

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГОЛЬНОГО И КАРБОНАТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ И ПРОДУКЦИИ НЕТОПЛИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

DOI: 10.18572/2686-8598-2019-3-3-5-11

УДК 622.271; 622.32

Жуков А.В., Михалков А.В.

*Дальневосточный федеральный университет, ООО НПК «Примор-Карбид», Владивосток
yul25juk@mail.ru*

Аннотация: при газификации угля и получении газообразных топлив выделяются три основные направления, связанные с производством топливного газа: 1) состав и теплотворная способность продуцируемого газа; 2) конструкции используемого газогенератора; 3) особенности получаемого заменителя - низкое содержание CO и токсичность газа, что позволяет широко использовать этот газ в бытовых целях. В промышленных процессах переработки углей чаще всего применяют следующие комбинированные технологии: — полукоксование + газификация твердого остатка (полукокса); — полукоксование + гидрогенизация жидкого продукта (смолы); — газификация + синтез из полученного синтез - газа (CO+H) высокомолекулярных углеводородов (синтез Фишера-Тропша). Выбор схемы получения СЖТ (синтетического жидкого топлива) может быть сделан исходя из конкретных условий, стоимости и качества угля, обеспеченности энергией, конъюнктуры рынка. Продукты, полученные в процессе газификации и гидрогенизации углей, гораздо меньше загрязняют атмосферу, чем уголь, сжигаемый на электростанциях. При реализации организационно-технологической модели инновационного производства на первом этапе планируются следующие комбинированные направления переработки минерального сырья и новые продукты: 1) переработка углекислотного минерального сырья: карбид кальция, углекислота (в газообразном, жидком или твердом состоянии); 2) ацетилен, регуляторы роста растений (РЕГРОСТ), препараты защиты растений (ТАКАР). Продукты топливного и нетопливного назначения на втором этапе: 1. синтетический этиловый спирт (этанол), антифриз, этиленгликоль, дихлорэтан, синтетические высыхающие масла, ацетон и др.; 2. карбамид (мочевина), аммиак, азот в газообразном и жидком состоянии, метанол, бензин и т.д.

Ключевые слова: стратегические направления, уголь, карбонаты, минеральное сырье, переработка, газификация, синтетическое жидкое топливо, продукты, топливное, нетопливное назначение.

1 ВВЕДЕНИЕ

В Дальневосточном регионе и, особенно, в Приморском крае имеются благоприятные условия для внедрения методов глубокой переработки угля, как ценного химического сырья, в моторное и жидкое топливо и продукцию нетопливного назначения. Главным положительным фактором для края является наличие значительных запасов угля, что позволяет уверенно рассчитывать на большую перспективу обеспеченности сырьем. С другой стороны, к настоящему времени накоплен значительный опыт и создан целый ряд технологий по переработке угля в жидкое топливо как у нас в стране, так и за рубежом. Технологии по производству из угля жидкого топлива являются сложными, но эффективными. Одно из направлений работ в этой

области основано на газификации угля с получением последовательно синтез-газа и жидкого топлива. Газификация и синтез из газа жидких топливных и химических продуктов эффективны для переработки высокозольных, труднообогащаемых углей.

В современный период приоритетными направлениями развития угольной промышленности Приморского края и Дальневосточного региона России в первой половине XXI века должно стать повышение конкурентоспособности угля и качества потребительских свойств угольной продукции с помощью современных технологий его добычи и обогащения, а также глубокой химической переработки. Это определяет следующую стратегию освоения месторождений и диверсификации предприятий:

- переоценка сырьевой базы – отбор и доразведка месторождений и резервных площадей с благоприятными горно-геологическими условиями отработки запасов;
- совершенствование технологий добычи и обогащения угля с применением высокопроизводительных технических средств;
- комплексную переработку углей на основе инновационных безотходных технологий: технологий с получением топливной продукции с новыми потребительскими свойствами (синтез-газа, метанола, бензина, дизтоплива и др.), выработку продукции нетопливного назначения на основе технологий углехимии (смола фенолов, высших углеводородов и др.).

Актуальность проблемы еще более возрастает в связи со стратегической значимостью для энергетики России и всего мира в целом, каменных и бурых углей, по своим геологическим запасам существенно превышающих такие основные энергоносители, как нефть и природный газ, а также ядерное топливо, потенциальные гидроресурсы. На долю угля, по данным Мирового угольного института, приходится около 90% (по другим оценкам 60-80%) энергетического потенциала всех пригодных для разработки полезных ископаемых органического происхождения. В России, по имеющимся оценкам, сопоставимые геологические запасы угля в недрах также в несколько раз превышают аналогичные запасы нефтегазового топлива. В "Стратегии развития топливно-энергетических ресурсов Дальневосточного экономического района до 2020 г." были поставлены следующие задачи: "...исследовать пути преодоления кризисной ситуации за счет освоения дальневосточных месторождений угля, нефти, газа на основе прогрессивных методов добычи и глубокой химической переработки первичного сырья, а также внедрения режима экономии..." [1-4].

2 ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач: 1) разработать физико-техническую и экономико-технологическую модели технологий и технических средств глубокой комбинированной переработки угольного и карбонатного минерального сырья; 2) применить электротермические и разработать плазменные экологически безопасные ресурсо- и энергосберегающие технологии переработки угольного и карбонатного минерального сырья с использованием нескольких модулей (подсистем) для получения конкурентоспособной продукции топливного и нетопливного назначения [5,6].

3 ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В разработанных и запатентованных технологиях предусматривается комплексная безотходная переработка угольного и карбонатного минерального сырья с использованием нескольких модулей, обеспечивающих получение на первом этапе: карбида кальция, оксида кальция, углекислоты; на втором этапе: - продуктов переработки карбида кальция: синтетического газообразного и жидкого топлива и продукции нетопливного назначения.

В новом производственном комплексе для получения карбида (CaC_2) производится предварительный обжиг известняка (CaCO_3) с получением оксида кальция (CaO) и

углекислого газа (CO_2); шихта из оксида кальция (CaO) и каменный уголь (C) используются для получения карбида кальция (CaC_2). Образующийся при обжиге известняка углекислый газ (CO_2) улавливается и с помощью оборудования для улавливания отходящих газов из них производится углекислота (H_2CO_3). В свою очередь карбид кальция перерабатывается в регуляторы роста растений (РЕГРОСТ) и препараты защиты растений (ТАКАР).

При получении ацетилена из карбида кальция образуется гашеная известь - $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которая используется в строительстве, в сельском хозяйстве при получении суперфосфата - $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, в системах водоочистки и т.д. Синтез карбамида (мочевины) - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ возможен с участием углекислого газа (CO_2) путем присоединения аммиака (NH_3) или из карбида кальция с использованием азота (N_2) также получают карбамид. При этом для получения азота (N_2) используют разделение воздушной смеси - ректификацию жидкого воздуха или окислением аммиака: $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$. Карбамид (мочевина) используется для повышения эффективности регуляторов роста растений (РЕГРОСТА).

В качестве основные продуктов переработки угольного и карбонатного минерального сырья получают оксид кальция, карбид кальция, ацетилен, метанол, карбамид, удобрения РЕГРОСТ и ТАКАР; а также дополнительные продукты: углекислоту, питьевую или кальцинированную воду, гашеную известь.

В традиционных установках для производства карбида кальция окись углерода выбрасывалась в атмосферу, что загрязняло окружающую среду и предъявляло повышенные экологические требования по размещению такого оборудования. В статье рассмотрена запатентованная установка для утилизации окиси углерода и получения дополнительно углекислоты. По желанию заказчика она может быть получена в жидком, газообразном или

твердом состоянии. Углекислота широко используется в производстве минеральных вод, сладких газированных напитков, пива, при ведении сварочных работ, для пожаротушения и изготовления «сухого льда» [7,8].

Для получения регуляторов роста и препаратов защиты растений на основе карбида кальция (РРПЗР) нами предлагаются новые средства надежного повышения урожая, прошедшие лабораторные испытания, проведенные в Институте НИИ ХИММАШ (г. С-Петербург): для стимуляции роста растений «РЕГРОСТ», для защиты растений - «ТАКАР».

РЕГРОСТ - изготовлен из веществ, образующих в почве и растениях с помощью микроорганизмов природный гормон роста и развития растений - ЭТИЛЕН. Для повышения содержания этилена в почве выпускаются препараты марки А и Б, в плодах - марку Д. Препараты выпускаются в виде таблеток и порошков.

РЕГРОСТ - отличается от известных регуляторов роста: гидрена, кампозена нетоксичностью, применением на всех фазах развития растений от обработки семян до созревания плодов, эффективностью на овощных, бахчевых и зерновых культурах, а также ягодных кустарниках (крыжовник, смородина, малина и др.). При обработке семян и растений регростом уменьшается поражаемость растений болезнями (бактериозом, бурой ржавчиной, полиспорозом, фузариозом) в 3-5 раз.

ТАКАР - новое эффективное средство защиты растений от вредителей садово-ягодных, огородных и цветочных культур, а также удобрение для нейтрализации кислых почв. Содержит азот, фосфор, калий в количествах, превосходящих их содержание в органических удобрениях (навозе, птичьим помете). ТАКАР, как средство защиты растений используется для уничтожения тли, белокрылки, долгоносика и др. вредителей на огурцах, капусте, томатах, плодовых деревьях и кустарниках. Эффективность действия - 90-100%. Урожайность овощных культур повышается на 20-50%, картофе-

ля – 30%.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты технологических исследований и экономико-математического моделирования процессов позволяют более детально рассматривать конфигурацию и параметры систем реструктуризации и диверсификации угледобывающих энергетических промышленных предприятий, согласовать и определить режимы работы подсистем управления и организации производства, прогнозировать технологические и экономические показатели вновь создаваемых и диверсифицируемых производственных комплексов.

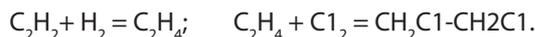
На Рисунке 1 представлен пример физико-технологической модели установки для переработки угольного и карбонатного минерального сырья [8].

Устройство работает следующим образом.

Известняк вводят в печь 1 и производят его обжиг. В процессе обжига известняк разлагается на известь и углекислый газ (CO_2). Известь (CaO) удаляется продуктопроводом 14 к дозатору 6, обеспечивающему отбор из общего объема части извести, предназначенной для передачи потребителю и части предназначенной для дальнейшей переработки. Часть извести, предназначенная для дальнейшей переработки, подается во вторую печь 2, где в присутствии углерода (в виде кокса или каменного угля, крупностью 20-25 мм и содержанием серы менее 1%) перерабатывается в карбид кальция. Карбид кальция (CaC_2) удаляется продуктопроводом 14 к дозатору 7, обеспечивающему отбор из общего объема продукции части карбида кальция, предназначенной для передачи потребителю и части предназначенной для дальнейшей переработки. Часть карбида кальция, предназначенная для дальнейшей переработки, подается в газогенератор 4, где вводится в контакт с водой и перерабатывается в ацетилен.

При этом синтез этанола осуществляют по известной схеме с получением на промежуточной стадии этилена – C_2H_4 : $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 = \text{C}_2\text{H}_4$; $\text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

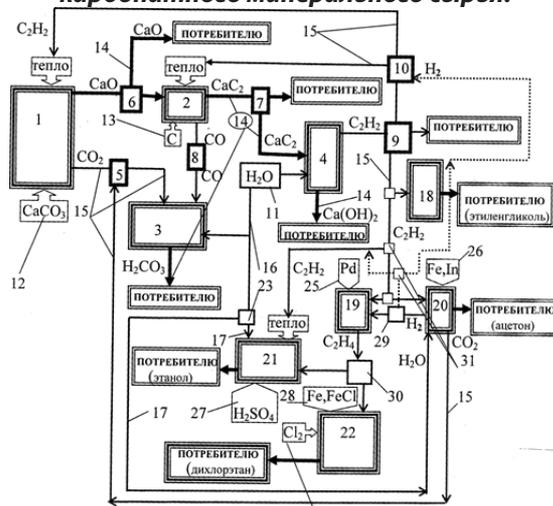
Причем, если реакцию проводить при давлении до 23 атм и температуре до 75-80°C выход этанола составит до 90%, а при давлении до 80 атм и температуре до 280-300°C выход этанола доходит до 95%. При этом, синтез дихлорэтана осуществляют по схеме:



Этиленгликоль получают гидролизом ацетилена. Синтез ацетона осуществляется по известной схеме, при температуре около 460°C. Ацетон передают потребителю, а газообразные $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (пар) = $\text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2$



Рис. 1. Технологическая модель установки для переработки угольного и карбонатного минерального сырья.



продукты - отходы процесса утилизируются на месте (CO_2 используют в производстве углекислоты а водород - в процессе синтеза этанола и/или дихлорэтана).

Таким образом, в качестве основных продуктов переработки угольного и карбонатного минерального сырья получают оксид кальция, карбид кальция, ацетилен, этанол, дихлорэтан, ацетон, этиленгликоль. В качестве дополнительных продуктов, получают, углекислоту, гашеную известь, РЕПРОСТ и ТАКАР. При этом, при наличии потребителей и соответствующих дополнительных компонентов, основные продукты переработки угольного и карбонатного минерального сырья могут использоваться для последующей переработки по известным схемам, с получением, например, суперфосфата, карбамида, аммиака и т.п.[9].

5 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК

1. Энергетические предприятия – ТЭЦ, ГРЭС, работающие на каменном угле, в первую очередь, Партизанская ГРЭС в Приморском крае.

Анализ возможности организации мобильного производства карбида кальция показывает, что этим целям, в первую очередь, удовлетворяют энергетические предприятия – ГРЭС и ТЭЦ, работающие на каменном угле.

Организация производства карбида кальция на электростанциях целесообразна еще и потому, что высокотемпературные газовые выбросы могут сбрасываться в топку котлов, где используется их тепловая энергия, а также газы проходят очистку в газовом тракте котла. За счет этого обеспечивается безотходная технология производства карбида кальция. Плазменные реакторы в связи с малой инерционностью могут эксплуатироваться в ночном режиме как потребители - регуляторы электрической нагрузки.

2. Диверсификация угледобывающих и энергетических предприятий с целью повышения эффективности и конкурентоспособности.

3. Строительство в ДВФО горно-химических предприятий (КОНЦЕРНА) по промышленной переработке угольного и карбонатного минерального сырья для получения конкурентоспособной продукции топливного и нетопливного назначения (I очередь — Приморский край).

В химической промышленности более 90% получаемого ацетилена подвергается дальнейшей переработке, например, по таким направлениям:

1) - ацетилен (C_2H_2) - этилен - синтетический этанол (получается путем гидратации

этилена) - дихлорэтан (растворитель) - этиленгликоль (антифриз), ацетон;
2) - ацетилен - уксусный альдегид - синтетический этанол - уксусная кислота - уксусный ангидрит - уксусно-этиловый эфир;
3) - ацетилен - винил-ацетилен - дивинил - ацетилен - синтетические высыхающие масла.

Эти направления планируются к разработке во второй очереди строительства горно-химического предприятия.

6 ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Срок реализации проекта разделяется на два этапа:

- 1) строительство предприятия с двумя подсистемами для производства карбида кальция и уголекислоты – 1,5 года; затем идет эксплуатационный период.
- 2) строительство ацетиленовых станций производительностью 40 м³/час для переработки карбида кальция – 0,5 года;
- 3) в этот же период строятся линии для переработки карбида кальция в регуляторы роста растений (РЕГРОСТ) и препараты защиты растений (ТАКАР). Через два года после начала строительства все проектируемые объекты начинают выпускать продукцию.

Комплексное мочевино-карбидное универсальное удобрение РЕГРОСТ – высокоэффективное экологически чистое средство для регулирования роста растений:

- увеличение урожайности (60-80%);
- более дружное и раннее созревание растений (7-14 дней);
- снижение заболеваемости растений и лучшее хранение клубней;
- возможность изменения цветовой гаммы и появления второго полноценного цветоноса на декоративных растениях (крокус, тюльпан, календула и др.);
- увеличение коэффициента гумификации;
- снижение кислотности почвы;
- повышение в плодах содержания витамина С;
- увеличение коэффициента использования азотных удобрений и др.

7 Основные показатели по реализации проекта

NPV (млн. руб.) – чистый приведенный доход	448
IRR (%) – внутренняя норма доходности	39,8%
PI – индекс рентабельности инвестиций	1,5
PDP – срок окупаемости проекта (дисконтированный), лет	4,35

Показатели эффективности проекта на 10 лет

NPV (млн. руб.)	4002
IRR (%)	146,8
PI	9,01

Показатели эффективности проекта на срок окупаемости

Таким образом, расчетные параметры инновационного высокотехнологичного производства на основе добычи и переработки местного минерального сырья показывают высокий экономический потенциал данного проекта[10].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Стратегия развития топливно-энергетического потенциала Дальневосточного экономического района до 2020 года : монография / А.П. Сорокин, Г.П. Авдейко, Ю.А. Агафонов [и др.] ;

- ответственный редактор А.П. Сорокин. Владивосток : Дальнаука, 2001. 112 с.
2. Обжиров А.И. Метод поиска потоков метана и газовых гидратов в Охотском море / А.И. Обжиров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 53. С. 30-35.
3. Агошков А.И. Перспективы экспорта российского угля и экологические проблемы строительства и эксплуатации угольных терминалов Дальнего Востока / А.И. Агошков, А.Ю. Блиновская, К.С. Голохваст, Д.В. Куксин // Горный журнал. 2015. № 3. С. 56-61.
4. Умаров М.С. Состояние угольной промышленности России и ее перспективы развития / М.С. Умаров // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 30-31 октября 2014 г.). Санкт-Петербург : КультИнформПресс, 2014. С. 167-169.
5. Михалков А.В. Перспективы организации и диверсификации производства на основе инновационных технологий комплексной химической переработки углекислотного минерального сырья в Приморском крае / А.В. Михалков // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 10-3 (17). С. 59-60.
6. Агошков А.И. Развитие угольной промышленности мира и факторы, влияющие на ее эффективность / А.И. Агошков, К.М. Касенов, Е.Б. Утепов // Приморское Зори – 2017 : материалы Международных научных чтений (г. Владивосток, 20-22 апреля 2017 г.) : сборник научных статей / ответственный редактор В.П. Лушпей. Владивосток : ДВФУ, 2017. С. 176-179.
7. Умаров М.С. Переработка угля как рациональное природопользование в области углеводородных энергоресурсов / М.С. Умаров // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 13-14 февраля 2015 г.). Санкт-Петербург : КультИнформПресс, 2015. С. 182-184.
8. Жуков А.В. Способ переработки углекислотного минерального сырья / Жуков А.В., Звонарев М.И., Жукова Ю.А. // Патент на изобретение RU 2373178 С2, 20.11.2009. Заявка № 2008100934/04 от 09.01.2008.
9. Андреев А.В. Перспективные технологии освоения сланцевой нефти / А.В. Андреев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 53. С. 46-50.
10. Рубан В.Г. Экономическая часть бизнес-плана пилотного проекта ООО НПК «Примор-Карбид» по производству карбида кальция, углекислоты, ацетилену, РЕПРОСТА и ТАКАРА в Приморском крае / В.Г. Рубан. Владивосток, 2019. С. 28-29.

STRATEGIC APPROACHES OF COMBINED ELECTROTHERMAL PROCESSING OF COAL AND CARBONATE MINERAL RAW MATERIALS FOR OBTAINING OF HIGHLY EFFICIENT SYNTHETIC ENERGY CARRIERS AND NON-FUEL PRODUCTS

Zhukov A.V., Mikhalkov A.V.

Far-Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok
yul25juk@mail.ru

Abstract: coal gasification and the production of gaseous fuels include three principal directions related to the production of fuel gas: 1) composition and heat capacity of the produced gas; 2) gas generator structures; 3) characteristic properties of the obtained alternative product - low CO content and gas toxicity, which allow making full use of this gas for domestic purposes. In industrial processes of coal conversion, the following combined technologies are used most often: — semi-coking + gasification of fixed ash (low-temperature coke); — semi-coking + hydrogenation of liquid product (tar); — gasification + synthesis of high molecular weight hydrocarbons from the produced SYN gas (CO+H) (Fischer-Tropsch synthesis). The choice of the layout for obtaining SLF (synthetic liquid fuel) can be based on specific conditions, the cost and quality of coal, energy supply, market conditions. The products obtained in the process of gasification and hydrogenation of coals pollute the atmosphere much less than the coal burned in electrical power plants. When implementing the organizational and technological model of innovative production, the first stage includes the following combined approaches for the processing of mineral raw materials and new products: 1. processing of carbonic mineral raw materials: calcium carbide, carbon dioxide (in a gaseous, liquid or solid state); 2. acetylene, plant growth regulators (PGRs), plant protection products (TAKAR). The second stage includes fuel and non-fuel products: 1. synthetic ethyl alcohol (ethanol), anti-freeze, ethylene glycol, dichloroethane, synthetic drying oils, acetone, etc.; 2. carbamide (urea), ammonia, nitrogen in gaseous and liquid states, methanol, gasoline, etc.

Key words: strategic approaches, coal, carbonates, mineral raw materials, refining, gasification, synthetic liquid fuel, products, fuel and non-fuel products.