

На правах рукописи



Котельников Валерий Ильич

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАЛОГАБАРИТНОГО  
УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО ПИРОЛИЗА ТВЕРДОГО  
ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА В ТЕРМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОМ  
СЛОЕ

Специальность: 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Барнаул 2010

Работа выполнена в Тувинском институте комплексного освоения природных ресурсов СО РАН

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
Федянин Виктор Яковлевич  
Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Пузырев Евгений Михайлович  
- кандидат технических наук,  
профессор Фурсов Иван Дмитриевич

Ведущая организация: Учреждение Российской Академии Наук  
Специализированное конструкторско-технологическое бюро «Наука»  
КНЦ СО РАН г. Красноярск

Защита состоится «29» апреля 2010 г. в 10 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.004.03 при Алтайском  
государственном техническом университете им. И.И. Ползунова  
по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 (тел/факс (3852) 260-516;  
E-mail: D21200403@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского  
государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью Вашего учреждения,  
просим направлять в двух экземплярах по указанному адресу на имя  
ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «\_\_» марта 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
А.Е. Свистула



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** По данным Министерства энергетики России более 60% территории страны лишены централизованного электроснабжения. На этих территориях проживает около 10% населения страны. В Республике Тыва на 90% территории республики используются децентрализованные источники энергоснабжения. На этих удаленных территориях проживает более 70% населения Республики. Снабжение энергией таких населенных пунктов осуществляется за счет привозного жидкого топлива и каменного угля. В новых экономических условиях в связи со значительным увеличением стоимости жидкого топлива становится актуальной задача перевода удаленных потребителей на более дешевое местное топливо. Нуждаются в модернизации и системы теплоснабжения, основанные на прямом сжигании каменного угля без предварительной подготовки.

Снижение ущерба окружающей среде от угольной энергетики может быть достигнуто путем перехода к использованию экологически более безопасных видов топлива угольного происхождения. К ним относятся облагороженный или "чистый уголь", синтетические газообразные и жидкие топлива, полученные путем химической переработки угля. Выбросы вредных веществ при использовании этих синтетических топлив значительно ниже, чем в случае прямого сжигания рядового угля. Технология пиролиза каменного угля, торфа, возобновляемой биомассы может рассматриваться как один из наиболее рациональных путей получения топлива для использования в топках и тепловых двигателях.

**Цель работы** заключается в создании научных основ практического использования в малой энергетике установок пиролиза твердого органического топлива.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- проведение анализа современных процессов энергетической переработки углей;
- исследование процессов, протекающих при нагревании ископаемых углей, и выявление параметров, определяющих эффективность процессов получения целевых продуктов;
- разработка и испытание малогабаритного устройства непрерывного пиролиза каменного угля;
- определение путей экономически оправданного использования твердых и газообразных продуктов пиролиза.

**Объект исследований.** Процессы пиролиза ископаемых углей месторождений, расположенных на территории Республики Тыва.

**Методы исследований.** Проведенные исследования базировались на сочетании расчетных методов, основанных на фундаментальных термодинамических, физико-химических и технических процессах в многокомпонентных смесях веществ, с экспериментальными методами исследования процессов переноса массы и энергии в термически нагруженном слое с учетом фазовых превращений и анализом экспериментальных данных, полученных при стендовых и опытно-промышленных испытаниях разработанного устройства.

**Научная новизна работы.** При непосредственном участии автора:

- получены опытные данные, содержащие уточненные характеристики процессов переноса массы и энергии в термически нагруженных многокомпонентных угольных слоях (температуры начала и завершения процесса пластификации и газовыделения, коэффициенты тепло- и теплопроводности);

- разработана новая схема непрерывного пиролиза твердого органического топлива, проведен расчетный анализ тепловых и механических характеристик установки для непрерывного пиролиза каменного угля;

- на основе анализа результатов экспериментальных исследований и результатов стендовых и натурных испытаний определены области изменения технологических параметров, обеспечивающих устойчивое протекание процессов пиролиза, выявлены параметры процессов, определяющие свойства целевых продуктов энергохимической переработки каменного угля;

- на основании экспериментального изучения продуктов пиролиза установлено, что предложенная технология энергохимической переработки углей позволяет получать новый углеродный материал, обладающий физико-химическими характеристиками, дающими ему конкурентные преимущества по сравнению с традиционным топливом.

**Практическая значимость:**

- разработанные методики расчетов параметров установок непрерывного пиролиза предназначены для использования в проектных и конструкторских организациях для проектирования аппаратов и установок энергохимической переработки твердого органического топлива;

- полученные результаты опытно-промышленных испытаний обобщены в виде технологических регламентов и проектов бизнес-планов;

- опытно-промышленный образец установки непрерывного пиролиза каменного угля передан для использования на предприятие «Саян-сервис», где смонтирована линия по производству полукоксов как «чистого» топлива для котлов-полуавтоматов индивидуальных жилых домов и коттеджей. Возможность использования получаемых полукоксов как бездымного топлива исследована в натуральных экспериментах в котлах G211-32 Logano.

**Реализация результатов работы.** Материалы, полученные при реализации поставленных задач, использовались:

- при выполнении Междисциплинарного интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН с участием НАН Украины и УрО РАН «Анализ проблем и разработка технологий комплексного конкурентоспособного энерготехнологического использования угля»;

- при разработке программы развития угольной отрасли Республики Тыва до 2010 года;

- при разработке программы энергетической безопасности Республики Тыва;

- при разработке программы развития энергетики Республики Тыва до 2020 года.

#### **Апробация работы.**

Работа была представлена на выездной сессии научного совета РАН по научным основам химической технологии, посвященной проблемам переработки минерального, природного органического, техногенного и вторичного сырья, международном Сибирском Энергетическом Конгрессе и 3-х научных конференциях: научно-практической конференции с международным участием «Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: "Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики"», Всероссийской научно-технической конференции «Новые технологии добычи и переработки природного сырья в условиях экологических ограничений», Международной научно-технической конференции «Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса в XXI в.», неоднократно обсуждалась на совещаниях в Минэнерго Республике Тыва, посвященных проблемам развития топливно-энергетического комплекса республики, Минэкономики республики.

Комплексная разработка «Способ и устройство получения наноразмерного углерода (кокса)» получила премию Председателя Правительства Республики Тыва в области науки и техники за 2007 год, премию Правительства Республики Тыва за лучший инновационный проект 2006 г.

Публикации. Результаты, положенные в основу диссертации, опубликованы в 8 печатных работах, в т.ч. 3 в изданиях, рекомендованных ВАК, подана заявка на патент РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 121 источников, в том числе 12 на иностранных языках, 8 приложений. Работа изложена на 127 страницах текста, содержит 21 иллюстрацию и 19 таблиц.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- технологическая схема процесса непрерывного пиролиза твердого органического топлива, а также результаты расчетных исследований, учитывающие эксплуатационные характеристики установки и физико-механические свойства перерабатываемого сырья;

- обобщенные результаты экспериментальных исследований и испытаний разработанного устройства непрерывного пиролиза твердого органического топлива;

- направления использования полученного нового углеродного материала, обладающего уникальными физико-химическими характеристиками.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Введение** посвящено обоснованию актуальности исследований. Возможности использования местных ископаемых углей для получения топлива для топочных устройств и тепловых двигателей.

**Первая глава.** *Анализ современных процессов энергетической переработки углей*

Комплексная энергохимическая переработка каменных углей представляется более высокой технической степенью производства и согласуется с принципами экологически щадящей, социально-приемлемой и застрахованной от кризисов энергетической политики, которая предполагает оптимальное использование энергоресурсов. Основными недостатками известных технологий энергохимической переработки углей являются относительно низкая производительность и жесткие условия их осуществления (высокие температуры и давление). Для устранения указанных недостатков в углепереработке все шире применяются катализаторы и новые технологические процессы, позволяющие получать из угля разнообразные продукты

топливного и химического назначения. К основным из них относятся процессы пиролиза, газификации и гидрогенизации угля.

Термическая переработка твердых топлив применяется для получения облагороженных углеродистых твердых материалов, а также для жидких и газообразных продуктов. В зависимости от назначения продуктов исходным сырьём может быть практически любая биомасса. Как правило, удельные капитальные затраты на термическую переработку значительно ниже, чем в любых других процессах переработки угля.

Органическая масса твёрдых горючих ископаемых представляет собой термодинамически нестабильные образования, которые претерпевают глубокие превращения при нагревании. Характер термодинамических превращений углей определяется следующими особенностями их структуры: наличием значительного числа блоков из 2 – 10 ароматических и гетероароматических колец, электроны которых находятся в состоянии сопряжения с аналогичными системами; большим числом алифатических мостиков и насыщенных циклов, включающих сульфидные, карбонильные, аминные группы, простые и сложные эфирные связи; наличием боковых цепей алифатического характера, а также многочисленных полярных групп (карбокисильные, гидроксильные, тиоксильные, аминогруппы), кислорода, азота, серы, гидратно- и колоидно-связанной воды.

Термические превращения угля начинаются при температурах около 200<sup>0</sup>С. Однако уже при нагревании до 120<sup>0</sup>С выделяются физически связанная влага, адсорбируемые углем газы (диоксид углерода, метан, компоненты воздуха). При этом не наблюдается заметного разложения органической массы угля, хотя не исключены определённые изменения её внутренней структуры.

При температурах более 200<sup>0</sup>С начинается выделение некоторого количества воды, образующейся при термическом разложении ОМУ, а также диоксида углерода. Это является результатом достаточно сложных химических превращений, затрагивающих в основном внешние полярные группы.

В диапазоне 250-325<sup>0</sup>С процессы разложения угольного вещества усиливаются. Идёт интенсивное выделение паров воды, диоксида углерода, выделяется некоторое количество сероводорода и органических соединений серы. На этой стадии заметно уменьшается содержание кислорода в угле, особенно в угле ранней стадии метаморфизма. Однако и в этом температурном интервале идёт расщепление химических связей лишь на концевых участках

макромолекул угля. Глубоких изменений внутренней структуры органической массы угля ещё не происходит.

При температурах выше  $350^{\circ}\text{C}$  начинается разложение основной органической массы угля. Макромолекулы угля расщепляются с образованием коротко живущих свободных радикалов, претерпевающих рекомбинацию и переходящих при этом в стабильные системы. При этом процессы рекомбинации развиваются в двух конкурирующих направлениях: образование высококонденсированных твёрдых продуктов, различающихся повышенным содержанием углерода и низким – водорода, и образование жидких и газообразных (летучих) продуктов, обогащённых водородом. Между этими группами продуктов и происходит перераспределение водорода в ходе термического разложения.

Глубокое разложение органической массы угля, выделение жидких в обычных условиях веществ (смолы) завершается при температуре около  $550^{\circ}\text{C}$ . При  $550^{\circ}\text{C}$  остаётся твёрдый остаток – полукокс, поэтому процесс термической переработки, заканчивается при температуре  $500\text{-}550^{\circ}\text{C}$ , обычно называют полукоксованием. При последующем нагревании протекают процессы дальнейшего уплотнения вещества полукокса, формирования и развития микрокристаллитных графитоподобных структур. Эти процессы сопровождаются отщеплением газообразных продуктов, в первую очередь водорода, а также некоторых количеств аммиака, метана, оксида углерода, азота. Примерно к  $900^{\circ}\text{C}$  завершается образование достаточно высоконауглероженного твердого остатка – кокса. Нагревание до более высоких температур – вплоть до  $2500\text{-}3000^{\circ}\text{C}$  – ведёт к освобождению кокса от гетероатомов, росту упорядоченности его структуры, укреплению (особенно при температурах выше  $1800^{\circ}\text{C}$ ) микрокристаллитов графита.

Перспективы использования Тувинских углей достаточно глубоко были изучены разными авторами (Русьянова Н.Д., Максимова Н.Е., Полякова И.А., Фаткулин И.Я., Стуков М.И., Ольшанецкий Л.Г., Киселев Б.П., Шибанов В.И., Кузнецов Б.Н., Соднам Н.И., Коновалов Н.М., Щипко М.Л., Куликова М.П. и др.). Пиролиз тувинских углей марки Г, ГЖ характеризуется высоким выходом газообразных продуктов. В решении проблем повышения эффективности использования каменноугольного сырья основную роль играет выход газообразных продуктов при температурах до  $800^{\circ}\text{C}$ . Отмечается достаточно большой выход газов полукоксования (около 48% от массы исходного угля) при их высокой теплотворной способности ( $7000$



кКал/кг). Очевидно, при промышленном полукоксовании, которое проводится, как правило, в автотермическом режиме, для получения топливного газа с высокой теплотворной способностью необходимо использовать парокислородное дутье, что неизбежно приведет к разбавлению газов полукоксования балластом – азотом.

В результате проведенного анализа известных технологий энергохимической переработки углей была выбрана перспективная технология непрерывного пиролиза угля с целью получения полукокса и генераторного газа. При выборе этого направления переработки угля можно быть решена основная задача – удовлетворить потребность населения в бытовом твердом топливе и создать благоприятные перспективы для развития ряда процессов синтеза на базе газа, полученного из углей, в том числе получение жидких синтетических топлив.

**Вторая глава.** *Экспериментальные исследования процессов энергохимической переработки местных углей*

Исследования процесса пиролиза методом термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии проводились на созданном лабораторном комплексе, состоящем из приборов Netzsch STA 409, Bruker Tensor и необходимого аппаратного сопровождения. Лабораторно - измерительный комплекс позволяет выполнять ТГ(термогравиметрические), ДТА/ДСК (дифференциальный термический анализ/ дифференциально – сканирующая калориметрия) измерения.

Обработка результатов проводилась с помощью оригинальном программном обеспечении фирмы Netzsch. Для обработки данных ДТА применяется программа Proteus analysis, которая позволяет исследовать гравиметрические и калориметрические данные.

Точность измерений на приборе STA 409 PC зависит от различных параметров. Одной из важных характеристик является так называемый дрейф прибора, т.е. дрейф базовой линии. Перед проведением измерений прибор калибровался по температуре плавления индия и температуре разложения  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ .

Проведены исследования углей Улуг-Хемского угольного разреза и Чаданского месторождения. В результате исследований были определены теплофизические характеристики процесса пиролиза, которые были использованы для разработки технологического процесса и его реализации в конкретном устройстве.

На Рис.1 представлен процесс нагревания каменного угля до  $1200^\circ\text{C}$  в динамических условиях. Из рисунков видно, что процесс пиролитической деструкции начинается в области  $400^\circ\text{C}$  и

продолжается до 700-800°C. В соответствии с полученными данными была разработана экспериментальная установка непрерывного пиролиза каменных углей.

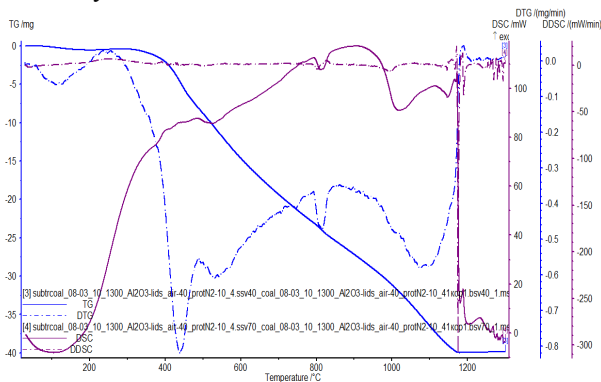


Рис.1. Динамика изменения теплотехнических параметров

Теплоемкость угля при повышении температуры возрастает нелинейно. В диапазоне 400 - 500 °С теплоемкость практически не изменяется.

Пиролиз каменного угля является симбиозом нескольких процессов. Идентификация процессов, происходящих при пиролизе каменного угля, осуществлялась с помощью компьютерной программы.

В целом, для каменных углей Улуг-Хемского бассейна характерны: низкая зольность и малосернистость, высокие показатели спекаемости и содержания летучих компонентов, относительная чистота по тяжелым металлам и токсичным элементам. Изучение спекаемости и коксующести углей показало, что по ряду свойств и поведению в процессе пиролиза они отличаются от жирных углей других бассейнов. Для них характерна низкая температура перехода в пластическое состояние (выше 290°C), широкий температурный интервал пластичности, высокий показатель спекаемости. Это определяет хорошую сочетаемость Улуг-Хемского угля как спекающей основы в смесях с разными типами отошающих углей. Улуг-Хемский бассейн может рассматриваться как потенциальный источник хорошо спекающихся углей и возможность улучшения сырьевой базы коксования.

**Третья глава. Разработка технологии и испытание устройства непрерывного пиролиза каменного угля**

Технологически установка должна обеспечивать проведение процесса коксования в различных управляемых условиях, что подразумевает возможность регулирования температуры, скорости подачи сырья, давления, устройство должно обеспечивать возможность подачи необходимых реагентов как в реактор, так и при подготовке угля.

Был произведен расчет опытной установки и ее компьютерное моделирование в среде графической вычислительной системы "Компас 3D".

Реактор установки, узел подготовки угля и узел разгрузки были объединены в один агрегат с целью упрощения конструкции и снижения материалоемкости. Геометрические размеры реактора задавались условиями: радиус реактора определялся максимальной величиной пластического слоя (для углей Каа-Хемского месторождения ~ 30 мм); длина реактора должна обеспечивать полное завершение процесса коксования при заданной производительности установки.

Схема установки представлена на рис. 2.

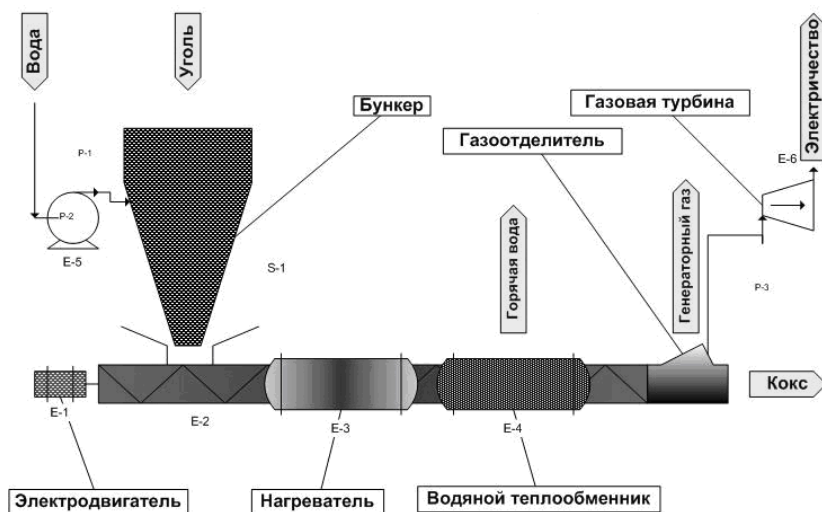


Рис.2. Схема опытной установки пиролиза каменного угля

Установка состоит из узла подготовки каменного угля, из которого уголь подается в бункер. Далее каменный уголь посредством шнекового питателя подается в узел прогрева, где поддерживается температура, достаточная для ожигения угля. Здесь же происходит его низкотемпературный пиролиз. После разогрева полужидкая масса угля подается в формовочный узел, где формируется коксовый кусок и закрепляется его форма. Газообразные продукты термолиза угля используются для его прогрева, за счет чего снижается себестоимость кокса и исключаются вредные выбросы в атмосферу. После формования коксовый кусок поступает в охладитель, где охлаждается водой и подается в упаковочный узел, а затем на склад. Установка разработана в модульном исполнении с целью снижения первичных затрат и обеспечения технологической гибкости.

*Основные расчетные соотношения.* Пространственно-временное распределение температурного поля может быть рассчитано по уравнению:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} A(\mu_n) U(\mu_n \xi) \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (1)$$

где  $\Theta = (T_n - T)/(T_n - T_0)$  – безразмерная температура определяется безразмерной координатой  $\xi = r/R$ , числом Био  $Bi = \alpha R / \lambda$  и числом Фурье  $Fo = a \tau / R^2$ . Здесь  $R$  – наружный радиус винтового конвейера;  $\lambda$ ,  $a$  – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности нагреваемого вещества;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности нагревателя.  $\mu_n$  – корни характеристического уравнения  $\mu \frac{J_1(\mu)}{J_0(\mu)} = Bi$ ; ( $J_0(\mu)$ ,  $J_1(\mu)$  – функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка);

$$A(\mu_n) = \frac{2J_1(\mu_n)}{\mu_n [J_0^2(\mu_n) + J_1^2(\mu_n)]}, \quad U(\mu_n, \xi) = J_0\left(\mu_n \frac{r}{R}\right).$$

При  $Fo > 0,3$  ряд (1) настолько быстро сходится, что для практических расчетов достаточно ограничиться первым членом (погрешность не превышает 1%). В этом случае изменение во времени температуры  $\theta_0$  на оси цилиндра  $r=0$  описывается следующей формулой:

$$\Theta_0 = N(Bi) \exp(-\mu_1^2 Fo), \quad (2)$$

а температура на поверхности:

$$\Theta_n = P(Bi) \exp(-\mu_1^2 Fo). \quad (3)$$

Значения  $N(Bi)$ ,  $P(Bi)$ ,  $\mu_1^2$  затабулированы. При  $Bi > 100$  температура поверхности в течение всего времени нагрева равна температуре нагревателя и  $N = 1,606$ ,  $P = 0$ ,  $\mu_1^2 = 5,787$ .

Количество теплоты, поглощаемой за время  $\tau$  в расчете на единицу длины цилиндра:

$$Q_l = \pi R^2 \rho c (T_n - T_0)(1 - \bar{\Theta}), \quad (4)$$

где  $\rho$  – насыпная плотность нагреваемого материала,  $c$  – удельная теплоемкость.

$$\bar{\Theta} = M(Bi) \exp(-\mu_1^2 Fo). \quad (5)$$

Значение  $M(Bi) = 0,696$  при  $Bi > 100$ .

Для конвейера, расположенного параллельно поверхности Земли производительность определяется следующим выражением:

$$P = 60 \pi R^2 s n \rho \psi, \quad (6)$$

где  $R$  – наружный радиус винта, м;  $s$  – шаг винта, м; число оборотов винта, об/мин;  $\psi$  – коэффициент заполнения желоба материалом.

При подаче тяжелых, а также абразивных материалов рекомендуется  $s = (1,0 \div 1,2)R$ .

Коэффициент заполнения выбирается в зависимости от вида перемещаемых материалов. Для высокоабразивного, кускового или вязкого материала  $\psi = 0,125$ .

Необходимую скорость вращения винта можно определить по формуле:

$$n = K / \sqrt{D}, \quad (7)$$

где  $K = 30$  для тяжелого абразивного материала;  $D$  – диаметр винта, м.

Скорость движения материала рассчитывается по следующей формуле:

$$v = \frac{n s}{60}. \quad (8)$$

Мощность на валу винтового конвейера, Вт:

$$N = K_1 P l. \quad (9)$$

Для сильно абразивного и липкого материала  $K_1 = 3,0 \div 3,2$ .

Мощность электродвигателя:

$$N_d = N/\eta, \quad (10)$$

где  $\eta$  – КПД привода ( $\eta=0,75\div 0,85$ ).

Основные технические характеристики опытного образца устройства для пиролиза каменного угля представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры установки

Показатели	Значения
Производительность по коксу, кг/сут	3000
Производительность по газу, м <sup>3</sup> /сут	1650
Интервал рабочих температур, °С	400 - 800
Габаритные размеры, мм	1000x1500x1200
Потребляемая мощность, кВт	18
Показатель энергетической эффективности	0,92

Показатель энергетической эффективности установки определялся по следующей формуле: (теплота сгорания полученного газа + теплота сгорания кокса)/(теплота сгорания угля + затраченная электроэнергия).

**Четвертая глава.** *Свойства твердых и газообразных продуктов пиролиза и основные направления использования.*

В процессе испытаний и опытной эксплуатации установки были получены новые углеродные материалы: мезопористый полукок, графитизированный адсорбент с низким электрическим сопротивлением, газ с высоким содержанием пентана, гексана и их производных.

Внешний вид коксовых кусков представлен на рис.3, основные характеристики твердого продукта пиролиза – таблица 2.



Рис. 3. Твердые продукты пиролиза

Таблица 2.

Характеристики твердого продукта пиролиза

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Размеры кусков:	Длина – 0.5-10 см Диаметр – 0.5-6 см
2	Зольность, %, не более	20
4	Механическая прочность, %, М 40, не менее	73
5	Выход летучих веществ при нагревании до 850С без доступа воздуха, %, не более	1,2
6	Массовая доля углерода, %, не менее	95,5
7	Массовая доля водорода, %, не более	0,8
8	Массовая доля кислорода, %, не более	0,7
9	Массовая доля азота, %, не более	1,1
10	Теплотворная способность, МДж/кг	29-31

Получаемый кокс обладает высокопористой структурой. Полученный материал имеет следующие химико-технические и сорбционные параметры:  $C^{daf}$  92,47 %;  $H^{daf}$  1,85 %;  $N^{daf}$  1,46 %;  $A^a$  8,83 %; активность по йоду ~30%; емкость по фенолу 96-118 мг/г; по метиленовому голубому 1,5 мг/г.

В результате пиролиза угля происходит интенсивное выделение низкомолекулярных углеводородов в виде газа, который можно использовать для получения тепла и электроэнергии путем сжигания в специальных ДВС или турбинах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что процессы пиролиза ископаемых углей могут быть положены в основу разработки промышленных установок для выработки экологически безопасного и эффективного топлива, обеспечивающего объекты малой энергетики.

2. Максимальный выход целевых продуктов для углей марки ГЖ лежит в достаточно узком интервале 700÷740 °С, оптимальное время нагрева – 4 ÷ 5 минут.

3. На основе экспериментальных исследований и разработанных расчетных методик создана опытно-промышленная установка непрерывного пиролиза каменного угля, определены параметры устойчивого протекания процесса пиролиза в непрерывном режиме выработку газа до 1650 м<sup>3</sup> и кокса до 3т в сутки, при средней энергетической эффективности процесса 92 %;

4. Установлено, что средняя теплота сгорания полученного синтез-газа 32 МДж/кг, кокса – 30 МДж/кг, что позволяет использовать эти продукты пиролиза в качестве моторного и печного экологически чистого топлива.

5. Исследования и испытания опытной установки показали, что возможно управление свойствами получаемых продуктов. Изменяя рабочие давление и температуру процесса можно регулировать характеристики пористости, размеры кусков, их механическую прочность, выход летучих. В наших опытах были эти параметры могли регулироваться в следующих интервалах: минимальный размер пор от 1 до 25 мкм; выход летучих от 1,2 до 23 %; механическая прочность от 65 до 80 %; размеры кусков от 5 до 100 мм).

Основные положения диссертации отражены в следующих работах. **Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:**

1. Котельников В.И., Лебедев В.И., Рязанова Е.А., Соян М.К., Федянин В.Я. Энергохимическая переработка каменных углей Тувы - основа устойчивого развития республики. //Ползуновский вестник.- 2007.-№4.-С.50-54

2. Куликова М.П., Лебедев В.И., Каминский Ю.Д., Котельников В.И. Энергохимическая переработка каменных углей Тувы — основа устойчивого развития республики // Химия в интересах устойчивого развития. – Новосибирск, 2004. – Т. 12. – С. 541–554.

3. Г.Ф. Балакина, В.И. Котельников, М.П. Куликова. Проблемы использования энергетических ресурсов Республики Тыва. // Уголь №2, 2010. С.15-18.



Статьи, отражающие основное содержание работы:

3. Лебедев В.И., Котельников В.И., Лебедева М.Ф., Мышлявцев А.В., Полулях Ю.Г., Самданчап Т.Х. Минерально-ресурсный потенциал Республики Тыва и эффективные направления его использования до 2005 года. // Состояние и освоение природных ресурсов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Науч. Тр. ТувИКОПР СО РАН / Отв. Ред. Д.г.-м.н. В.И. Лебедев. – Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2000. – С. 75-81.
4. Котельников В.И., Куликова М.П. Энергетика Тувы в XXI веке. // Россия и Тува. 60 лет вместе. Материалы науч.-практ. конф. (29.10.2003г., Кызыл). - Кызыл, 2003.
5. Лебедев В.И., Котельников В.И., Соян М.К., Куликова М.П. Стратегия развития угольной отрасли Республики Тыва // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса в XXI в.: Материалы Международной конференции (11-15 окт. 2004 г. Москва – Бишкек). – М. Изд-во РУДН, 2004. – С. 143-145 (0,2 печ.л.)
6. Котельников В.И., Соян М.К. О выработке тепловой энергии на базе Эрбекского месторождения каменного угля // Состояние и освоение природных ресурсов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. Науч. Тр. ТувИКОПР СО РАН / Отв. Ред. Д.г.-м.н. В.И. Лебедев. – Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2004. – С. 242-245. (0,3 печ.л.)
7. Куликова М.П., Котельников В.И., Соян М.К., Каминский Ю.Д. Перспективы развития угольной отрасли Республики Тыва // Новые технологии добычи и переработки природного сырья в условиях экологических ограничений: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. -Улан-Удэ, 2004. -С. 106-109.
8. Создание технологий и оборудования высокоэффективной экологически безопасной переработки минерального сырья и техногенных отходов (на примере промышленных агломераций Тувы и сопредельных регионов): Сводный отчет по конкурсному проекту СО РАН № 28.4.8 (2004-2006 гг.) Отв. Ред. д.г.-м.н. Лебедев В.И. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2006.- 116 с. ISBN 5-94897-028-0
9. Дамбиев О.Ф. Котельников В.И. Лебедев В.И., Рязанова Е.А., Соян М.К. Оценка эффективности освоения месторождений энергетических углей Тувы и перспективных технологий их переработки. // II Сибирский Энергетический Конгресс, Новосибирск, 2007.
10. Лебедев В.И., Котельников В.И., Рязанова Е.А., Федянин В.Я. Установка непрерывного термоллиза угля: технология и экономика // Приоритетные направления науки и техники, прорывные и

критические технологии: "Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики": Материалы научно-практической конференции с международным участием 17-20 октября 2007 г. - Барнаул, ОАО "Алтайский дом печати", 2007. - С. 10-12.

11. Котельников В.И., Рязанова Е.А., Федянин В.Я. Исследование кинетики окислительных процессов наноразмерного углерода в водоугольной смеси под воздействием ультразвуковых волн //Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: "Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики": Материалы научно-практической конференции с международным участием 17-20 октября 2007 г. - Барнаул, ОАО "Алтайский дом печати", 2007. - С. 17-18.

12. Котельников В.И., Лебедев В.И., Рязанова Е.А., Соян М.К., Чульдун К.К. Способ и устройство получения углеродных материалов. Заявка на патент № 2009136782/20(052018).

Подписано в печать 22.03.2010. Формат 60x84 1/16.  
Печать – цифровая. Усл.п.л. 1,16.  
Тираж 100 экз. Заказ 2010 - 146

Отпечатано в типографии АлтГТУ,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46  
тел.: (8–3852) 36–84–61

Лицензия на полиграфическую деятельность  
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.