородов, конденсирующихся при температуре до 400 °С, значительно. Охлаждение энергетического газа до 35–50 °С, ис-

пользуемое в известных технических решениях, неизбежно требует организации производства по его очистке и переработке получаемой продукции.

Предложенный в настоящей работе способ подготовки энергетического газа ПГУ [22, 23] базируется на том, что разделение энергетического газа подземной газификации углей на два разных продукта (газ и конденсирующиеся в условиях подготовки энергетического газа к процессу сжигания углеводороды – смола каменных или бурых углей) условно. При создании определенных условий конденсации углеводородов в аппаратах, механизмах и газопроводах не происходит, поэтому энергетический газ можно очищать от пыли сухим способом, исключая сложные и дорогостоящие процессы очистки и сброса значительного количества сточных вод, а также переработку взрывоопасных и высокотоксичных материалов. Такой подход позволит существенно улучшить экологические и экономические параметры процесса.

На рис. 4 приведена принципиальная технологическая схема предлагаемого нами способа подготовки энергетического газа подземной га-

зификации каменных и бурых углей [22, 23]. Подготовка включает несколько этапов: 1) охлаждение газа с 900 до 600 °С на первой ступени за счет подачи очищенной воды в скважины или использования рекуперативного бойлера, в котором охлаждаемый газ и охлаждающая вода разделены стенкой; 2) охлажденный до 600 °С энергетический газ отсасывается из газогенератора дымососами, установленными на каждой скважине.

Очистка газа от пыли сухим способом осуществляется в три ступени при температуре, превышающей температуру конденсации каменноугольной смолы (от 400 °С и выше). В качестве первых двух ступеней очистки могут быть выбраны циклонные аппараты (на второй ступени батарейного типа). На третьей ступени очистки эффективно использование электрофильтров или кассетных фильтров из металлотканых сеток. Согласно выполненным расчетам и данным завода-изготовителя, предлагаемая трехступенчатая схема сухой очистки газа ПГУ может реализоваться в диапазоне температур 500–800 °С и обеспечит требуемую для использования в газовых турбинах величину запыленности – не более 4 мг/м³.

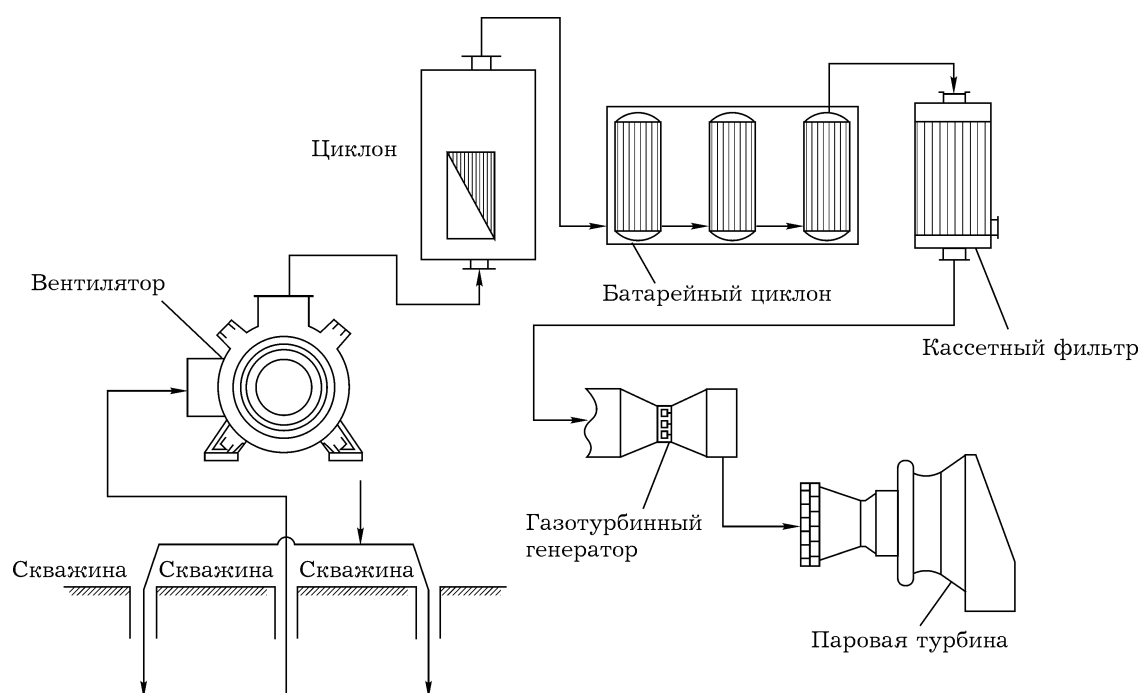


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема подготовки энергетического газа подземной газификации каменных и бурых углей.

Жесткие требования к температуре энергетического газа определяют необходимость размещать оборудование сухой очистки энергетического газа и агрегатов совмещенных газо- и паротурбинного циклов для получения тепло- и электроэнергии в непосредственной близости к скважинам подземного газогенератора. Как вариант, оборудование можно размещать на передвижных автомобильных или железнодорожных платформах в непосредственной близости к скважинам подземного газогенератора.

Предлагаемый способ подготовки энергетического газа подземной газификации каменных и бурых углей [22, 23] предусматривает очистку только топочных газов, например, в случае необходимости осуществлять вторичный дожиг оксидов азота или дополнительную каталитическую очистку. Уловленные сухим способом частицы золы, недогоревшего угля, полукочка и кокса могут быть утилизированы подачей их вместе с нагнетаемым в скважины воздухом (или смесью воздуха с водяным паром, диоксидом углерода или кислородом), без ущерба для окружающей среды. Других выбросов, подлежащих очистке, в предлагаемом способе не образуется (см. рис. 1).

Тепловой потенциал энергетического газа подземной газификации каменных и бурых углей при использовании предлагаемого способа возрастает благодаря наличию в его составе высокомолекулярных углеводородов и подаче на сжигание с температурой выше 400 °С. Количество смолы в газе ПГУ, полученном различными методами, по разным источникам, может варьировать от 3 до 10 % [16], а тепловой потенциал энергетического газа при этом возрастает на 13–43 % соответственно.

В качестве базы для сравнения использована разработанная ООО “Прокопьевский горный проектный институт” схема подготовки энергетического газа подземной газификации углей пласта Мощного марки Т шахты “Красный Углекоп” и пласта IV Внутреннего марки Г шахты “Дальние Горы” в Прокопьевско-Киселевском районе Кузбасса. Эта схема включает известные технические решения, связанные с охлаждением энергетического газа до температуры ниже точки конденсации каменноугольной смолы (до 35 °С), очистку его от пыли, смолы и аммиака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ориентировочные расчеты показывают (в ценах сентября 2009 г.), что использование предлагаемого способа подготовки энергетического газа подземной газификации каменных и бурых углей существенно снижает капитальные затраты на сооружение установки ПГУ. Технический результат при проектной мощности подземного газогенератора в 400 млн м³/год свидетельствует о том, что использование предлагаемого нами способа очистки энергетического газа подземной газификации каменных и бурых углей позволяет уменьшить капитальные затраты на строительство установки ПГУ почти в 2 раза, себестоимость получаемого энергетического газа – в 1.7 раза, дисконтированный срок окупаемости инвестиций – на 41 %, а также увеличить выработку тепловой энергии на 10.5 % и дополнительно произвести в течение одного года электроэнергии в количестве 151 296 МВт · ч.

Два последних рассмотренных в настоящей статье направления, хотя и не относятся в чистом виде к процессам глубокой переработки угля, однако достаточно тесно с ней связаны. Так, водоугольная суспензия может подвергаться процессам газификации (по аналогии с процессом Техасо), а при подземной газификации теоретически возможно (хотя и проблематично) получение синтез-газа.

В целом, разработка и внедрение предложенных направлений глубокой и энерготехнологической переработки каменных и бурых углей Кемеровской области, базирующихся на результатах многолетних исследований ВУХИНа и его Кузнецкого центра, позволят максимально использовать огромный потенциал региона, заключающийся в сочетании уникальных месторождений твердых горючих ископаемых, коксохимических производств, крупных потребителей продуктов переработки угля (доменного и конвертерного производств, ферросплавного и алюминиевого заводов) с высоким профессиональным уровнем специалистов, тиражировать технологии для реализации в других угольных бассейнах страны, сделать первые шаги по уходу от роли сырьевого придатка региона и всей страны, придать новый импульс развитию ведущих научно-исследовательских и проектных

организаций России в области глубокой переработки углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рыжков Н. И. // Свободная мысль. 2015. № 5. С. 6–13.
- 2 Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е. // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2001. № 2. С. 142–155.
- 3 Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е. // Металлы ЕВРАЗИИ. 2007. № 2. С. 46–47.
- 4 Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е. // Металлы ЕВРАЗИИ. 2006. № 3. С. 66–68.
- 5 Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е., Степанов С. Г., Исламов С. Р. // Пылеугольное топливо – альтернатива природному газу при выплавке чугуна: Тр. Междунар. науч.-техн. конф., 18–21 декабря 2006. Донецк, 2006. С. 144–151.
- 6 Кузнецов Б. Н. Катализ химических превращений угля и биомассы. Новосибирск: Наука, 1990. 302 с.
- 7 Бабанин Б. И., Патрушев А. Н. // Кокс и химия. 1988. № 7. С. 44–46.
- 8 Бабанин Б. И., Прошунин Ю. Е., Динельт В. М., Николаева В. З., Шабаршова Ю. В., Патрушев А. Н., Водопьянов А. Г., Власов В. С., Сементин В. П. // Кокс и химия. 1988. № 10. С. 9–12.
- 9 Бабанин Б. И., Шейн С. Ш., Штеренгарц А. И., Спасов И. Г., Антоновский Е. С., Невоиса Э. Г., Качаев В. К., Трезнюк В. П. // Кокс и химия. 1983. № 12. С. 10–12.
- 10 Штеренгарц А. И., Пермяков Е. А., Прошунин Ю. Е., Комаров А. Н., Трезнюк Н. П. // Кокс и химия. 1990. № 7. С. 42–44.
- 11 Прошунин Ю. Е., Штеренгарц А. И., Пермяков Е. А., Комаров А. Н., Николаева В. З., Усова Г. И., Рябов Э. Н., Водопьянов А. Г., Гайниева Г. Р. // Кокс и химия. 1992. № 2. С. 33–36.
- 12 Динельт В. М., Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е., Николаева В. З. // Кокс и химия. 1988. № 10. С. 17–18.
- 13 Прошунин Ю. Е., Усова Г. И., Николаева В. З., Яблочкин Н. В., Зоткина Н. А. // Кокс и химия. 1997. № 1. С. 12–18.
- 14 Прошунин Ю. Е., Гладштейн М. Н., Пелих М. Н., Школлер М. Б. // Кокс и химия. 1993. № 11–12. С. 4–7.
- 15 Литвин Е. М., Еремин А. Я., Гальперин Л. Ю., Крышень И. Г., Василенко Б. Я., Хворостинин В. А., Шахта И. З., Касьяненко И. В. // Кокс и химия. 1989. № 11. С. 13–15.
- 16 Школлер М. Б. Полукоксование каменных и бурых углей. Новокузнецк: Инженерная академия России, Кузбасский филиал, 2001. 235 с.
- 17 Школлер М. Б. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив. Новокузнецк: НОУ РЦПП ЕВРАЗ-Сибирь, 2013. 287 с.
- 18 Школлер М. Б., Прошунин Ю. Е. // Кокс и химия. 2008. № 1. С. 12–15.
- 19 Мурко В. И., Федяев В. И., Хмяляйнен В. А. Кемерово: КузбассВУЗиздат, 2009. 196 с.
- 20 Крейнин Е. В. Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырье. М.: ООО “ИРЦ Газпром”, 2004.
- 21 Харлампович Г. Д., Кауфман А. А. Технология коксохимического производства. М.: Металлургия, 1995. 384 с.
- 22 Прошунин Ю. Е., Потурилов А. М. // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2010. № 5 (52). С. 22–30.
- 23 Пат. 2439313 РФ, 2012.