

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Институт физико-технических проблем и материаловедения
им. Ж. Жеенбаева

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ

Кыргызский государственный технический университет им.
И.Раззакова

Кыргызско – Российский Славянский университет им. Б. Ельцина

Диссертационный совет Д.05.11.034

На правах рукописи
УДК681.5

Асанов Эржан Арстанбекович

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО
ПИРОЛИЗА МЕСТНЫХ УГЛЕЙ

Специальность **05.13.06** – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек - 2013

Работа выполнена в Кыргызско - Российском Славянском университете им. Б.Ельцина.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники КР
Муслимов А.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Шамсутдинов М.М.

кандидат технических наук, ст.н.с.
Васильев В.Б.

Ведущая организация: Международный университет Кыргызстана

Защита состоится «29» ноября 2013 года в 14-00 часов на заседании Межведомственного диссертационного совета Д.05.11.034 при Институте физико-технических проблем и материаловедения им. Ж.Жеенбаева НАН КР, Кыргызском государственном техническом университете им. И.Раззакова, Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н.Ельцина, по адресу: 720071, г. Бишкек, пр.Чуй, 265-а, центральный корпус НАН КР.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Автореферат разослан «28» октября 2013 г.

Учёный секретарь Межведомственного диссертационного совета Д.05.11.034,
кандидат физико-математических наук



В.В.Алиферов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Увеличение потребления местных углей с использованием традиционных энергетических технологий по существу достигли своего предела экономической и экологической эффективности. В этих условиях значительный интерес представляет разработка новых способов и устройств термической переработки угля и переход к использованию экологически более чистых видов топлива угольного происхождения. К ним относятся твердое обогащенное топливо, синтетические газообразные и жидкие горючие продукты, полученные путем глубокой переработки угля. Производство коксового продукта имеет наибольшую экономическую привлекательность в перспективе. Речь идет о производстве коксовых продуктов и углеродистых восстановителей (попутно и горючего газа) для уже существующего и активно развивающегося рынка металлургического сырья и технологического топлива. Эти технологии связаны с термическим или термохимическим воздействием на органическую массу угля.

Традиционное коксование угля основано на использовании аллотермических аппаратов, в которых нагрев угля осуществляется через стенку или за счет постороннего теплоносителя. Серьезным препятствием для применения аллотермических технологий во многих странах послужила его экологическая опасность и неэффективность использования побочных продуктов. В силу перечисленных недостатков на первый план выходят автотермические технологии, в которых существенно выше интенсивность подвода тепла к углю, а обезвреживание вредных веществ пиролиза осуществляется непосредственно в процессе переработки угля внутри основного технологического оборудования. При этом, имеется возможность в одном технологическом аппарате получать как коксовый продукт, так и горючий газ.

В связи с вышеизложенным, актуально решение проблемы разработки новых способов энергетического и технологического комбинирования нескольких процессов в едином аппарате, которые обеспечивают качественное повышение энергоэффективности использования угля при высоком уровне экологической безопасности.

Настоящая работа изначально ориентирована на применение, по возможности, простых схемных и конструктивных решений при использовании паровоздушного пиролиза и газификации угля. Комбинированное производство полезных продуктов из угля, в виде полукокса и дешевого газа, представляет огромный интерес и имеет большое практическое значение для металлургической и энергетической отраслей.

Связь темы диссертации с крупными научными программами, основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научными учреждениями. Данная работа была выполнена в Кыргызско-Российском Славянском университете по гранту Министерства образования и науки КР.

Цель работы - разработка комбинированной технологии и

автоматизированных устройств для непрерывного пиролиза и газификации местных углей.

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

- изучение существующих технологий и оборудования для переработки угля, направленных на получение твёрдых и газообразных продуктов, формулирование задач исследования;
- исследование процессов, протекающих при термообработке углей, разработка технологии непрерывного пиролиза местных углей и получения топливных продуктов заданного состава и качества;
- выбор и обоснование параметров новых автоматизированных устройств для непрерывного пиролиза местных углей и изучение влияния их основных управляющих параметров на показатели технологических процессов;
- разработка экспериментальных устройств и методики проведения испытаний;
- экспериментальное исследование опытного образца автоматизированной установки и разработка рекомендаций по использованию ее в производстве.

Объект исследований. Технологические автоматизированные установки и процессы пиролиза энергетических углей местных месторождений Кыргызстана

Научная новизна работы.

Предложены новые технологические автоматизированные установки шнекового типа для переработки угля, показаны возможности реализации, на их основе, разных способов получения горючего газа и среднетемпературного кокса из местных углей, отличающихся непрерывностью процесса и повышенной производительностью, по сравнению с известными аналогами.

Определены технологические параметры шнековой установки с использованием обратного дутья, обеспечивающих устойчивое протекание процессов пиролиза, а также качественные и количественные характеристики получаемых коксовых продуктов переработки угля.

Получены аналитические формулы для расчета:

- производительности шнекового реактора, в зависимости от продолжительности перемещения тепловой волны в камере реактора;
- конструктивных, кинематических и технологических параметров установки и его привода.

Усовершенствовано физическое представление модели процесса, разработана автоматическая система, с обратной гидравлической связью стабилизации подачи угля шнекового реактора, отличающаяся простотой, не требующая усилительных элементов и обеспечивающая хорошие статические и динамические качества ее характеристик. С помощью ее математической модели выполнено численное исследование процесса и

обоснованы рациональные параметры шнекового реактора и его гидропривода управления.

Предложена структура управления реактором шнекового типа, имеющая два управляющих воздействия - частоту вращения винта шнека ω_6 и температуру процесса T_p , что обуславливает использование в синтезируемой структуре двух регуляторов. С помощью первого – обеспечивается стабилизация градиента температуры dT/dt в зоне пиролиза, а с помощью второго - стабилизация температуры T_3 в зоне восстановления.

Основные положения, выносимые на защиту:

- способы и технологические установки шнекового типа, выполненные на уровне изобретений;
- варианты технологий слоевого пиролиза мелкозернистого угля в горизонтальных аппаратах шнекового типа с обратным воздушным и паровоздушным дутьем;
- усовершенствованное физическое представление модели процесса, разработана автоматическая система с обратной гидравлической связью стабилизации подачи угля шнекового реактора;
- структура управления реактором шнекового типа, имеющая два управляющих воздействия;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований, учитывающие конструктивные особенности автоматизированной технологической установки, её привода и физико-механические свойства перерабатываемого угля.

Практическая ценность работы:

- результаты теплофизического исследования углей и продуктов их переработки позволили разработать практические рекомендации по совершенствованию процесса слоевой газификации угля с обращенным дутьём, что улучшило эксплуатационные характеристики существующих технологических установок на основе шнековых реакторов слоевого типа.
- разработанная инженерная методика расчета параметров автоматизированных шнековых установок непрерывного пиролиза предназначена для использования в проектных и конструкторских организациях при проектировании технологических линий по переработке местных углей;
- опытно-экспериментальные образцы установки непрерывного пиролиза углей переданы для использования в ОсОО «ЦНТ АТЭЭК», где создается технологическая линия по производству полукоксов и когенерации энергии на основе газа из угля, и в КНТЦ «Энергия» для проведения НИР по сжиганию углей месторождений Кыргызстана, применительно к ТЭЦ г.Бишкек и ТЭЦ г.Ош.

Научно-технические разработки защищены патентами: № 1430 KG от 30.03.2012, № 1217 KG от 08.06.2010 и № 1262 KG от 31.05.2010.

Личный вклад автора состоит: в анализе состояния проблемы; постановке задач исследования; участии в разработке установки и проведении экспериментов по термпереработке угля; разработке

технических предложений по интенсификации и расширению сферы применения процесса переработки угля в газогенераторах шнекового типа; совершенствовании методического обеспечения и подготовки исходных данных для проектирования технологических установок.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы обсуждены и доложены на:

III Международной научно-практической конференции «Интерстроймех 2009» (г. Бишкек, 2009) ;

научной конференции молодых учёных КГУСТА и КРСУ (г. Бишкек, 2010, 2011) ;

научно-практической конференции университета «Алатау» и КазТУ (г. Алматы, 2011) ;

XI Всероссийской с международным участием научно-технической конференции (г. Братск, 2012)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 статей, в том числе получены 3 патента КР.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных литературных источников и приложений. Работа содержит 186 стр. машинописного текста, в том числе 7 приложений, 53 рисунков и 13 таблиц. Список использованных источников включает 102 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность проблемы, формулируются цель и задачи исследования, обосновывается научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современных процессов технологической переработки углей. Анализ основных направлений топливного использования продуктов переработки угля показал, что среди них наибольшую экономическую и экологическую привлекательность имеет направление, связанное с производством коксовых продуктов для активно развивающегося рынка металлургического сырья.

Систематические исследования и разработка способов переработки угля начались в 20-40-е годы XX века. В 40-60-е годы были сформулированы основные теоретические представления о физико-химических процессах, происходящих при химическом реагировании угля с газами, и выполнены фундаментальные исследования, не потерявшие актуальности до настоящего времени.

При получении коксового продукта большое значение имеют тип применяемых установок, способ подвода тепла, время пребывания летучих веществ в зоне нагрева, температура, давление в реакторе и другие факторы. На основании анализа влияния основных факторов на реализуемый процесс переработки угля можно отметить, что, изменяя размер частиц, скорость

нагревания и давление, можно из одного и того же топлива, при одной и той же конечной температуре получить разные количества кокса и газа.

Среди известных автотермических процессов наибольший интерес представляет слоевая технология переработки угля в кокс и горючий газ, с использованием обратного воздушного дутья. Благодаря низкой скорости фильтрации газов в слоевом реакторе (0,02-0,03 м/с по сравнению с 0,5-2,5 м/с, например, в аппаратах «Lurgi»), процесс мало критичен к фракционному составу угля и гидравлическому сопротивлению слоя и позволяет перерабатывать мелкозернистые угли. По сравнению со схемой слоевой газификации с прямым дутьём, в схеме с обращенным дутьём скорость тепловой волны и, соответственно, производительность газификатора, при прочих равных условиях, оказывается существенно (на порядок и более) низкой, сам процесс в газификаторе периодичен.

В работе ставится задача исследования данного процесса переработки угля с целью нахождения способов его совершенствования и разработки новых автоматизированных технологических установок для ее реализации.

Во второй главе рассмотрены физико-химические процессы, происходящие в известных слоевых газогенераторах. Установлено, что сравнительно низкая производительность, цикличность процесса пиролиза и сложность получения продуктов с прогнозируемыми параметрами обуславливают необходимость совершенствования самих процессов и установок.

В предложенных способе и установке для комбинированного получения среднетемпературного кокса и горючего газа (защищены патентом КР № 1262), в отличие от прототипа, обеспечивается непрерывность процесса, достигается возможность переработки мелкого угля и управления режимом пиролиза, что, в итоге, способствует интенсификации процесса.

В зависимости от вариантов подачи окислителя, можно достичь разного расположения и сочетания зон сушки, пиролиза, окисления и восстановления. В основе их различий лежит направление движения фронта «тепловой волны», Эти схемы переработки угля влияют, в свою очередь, на схемы конструктивного исполнения или построения установок шнекового типа. Вместо воздуха можно подавать и водяной пар для достижения производства топливных продуктов с измененными свойствами.

Для исследования процесса переработки угля с обратным воздушным дутьем в реакторе шнекового типа и разработки технологии получения коксовых продуктов и попутного газа была собрана экспериментальная установка, технологическая схема которой приведена на рис. 1.

Способ переработки угля реализуется в устройстве, состоящем из горизонтально расположенного цилиндрического корпуса, внутри которого, соосно друг другу, размещены два встречнопоточных шнековых нагнетателя (2) на едином приводном валу. Между выпорными лопастями нагнетателей в средней части корпуса, установлены узел для розжига угля (3), вмонтированный на закрывающем среднюю часть корпуса люке. Там же

размещены: узел отвода горючего газа(1) и узел выгрузки полученного полукокса (4). С противоположных сторон реактора установлен узел загрузки угля, выполненный в виде бункера, соединенного подающими трубопроводами с противоположными сторонами корпуса, и узлы подачи воздуха, выполненные в виде компрессора (5), соединенного воздухопроводами с противоположными сторонами корпуса.

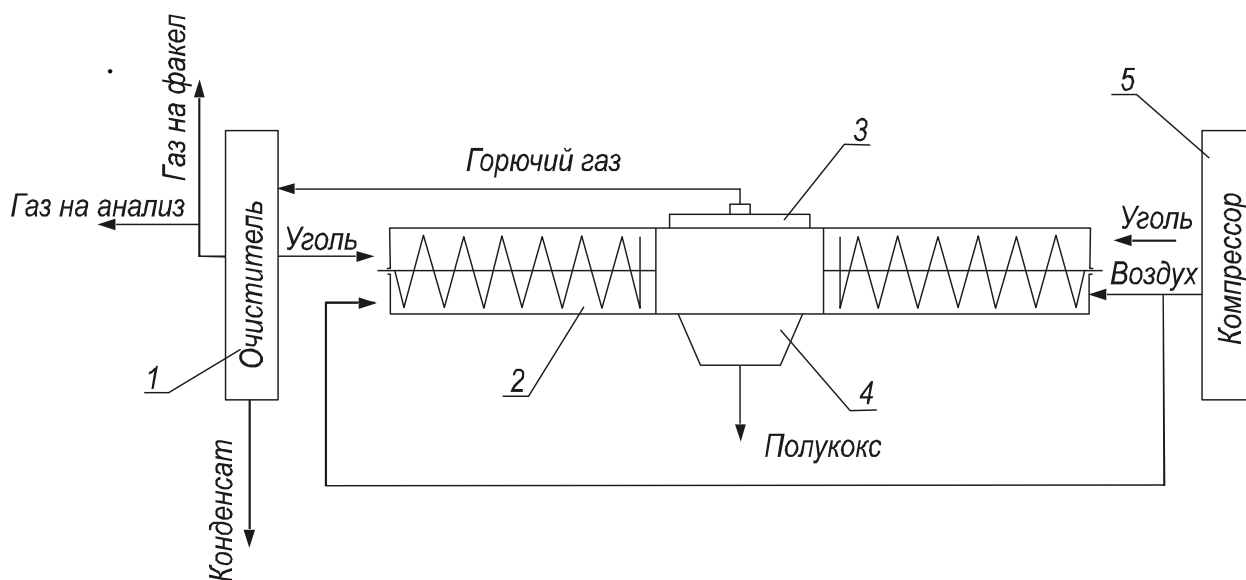


Рис.1. Схема установки для пиролиза и газификации угля

Опыты на установке полукоксования местных углей проводились следующим образом. Из марок углей, прошедших испытание, уголь фракции 3 - 15 мм загружался в шнековый реактор в количестве, соответствующем объему его камер, подавался к центру аппарата и разжигался. Длительность розжига устанавливалась по выходу горючего газа, она равнялась 35 - 40 минут. После набора в реакторе температуры розжига угля, следовала выдержка и герметизация камеры, а затем осуществлялась подача воздуха для получения обратной тепловой волны в камере и реализовывался процесс пиролиза, в соответствии с температурными режимами, установленными для каждого угля. Необходимый температурный режим пиролиза в камере реактора создавался путем регулирования объема подаваемого воздушного дутья. По мере перемещения фронта тепловой волны со стороны подачи угля, за счет шнековых нагнетателей в соответствии с режимом переработки, подавалась непрерывно следующая порция угля.

При известных конструктивных параметрах реактора (рабочей длины и площади сечения камеры шнекового реактора), продолжительность перемещения тепловой волны от места розжига до узла загрузки угля зависит от рабочей длины участка. Для шнековой установки, работающей в непрерывном режиме, в качестве основного показателя, удобно использовать удельную производительность, рассчитываемую по формуле

$$\Pi = Lm/t \quad \text{или} \quad \Pi = LSp/t, \quad (1)$$

где L - рабочая длина камеры реактора; m - масса угля на единицу длины камеры, кг/м; t - время перемещения тепловой волны, мин; S - площадь сечения камеры шнекового реактора, m^2 ; ρ - плотность угля.

Величину подачи угля шнековыми нагнетателями можно рассчитать по формуле:

$$P_{III} = 0,785(D^2 - d^2)(s - b)\varphi\kappa\omega / 2\pi, \quad (2)$$

где D — наружный диаметр питателя, м; d — диаметр вала, м; s - шаг винта, м; b — толщина витков, м; φ - коэффициент заполнения полостей винта; κ - коэффициент проскальзывания дозируемого материала в полостях винта, $\kappa=0,3... 1,0$; ω - угловая скорость шнека, c^{-1} .

На основе формул (1) и (2) и технологических параметров (приведены в диссертации) получена формула:

$$0.785(D^2 - d^2)(S - b)\varphi \cdot \kappa \cdot q_H \cdot n_H \cdot t = 4\pi\alpha \cdot S \cdot \rho \cdot q_M, \quad (3)$$

которая выражает взаимосвязь между параметрами конструкции и привода установки с технологическими параметрами процесса пиролиза угля. Известно, что скорость пиролиза и время, затрачиваемое на его реализацию, являются технологическими параметрами процесса переработки угля. Определение числовых значений этих параметров обусловило постановку экспериментальных исследований, результаты которых приведены в четвертой главе.

В третьей главе рассматриваются вопросы исследования и разработки автоматизированных технологических установок непрерывного пиролиза угля. На рис.2 представлена одна из принципиальных схем автоматизированного устройства, реализующего скоростной способ непрерывного получения коксового продукта и газа из мелкодисперсного угля и ее разрез по сечению A-A (защищены патентом КР № 1430). Установка представляет собой газогенераторный аппарат, состоящий из горизонтально расположенного цилиндрического корпуса, с основаниями, выполненными в виде усеченных конусов. Внутри корпуса смонтирован, соосно, парогенератор, состоящий из теплового излучателя энергии такой же формы, что и корпус аппарата, но меньшего размера, имеющий боковой патрубок для ввода тепловой энергии, камеры с каналом, образованным стенками двух концентрично расположенных друг другу, корпусов газогенератора и парообразователя, которая разделена двумя вертикальными перегородками, установленными на концах их цилиндрических частей на три секции, которые создают завихрение подаваемого пара, а также горизонтальной перегородкой, смонтированной касательно к патрубку средней цилиндрической секции кольцеобразного типа, служащий накопителем тепловой энергии, которая рассекает эту секцию на две части: верхнюю и нижнюю, соответственно для получения и подачи пара в камеру, образованной между конусными поверхностями корпусов газогенератора и парогенератора с двух сторон аппарата, а также для отвода полезных продуктов и золы после переработки угля. Путем герметичного соединения

к узким концам усеченных конусов, размещены два встречноточных шнековых нагнетателя на отдельных приводных валах. Для вращения валов использован гидрообъемный привод. Нижняя подсекция, для отвода продуктов переработки угля, имеет отверстия, и снабжена патрубком для вывода продуктового газа и узлом выгрузки полученного твердого продукта.

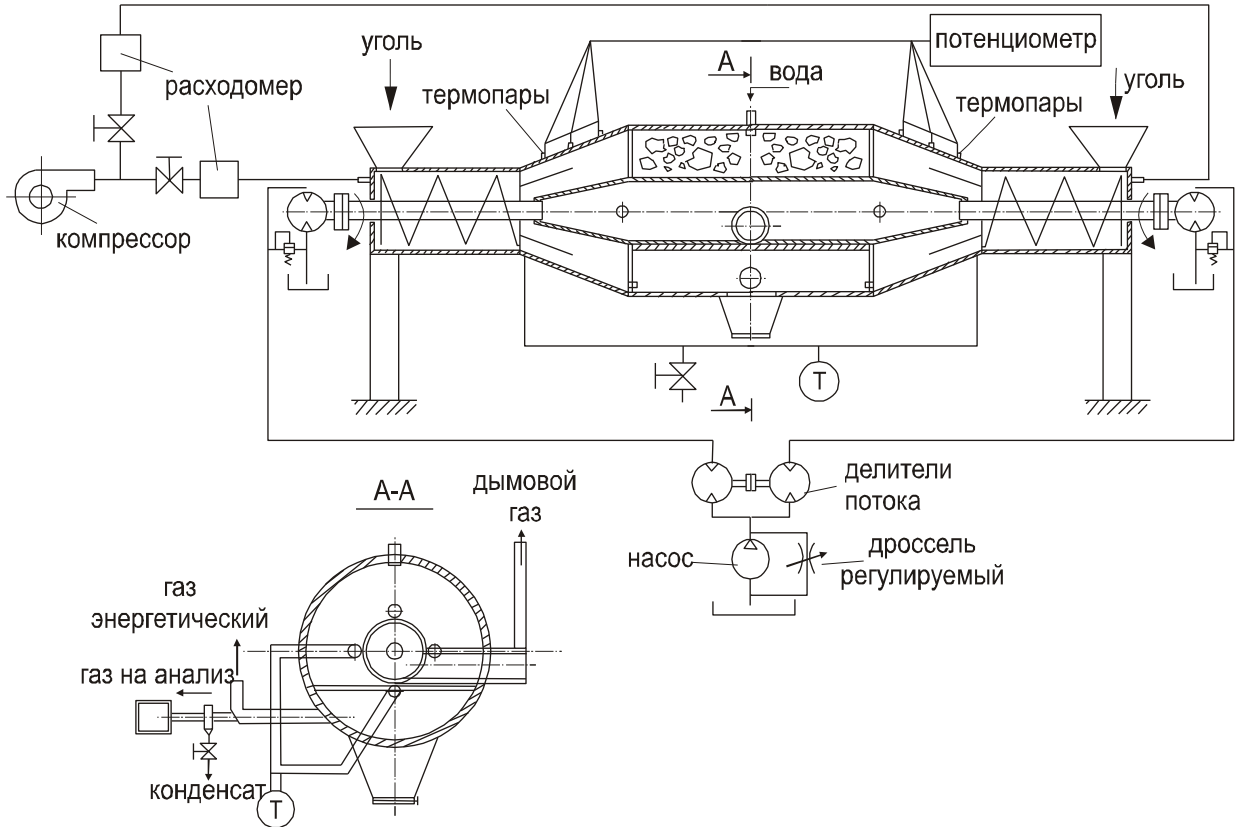


Рис 2. Принципиальная схема гидромеханической и приборной части установки для скоростного пиролиза угля

В данной конструкции, в отличие от неподвижного слоя, газификация мелкодисперсного угля ведется в перемещающемся слое, на который воздействует тепло как от внутренней стенки реактора, так и подаваемого в камеру тангенциально закрученного потока перегретого пара и реализуется комбинированный способ термообработки угольных частиц (защищено патентом КР 1217).

Технологическая установка, объединяющая в себя, помимо газогенераторов, тепловой излучатель, компрессор для подачи воздуха, парогенератор и узлы подачи угля, обеспечивает непрерывное проведение процесса пиролиза в различных управляемых условиях. При этом, достигнута возможность регулирования скорости подачи мелкодисперсного угля в камеры реактора, регулирование давления и температуры процесса термических превращений угля, а также обеспечение воздушного и паровоздушного дутья в требуемых количествах.

Гидропривод реактора (рис. 3), помимо насосной станции и клапанно – распределительной аппаратуры включает в себя два гидродвигателя *MI* и

M_2 , приводящие в движение шнековые нагнетатели. Подвод жидкости в гидродвигатели осуществлен через два гидромотора шестеренного типа, валы которых жестко соединены между собой.

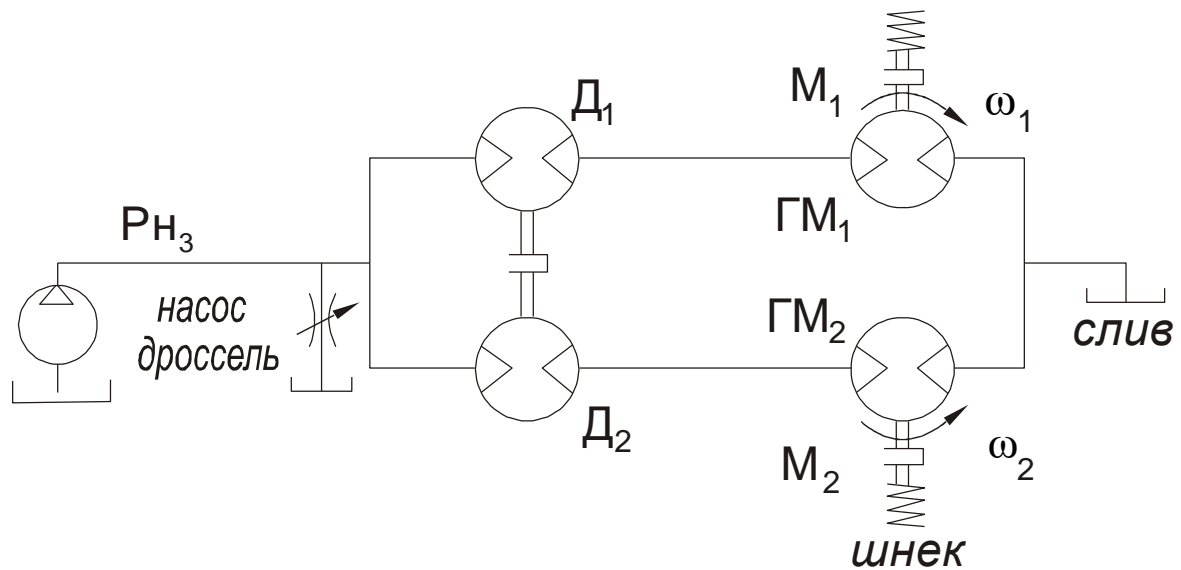


Рис. 3 Принципиальная схема включения делителя потока $Д_1-Д_2$ в гидросхему шнекового реактора

При работе газогенератора, из-за возникающих сопротивлений перемещения угля, гидродвигатели M_1 и M_2 могут быть нагружены отличающимися друг от друга моментами и $M_{c1} \neq M_{c2}$, но должны, с достаточно высокой точностью, поддерживать $\omega_1 = \omega_2$. Это условие обеспечивается равенством рабочих объёмов V_o делителей потока – шестеренных гидромоторов. Использование шестеренных насосов в режиме гидромотора достигается высокая точность поддержания $\omega_1 = \omega_2$ при $M_{c1} \approx M_{c2}$ и, соответственно, равенство мощностей на выходных валах M_1 и M_2 . Кроме того, жёсткое соединение валов $Д_1$ и $Д_2$ обеспечивает синхронность пуска M_1 и M_2 , т.е. исключает одну из причин рассогласования работы гидромоторов.

Гидродвигатели шнековых нагнетателей, для стабилизации скорости вращения, оснащены обратной гидравлической связью. Такая схема (рис. 4) состоит из насоса 1 с постоянной производительностью, дросселя 2 золотникового типа, основного клапана 3, пружины 4, редукционного клапана 6, параллельно подключенного к дросселю, для обеспечения постоянства перепада давления $\Delta P = (P_H - P) = const$ на дросселе независимо от нагрузки на гидромоторе 7, демпферов для гашения колебания давления в системе в переходных режимах 5. Стабилизация скорости подачи угля нагнетателем ω обеспечивается следующим образом. При возрастании нагрузки на валу гидромотора M_H , повышается давление в его рабочей полости. При этом, в нем возрастают внутренние утечки $Q_{ум} = K_{ум}P$, что ведет к уменьшению скорости вращения вала мотора. Одновременно

возросшее давление P перемещает основной клапан дросселя вправо, при этом, величина проходной щели дросселя h возрастает ровно настолько, чтобы компенсировать внутренние утечки в гидромоторе.

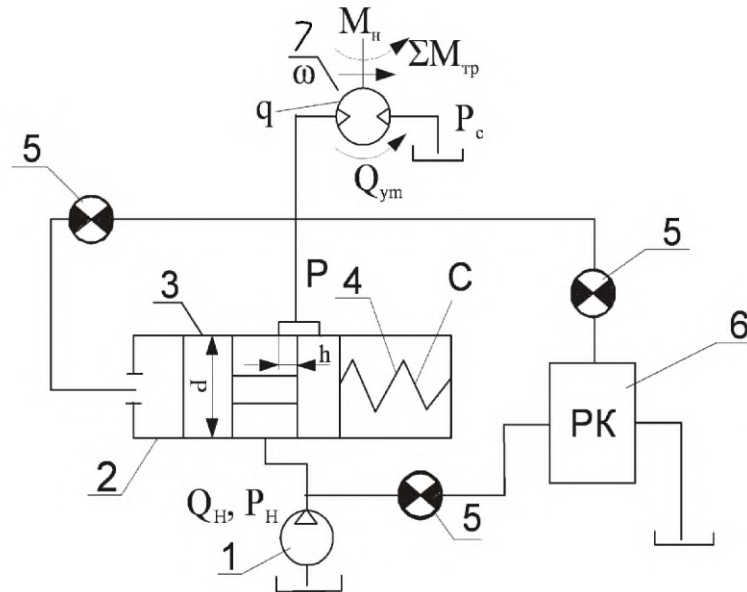


Рис.4. Принципиальная схема стабилизации скорости вращения шнекового нагнетателя

Скорость движения поршня цилиндра с обратной гидравлической связью определяется следующим выражением:
 - для случая увеличения нагрузки на ΔM_H :

$$\omega = \frac{Q}{\frac{q}{2\pi}} - \frac{K_{ym}P}{\frac{q}{2\pi}} + \frac{\mu\pi d \sqrt{2g\Delta P / \gamma \Delta h}}{\frac{q}{2\pi}}, \quad (4)$$

где Δh - величина дополнительного открытия щели регулятора под действием возросшего усилия.

Для полной стабилизации необходимо выполнение следующего условия:

$$\frac{K_3 \Delta h}{\frac{q}{2n}} = K_{ym} \frac{(M_H + \Delta M_H) \frac{1}{K_M}}{\frac{q}{2n}}, \quad K_g \Delta h = K_{ym} \cdot \frac{1}{K_M} (M_H + \Delta M_H), \quad (5)$$

, т.е.

Для исследования динамических характеристик регулятора расхода и гидромотора были составлены их математические модели:

- для дросселя $(T_0^2 p^2 + 2\zeta T_0 p + 1)h = Pf_{\dot{e}\dot{e}}, \quad (6)$

$$T_0 = \sqrt{\frac{m}{c + 2\mu x \Delta p \cos 69^\circ}};$$

где: T_0 - постоянная времени клапана;

m – масса клапана; R – радиус клапана; μ - динамическая вязкость жидкости;
 c – коэффициент жесткости пружины; ξ - коэффициент относительного демпфирования;

$$\xi = \frac{3\mu\eta R}{T_0(c + 3\mu x \Delta p \cos 69^\circ)};$$

- для гидромотора

$$\omega + T_M \frac{d\omega}{dt} = \omega_0 - \alpha_0; \quad (7)$$

где:

$$T_M = \frac{2\pi K_{ym} J_y}{K_M q} \quad \text{постоянная времени};$$

J - масса вращающихся частей гидромотора;

$$\frac{2\pi K_{ym} M_H}{q} = \alpha_0 \quad \text{- снижение частоты вращения вала за счет нагрузки.}$$

Исследование переходного процесса (рис.5), при известных исходных данных и начальных условиях, свидетельствует о том, что на разработанных установках обеспечивается устойчивая работа системы стабилизации подачи угля в процессе его пиролиза. Статическая ошибка регулирования, составляет около 3 %, длительность переходного процесса - 0,12 с, что вполне приемлемо для разработанного технологического процесса.

В работе рассмотрен тепловой баланс элементов (камера, труба и т.п.) реактора. Скорость изменения тепла в них определяется по формуле

$$\frac{dQ}{dt} = \rho c \cdot V \frac{dT}{dt}, \quad (8)$$

где V - рабочий объем элемента, м³ ρ - плотность, кг/м³, c - удельная теплоемкость, T - температура теплоносителя, °С, V – объем камеры реактора, м³.

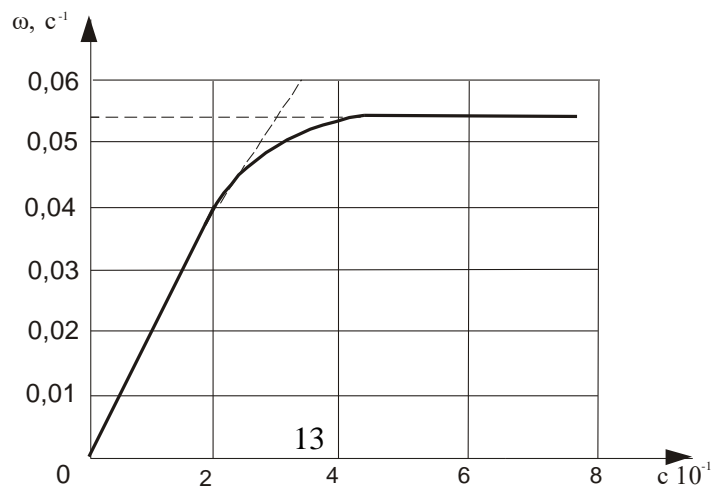


Рис. 5. Переходная характеристика работы гидромотора

Тепловой поток определяется следующими составляющими: тепловым потоком, приносимым стенками нагретых элементов шнека; потерями тепла за счет теплопередачи в окружающую среду; оттоком тепла из трубы, вместе с нагретым дымовым газом.

В результате их суммирования получено дифференциальное уравнение:

$$\rho c V \frac{dT}{dt} = S_1 P - (\mu_1 S_1 + \mu_2 S_2)(T - T_0) - \rho c S v (T - T_0), \quad (9)$$

где: p - количество тепловой энергии, поступающей на квадратный метр поверхности нагретого элемента шнека; μ_1 , μ_2 - коэффициенты теплопередачи стенок; T_0 — температура окружающей среды; v - скорость течения теплоносителя в трубе. Это уравнение описывает изменение температуры в элементах шнека, которое замыкается начальными условиями.

Получена формула для определения максимально возможной температуры нагрева:

$$T_{\max} = T_0 + \frac{PS_1}{\mu_1 S_1 + \mu_2 S_2}, \quad (10)$$

где, S_1 и S_2 — соответственно площади внутренней и наружной поверхности нагрева.

Расчет объема реакционной камеры установки для скоростного пиролиза отличается от рассмотренного выше реактора с цилиндрической камерой. Высота камеры кольцеобразного реактора, по технологии, зависит от свойств (пластичности) перерабатываемого угля при нагреве, величина пластического слоя для каменных углей – 30 мм. Из-за обогрева слоя угля с двух сторон это величину можно удвоить. Рабочая длина реактора должна обеспечивать полное завершение процесса коксования при ее прохождении единичным объемом угля.

Основными конструктивными параметрами камеры газогенератора являются радиусы малого и большого сечений (соответственно r_{11} , r_{12} , и r_{21} , r_{22}), а также длина камеры и угол наклона образующих камеры к горизонтали. Геометрические параметры реактора и скорость перемещения по ней слоя угля должны обеспечивать полное завершение процесса пиролиза при его прохождении единичным объемом угля, подаваемого узлом подачи. В свою очередь, узел подачи угля обеспечивает синхронную подачу необходимого количества угля в камеры реактора и создает со стороны подачи требуемую герметичность для обеспечения возможности повышения давления до требуемых величин.

Для определения объема камеры газификации, как функции от конструктивных параметров, выразим объем камеры реактора в виде функции от конструктивных параметров следующим образом:

$$V = \frac{\pi}{3} (r_{11} + r_{12})^3 - (r_{21} - r_{22})^3, \quad (11)$$

где, $r_{11}, r_{12}, r_{21}, r_{22}$ - радиусы малого и большого оснований усеченного конуса

По величине объема камер реактора и подаче в них угля определяется время на пиролиз и минимальная необходимая скорость перемещения угля в скоростном реакторе при реализации термического процесса.

При известном объеме камеры реактора, с учетом теоретических предпосылок, получена формула для расчета времени непрерывного пиролиза угля:

$$\tau = \frac{2V_{\text{сл}}\rho_c}{B_y(1 + \beta)}, \quad (12)$$

где: $V_{\text{сл}}$ - объем перерабатываемого слоя, м^3 ; ρ_c - плотность слоя угля в камере пиролиза, $\text{кг}/\text{м}^3$; B_y - расход угля, подаваемый в кольцевой зазор камеры реактора, $\text{кг}/\text{с}$; $\beta = B_k / B_y$ - коэффициент выхода полукокса за время переработки угля; B_k - количество получаемого коксового продукта, $\text{кг}/\text{с}$.

По известной величине времени на пиролиз угля, определяется минимальная необходимая скорость перемещения угля в реакторе установки и обеспечивается ее постоянство при помощи гидравлической системы управления.

Управление температурой T_p в зоне пиролиза достигается регулированием подаваемого воздушного дутья в камеры реактора. Основные достоинства конструкции - легкость регулирования подачи и давления удобными в эксплуатации приемами; широкий диапазон регулирования этих параметров без изменения коэффициента избытка воздуха; увеличение ресурса работы компрессора. Предложена структура управления реактором шнекового типа, имеющая два управляющих воздействия: частота вращения вала шнека ω_b и температура пиролиза T_p , поэтому в синтезируемой структуре системы управления использовано два регулятора. С помощью первого регулятора обеспечивается стабилизация градиента температуры dT/dt в зоне пиролиза, а с помощью второго - стабилизация температуры T_3 в зоне восстановления.

В четвертой главе изложены результаты исследования физико-технических свойств исходного сырья и технологии непрерывного пиролиза угля в технологических установках шнекового типа. Выбраны угольные пробы четырех месторождений КР. В результате исследования проб углей определены теплофизические характеристики процесс пиролиза, которые использованы для разработки технологии термической переработки местных углей на технологических установках шнекового типа.

На рис.6 представлен процесс нагревания местного каракечинского угля до 1200°C в динамических условиях. По этим кривым можно определить направление процесса, его ход, качественно оценить природу процессов. В результате обработки экспериментальных данных были установлены характер изменения теплового потока, теплоемкости и массы угля, в зависимости от

температуры процесса при известной скорости нагрева. Для оптимизации процесса пиролиза, важно знать конечную температуру, что устанавливается на основе DSC-TG диаграмм. Из графика (см. рис. 6) видно, что определяющая стадия процесса пиролиза начинается в области 385°С и заканчивается в области 524°С, что подтверждает и DSC-кривая. Для каменных углей процесс пиролиза на DSC-кривой смещается направо и достигает 700°С. Интервал температуры от 400°С до 750°С принят за основу при пиролизе местных углей.

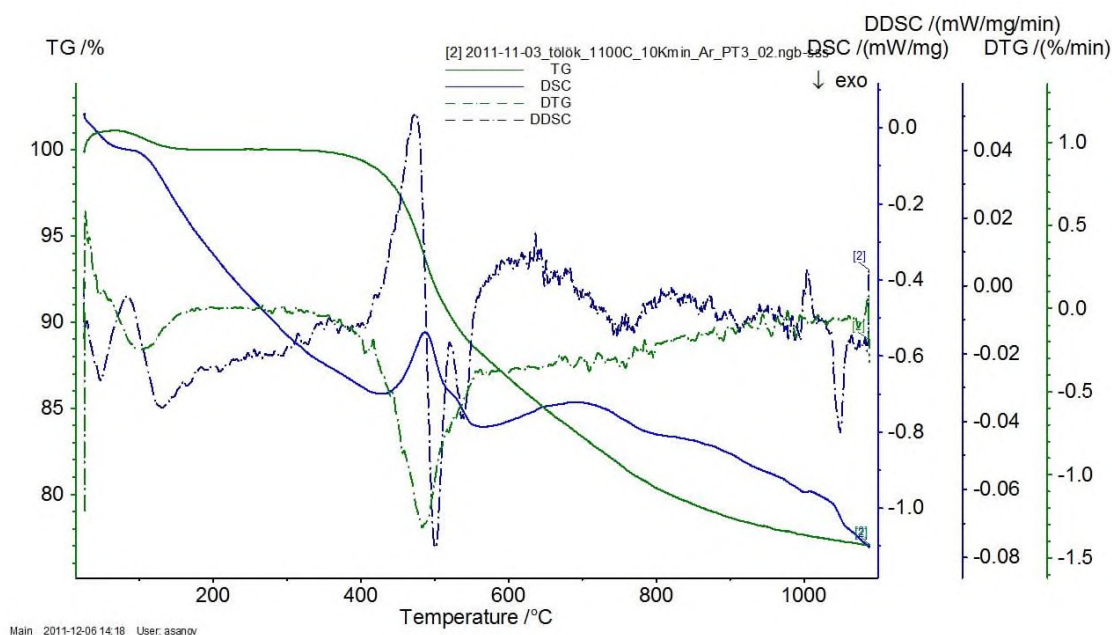


Рис.6. Результаты ДТА/ДСК при нагреве угля

Проведена оценка влияния скорости нагрева угля на процесс пиролиза. Установлено, что повышение скорости нагрева приводит к ускорению реакции пиролиза нелинейно.

Выполнены экспериментальные исследования влияния управляющих параметров на основные показатели процесса газификации. На рис. 7 приведены полученные зависимости параметров процесса от расхода и размера частиц угля. В ходе экспериментов использованы разные марки углей упомянутых выше. Приведенные графики соответствуют полифракции бурого угля, размером 1-15 мм., месторождения Кара-Кече. Расход воздуха варьировался в диапазоне 0,01- 0,2 м³/м²·с.

Эксперименты показали, что скорость тепловой волны, при температуре процесса 650-700°С, в отличие от газификации кускового топлива в слоевых газогенераторах (скорость не превышает – 9 см/ч), при пиролизе мелкозернистого угля (размер зерна до 15 мм) находится в интервале 40 – 60 см/ч, а, с учетом того, что пиролиз идет в двух камерах одновременно, эта скорость увеличивается вдвое. Исходя из полученных выше результатов, можно сделать вывод, что при пиролизе мелкозернистого угля в реакторах шнекового типа скорость процесса, соответственно производительность установки, повышается на порядок и

выше. Эти данные легли в основу расчета величины подачи мелкозернистого угля шнековыми нагнетателями в камеры реактора для переработки угля, изложенные в третьей главе.

Из приведенных графиков (см. рис.7) следует:

1. Процесс потери массы угля и, соответственно, выделение газа линейно возрастает и не зависит от частиц угля.

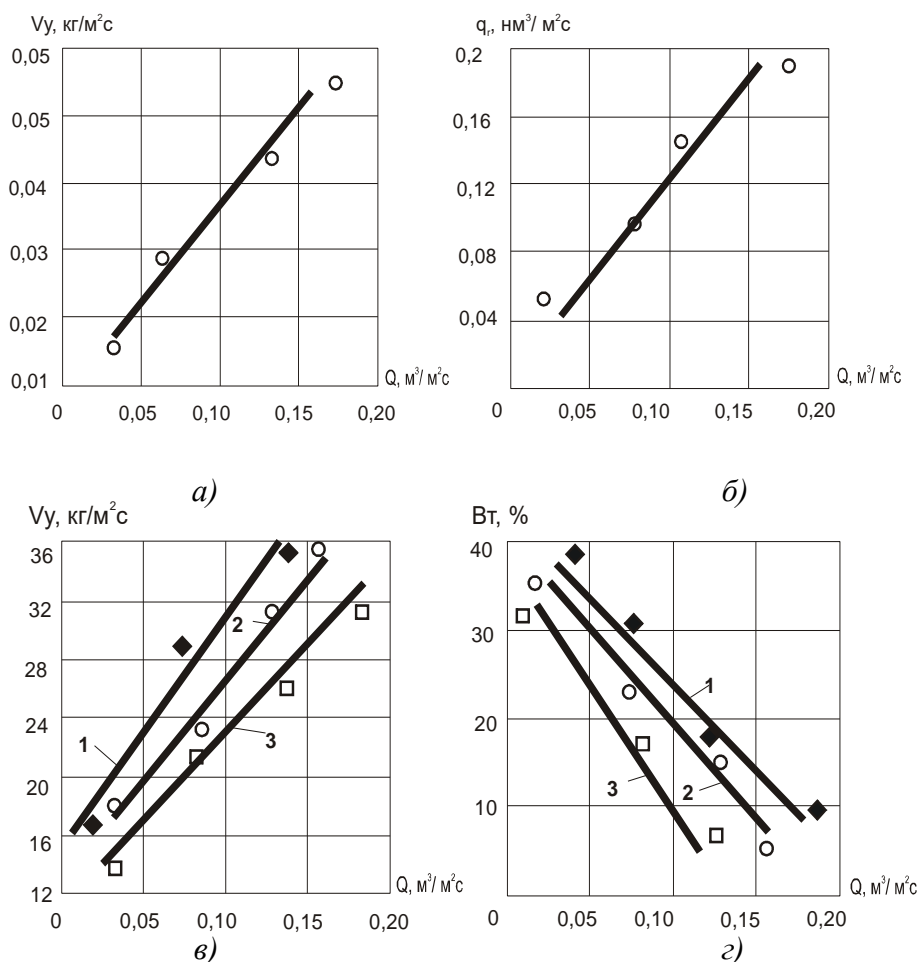


Рис. 7. Графики изменения основных параметров процесса пиролиза угля в зависимости от расхода воздуха, при фракции угля от 1 до 15 мм (а – скорость потери массы угля; б – удельный выход газа; в – скорость перемещения фронта тепловой волны; г – выход полукокса; для следующих фракций 1–1 ÷ 5мм, 2–5 ÷ 10мм, 3–10 ÷ 15мм)

На опытной установке наблюдался достаточно большой выход горючего газа до - 1,8 м³/кг угля и полукокса до 0,4 кг/кг. Полученный в процессе термической переработки угля, при температуре до 700°С, полукокс, подвергался анализу, при этом определяли элементный состав продукта, пористость, реакционную активность по углекислому газу и электрическое сопротивление. Химический анализ состава газа не выполнялось. По теплотворной способности (4930 ккал/кг) генераторный газ соответствует низкокалорийным газам, которые могут быть

использованы для коммунальных нужд. Из-за использования воздушного дутья, происходит разбавление газа азотом.

Из марок углей, прошедших испытание, уголь фракции 3-15 мм загружался в шнековый реактор в количестве, соответствующем объему его камер, подавался к центру аппарата и разжигался. Длительность розжига устанавливалась по выходу горючего газа, она равнялась 35-40 минут. После набора в реакторе температуры розжига угля, следовала выдержка и герметизация камеры, и осуществлялась, подача воздуха для получения обратной тепловой волны в камере и реализовывался процесс пиролиза. Необходимый температурный режим пиролиза в камере реактора создавался путем регулирования объема подаваемого воздуха (рис.7). По мере перемещения фронта тепловой волны в стороны подачи угля, непрерывно поступает следующая порция угля.

2. Одновременно со скоростью пиролиза увеличивается скорость перемещения фронта превращений угля, что свидетельствует о возрастании температуры в зоне горения.

3. С возрастанием удельного объема выхода газа снижается выход полукокса, что вполне допустимо, поскольку с возрастанием температуры процесса возрастает переход полукокса в горючий газ.

Замеры температуры в камере реактора, применительно к процессу сушки и пиролиза, показали (рис. 7), что траектория ее изменения имеет два характерных параметра: температурный градиент dT/dt (в промежуточных зонах) и установившаяся температура T (в зоне пиролиза и восстановления). Следует отметить, что полученный график отличается от известного дополнительным 1-м периодом. Это связано с тем, что в процессе подачи уголь претерпевает процесс сушки от тепла отходящих дымовых газов. Помимо бурых углей, изучена возможность получения полукокса из каменных углей марки Г и Д. Они, в отличие от полукокса, получаемого из бурого угля, имеют повышенную калорийность и механическую прочность. Результаты лабораторного анализа показали следующий элементный состав полукокса на сухую массу, в %: углерод, С = 73-82,5; водород, Н = 4,2 – 5,91; зола А = 13, 4, газы, (О+Н) = 12-16,2.

Для интенсификации процесса и увеличения производительности необходимо достичь скорости пиролиза, как в кипящем слое, в котором продолжительность ограничивается несколькими минутами / 69/. В связи с изложенным, была предложена новая конструкция установки для скоростного пиролиза угля и исследована технология переработки угля с использованием, в качестве окислителя, паровоздушной смеси и реактора шнекового типа. Для исследования влияния размера частиц угля на параметры процесса использовались фракции угля от 1 до 15 мм. Расход воздуха варьировался в диапазоне от 0,1 до 0,06 м³/м²·с. Снижение расхода воздуха связано с использованием перегретого пара для термохимической переработки угля.

В пятой главе приводятся результаты разработки инженерной методики расчета основных параметров технологических установок и

испытания опытно-экспериментальной установки для скоростного пиролиза угля, общий вид которой приведен на рис. 8.



Рис. 8. Установка для скоростного непрерывного пиролиза угля

Из-за использования мелкодисперсного угля, средний размер твердого продукта составил 6 мм, что потребовало его брикетирования для использования в промышленности и быту. Образцы полученных брикетов приведены на рис. 9. Основная область промышленного применения такого полукокса – газификация, с получением технологических и горючих газов. Полученные брикеты отличаются повышенной газопроницаемостью и высоким электрическим сопротивлением, что позволяет рекомендовать его для использования при выплавке технического кремния.

Разработана инженерная методика расчета основных параметров автоматизированных технологических. При этом, управление температурой в зоне пиролиза осуществлено путем регулирования расхода воздуха, подаваемого в реактор. В синтезируемой структуре системы управления



Рис. 9. Общий вид отформованных брикетов

использованы два регулятора, с помощью первого – обеспечивается стабилизация градиента температуры dT/dt в зоне пиролиза, а с помощью второго – стабилизация температуры T_3 в зоне восстановления.

Здесь же, приведена концептуальная технологическая схема переработки местных углей на базе типового угледобывающего предприятия, в основу которой положена разработанная технология термической переработки угля, изложенной в настоящей работе. Предлагается наращивать выпуск сортового угля, а мелкие классы перерабатывать в высококалорийный полукокс, электрическую и тепловую энергию. Проведенные технико-экономические расчеты по выпуску коксовой продукции и получению тепловой и электрической энергии, с использованием попутного горючего газа, показали эффективность применения таких комплексов. Комплекс по производству полукокса и когенерации энергии при выпуске коксового продукта в количестве 10 тыс. т/год потребляет 30 тыс. т угля в год и окупается в течение 2 лет.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие научные и практические результаты:

1. Научно обоснованы, конструктивно проработаны и защищены патентами КР новые способы пиролиза мелкодисперсного угля и разработаны технологические установки шнекового типа для непрерывного получения полукокса и горючего газа из местных углей: в автотермическом слоевом реакторе, с использованием обратного воздушного дутья; в реакторе скоростного пиролиза, с комбинированным паровоздушным дутьем.

2. Разработанная автоматизированная система стабилизации скорости подачи угля шнековых нагнетателей обеих технологических установок для получения коксового продукта и горючего газа обеспечивает равномерность реализуемого процесса пиролиза угля. Степень стабилизации скорости подачи, т.е. статическая ошибка регулирования, составляет около 3%, длительность переходного процесса - 0,12 с, что вполне приемлемо для разработанного технологического процесса.

3. На основе физико-технического анализа свойств местных углей установлено, что угли отдельных месторождений Кыргызстана являются перспективным сырьем как для энергетики, так и для переработки, с целью получения ценных продуктов. Максимальный выход целевого продукта - полукокса для исследованных бурых и каменных углей лежит в достаточно узком интервале температуры от 385 - 524°С до 700°С.

4. Получены значения показателей технологического процесса переработки бурого угля при слоевой газификации в шнековой установке с

обращенным дутьем такие, как скорость процесса пиролиза, выход коксового продукта и сопутствующего газа и их характеристик, а также выявлено, что использование мелкой фракции угля (до 15 мм) при работе реактора обеспечивает наибольшую производительность процесса пиролиза.

5. Разработана инженерная методика расчета основных параметров автоматизированных технологических установок на основе полученных аналитических формул, результатов экспериментальных исследований, устанавливающих взаимосвязь основных показателей технологических установок с параметрами конструкции, привода и процесса пиролиза угля.

6. Доказано, что, изменяя рабочие давление и температуру процесса, можно регулировать характеристики пористости, размеры кусков, их механическую прочность и выход летучих веществ. Определены параметры устойчивого протекания процесса высокоскоростного пиролиза в непрерывном режиме, обеспечивающие выработку газа до 1650 м³ и кокса до 3 т в сутки, при средней энергетической эффективности процесса 92%.

7. Получен полукокс из кумбельского каменного угля марки Д. Он имеет высокую структурную прочность (68,1-76,2%) и термическую стойкость (79,7-81,3%). Характерной особенностью данного продукта является развитая пористая структура, низкий выход летучих веществ ($V^{daf} = 2,59-3,18\%$), высокие калорийность ($Q^{daf} = 31,8-33,43$ МДж/кг), реакционная способность и удельное электрическое сопротивление, а так же незначительное содержание вредных примесей. По этим параметрам полукокс соответствует требованиям, предъявляемым к углеродистым восстановителям в металлургии кремния.

8. Разработаны: автоматизированный энерготехнологический комплекс, экологически безопасная и энергоэффективная безотходная технология комбинированного производства полукокса и горючего газа из низкосортных углей, что позволяет осуществлять выпуск сортового угля, а мелкие классы угля (отсев) перерабатывать в полукокс, электрическую и тепловую энергию.

Работа была удостоена премии Министерства образования и науки Кыргызской Республики в 2011 году в области науки и техники и премии Госагенства по интеллектуальной собственности и авторского права КР.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Асанов Э.А. К вопросу повышения эффективности работы источников автономного энергоснабжения [Текст] / Э.А. Асанов, А.А. Асанов, А.К. Акматов, А.Ж. Бердибаев // Материалы международной научно-технической конференции «Интерстроймех- 2009». – Бишкек, 2009. – С. 293 – 296.

2. Асанов Э.А. Газификация угля – путь к альтернативным источникам энергии [Текст] / Э.А. Асанов, П.И.Пахомов // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2009. – №3(25). – С. 36-38.

3. Асанов Э.А. Особенности технологических процессов термической переработки и газификации угля [Текст] / Э.А. Асанов // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2010.- №4.- С.263-267.

4. Асанов Э.А. К повышению эффективности термической и термохимической переработки угля [Текст] / Э.А. Асанов // Материалы второй Международной научно-технической конференции молодых ученых, студентов и учащихся «Наука - 2030». – Алматы, Казахстан, 2010. – С. 199-201.

5. Асанов Э.А. Предпосылки для разработки технологии выплавки кремния с использованием отходов собственного производства [Текст] / Э.А. Асанов, Т.Б. Клычбаев, Б.А. Шаршенов // Интернет- журнал ВАК КР.№4.- Бишкек, 2011.

6. Асанов Э.А. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на работу шнекового реактора [Текст] / Э.А. Асанов // Инженер, Бишкек, 2012. – С. 62 – 64.

7. Асанов Э.А. Разработка системы автоматической стабилизации подачи угля в шнековый газогенератор с гидрообъемным приводом [Текст] / Э.А.Асанов, А.П. Муслимов // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : «Механики XXI века». – Братск: ФГБОУ ВПО «БрГУ» РФ, 2012. – С .122-124.

8. Асанов Э.А. Обеспечение стабильности параметров технологического режима пиролиза угля в шнековом реакторе [Текст] / Э.А.Асанов, А.П. Муслимов // Вестник КРСУ. – Бишкек, 2012. – Том 12, № 10. – С. 56-60.

9. Способ непрерывного получения полукокса и устройство для его осуществления [Текст]: пат. 1217 Кыргызская Республика: МПК⁵¹ С 10 В 49/02/ Э.А.Асанов, А.А.Асанов, А.К.Акматов, И.О.Фролов, В.И.Коган; заявл. 28.11.2008; опубл. 30.01.2010, Бюл.№1– 37 с.

10. Способ получения полукокса [Текст]: пат.1262 Кыргызская Республика: МПК⁵¹ С 10 В 49/02/ Э.А.Асанов, А.А.Асанов, Т.Б. Клычбаев; заявл.29.05.2009; опубл. 30.06.2010, Бюл.№6 – 14с.

11. Способ переработки мелкозернистого и пылевидного угля в газообразное топливо и устройство для его реализации [Текст]: пат. 1430 Кыргызская Республика: МПК⁵¹ С 10 В 49/22/ Э.А.Асанов, А.А.Асанов, Э.Б.Молдобаев, Б.Т.Мекенбаев; заявл. 30.05.2011; опубл. 30.03.2012, Бюл.№3 – 18 с.

12. Асанов Э.А. Автоматическая стабилизация подачи угля в шнековом газогенераторе [Текст] / Э.А.Асанов // Горный журнал Казахстана №5. – Алматы, 2013.- С. 41-43.

КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Асанов Эржан Арстанбековичтин «Жергиликтүү көмүрлөрдү тынымсыз пиролиздөө үчүн бириктирилген технологиясын жана автоматташтырылган түзүлүштөрдү иштеп чыгуу» деген аталыштагы 05.13.06 – технологиялык процесстерди жана өндүрүштөрдү автоматташтыруу жана башкаруу адистиги боюнча техникалык илимдеринин кандидаты даражасына талапкерлик жумуш

Ачкыч сөздөр: технология, автоматташтыруу, жабдык, пиролиз, көмүр, кокс азыгы, күйүүчү газ, гидропривод, регулятор, башкаруу системасы.

Изилдөө объектиси: кыргызстандагы жергиликтүү кендердин көмүрлөрүн пиролиздөө процесстери жана технологиялык автоматташтырылган жабдыктар.

Ишмаксаты: көмүрлөрдү газдаштыруу жана тынымсыз пиролиздөө бириктирилген технологиясын жана автоматташтырылган түзүлүштөрдү иштеп чыгаруу.

Изилдөө ыкмасы жана аппаратурасы: гидроэлементтердин автоматташтырылган башкаруу системалары, механиканын жана жылуулук физиканын жоболоруна негиздилген, андан башка азыркы кездеги жылуулук физиканын ыкмаларына жана иштеп чыккан эксперименталдуу түзүлүштөрдү колдонуу менен лабораториялык жана натурдук эксперименттерге таянган.

Алынган жыйынтыктар жана алардын жанылыгы – көмүрдү иштетүүчү жаны технологиялык автоматташтырылган шнек түрүндөгү түзүлүштөр сунуш кылынган, түрдүү үйлөө варианттарын колдонуу менен шнек түзүлүштөрдүн рационалдуу параметрлери аныкталган жана тандалып алынган, алар процесстин тынымсыздыгы менен жана ага ылайыктуу, жогорулатылган өндүрүмдүүлүгү менен айырмаланат. Көмүрдү шнек реакторуна бир калыпта узатууда тетири гидравликалык байланышы бар автоматташтырылган система колдонулган, ал жөнөкөйлүгү, күчтөтүү элементтерди талап кылбаган жана жакшы статикалык жана динамикалык сапаттарды камсыз кылган мүнөздөмөлөрү менен айырмаланат.

Колдонууга сунуштар: көмүрдү иштетүүчү технологияны долборлоо жана түрдүү ишканаларда колдонуу үчүн автоматташтырылган шнек түрүндөгү көмүрдү тынымсыз пиролиздөөгө колдонуучу түзүлүштүн параметрлерин эсептөөчүү ыкма иштелип чыккан. Көмүрдү тынымсыз пиролиздөө үчүн колдонуучу түзүлүштөрдүн эксперименталдуу үлгүлөрү жасалып жана практикада колдонуу үчүн ал жакка өткөрүлүп берилген.

Колдонуу аймагы: изилдөөнүн жыйынтыктарын көмүр өндүрүү тармагында, металлургияда жана жылуулук энергетикасында колдонууга болот.

РЕЗЮМЕ

диссертации Асанова Эржана Арстанбековича на тему: «Разработка комбинированной технологии и автоматизированного оборудования для непрерывного пиролиза местных углей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 05.13.06 – автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Ключевые слова: технология, автоматизация, оборудование, пиролиз, уголь, коксовый продукт, горючий газ, гидропривод, регулятор, система управления.

Объект исследований. Технологические автоматизированные установки и процессы пиролиза углей местных месторождений Кыргызстана.

Цель работы: разработка комбинированной технологии и автоматизированных устройств для непрерывного пиролиза и газификации углей.

Методы исследований и аппаратура: основаны на положениях механики и теплофизики, систем автоматизированного управления гидравлическими системами, а также на использовании лабораторного и натурального эксперимента с применением современных теплофизических методов и разработанных опытно – экспериментальных установок.

Полученные результаты и их новизна. Предложены новые технологические автоматизированные установки шнекового типа для переработки угля, обоснованы и выбраны рациональные параметры шнековых установок с использованием различных вариантов дутья, показаны возможности реализации на их основе разных способов получения коксовых продуктов и горючего газа, отличающихся непрерывностью процесса и, соответственно, повышенной производительностью. Реализована автоматическая система с обратной гидравлической связью стабилизации подачи угля шнекового реактора отличающейся простотой, не требующая усилительных элементов и обеспечивающая хорошие статические и динамические качества ее характеристик.

Рекомендации по использованию: разработанная методика расчета параметров автоматизированных шнековых установок непрерывного пиролиза предназначена для использования в проектных и конструкторских организациях при проектировании технологических линий по переработке местных углей; созданы опытно-экспериментальные образцы установок непрерывного пиролиза углей и переданы для использования на практике.

Область применения: угольная промышленность, металлургия, теплоэнергетика.

SUMMARY

**to dissertation of Asanov Erzhan Arstanbekovich on the subject:
"Development of the combined technology and automated equipment for
continuous pyrolysis of local coals". Thesis presented on competition of
degree of candidate of technical sciences on specialty: 05.13.06 - Automation
and management of technological processes and productions.**

Keywords: technology, automation, equipment, pyrolysis, coal, coke product, combustible gas, hydraulic drive, regulating device, control system.

The object of research: automated technological installations and coal pyrolysis of local deposits of Kyrgyzstan.

Objective: development of a combined technology and automated devices for continuous pyrolysis and gasification of coal.

Methods of researches and equipment: are based on positions of mechanics and thermo physics, automated management of hydraulic systems, and also on use of laboratory and natural experiment with application modern thermo physical methods and developed experimental installations.

The results obtained and their novelty: the new technological automated installations of screw (auger) type for coal processing are offered, rational parametres of screw (auger) installations with use of various variants of blasting are proved and chosen, realisation of possibilities on their basis of different ways of reception coke products and the combustible gas, differing with continuity of process, accordingly, the increased productivity are shown. Implemented automatic feedback system hydraulic coupling stabilize coal feed screw (auger) reactor is simple, requiring no reinforcements and provides excellent static and dynamic quality of its performance.

Recommendations for use: the method of calculating the parameters of automated screw(auger) continuous pyrolysis plant is designed for use in the design and engineering companies in the design of production lines for processing of local coal, an experimental prototype samples of plants of continuous pyrolysis of coal and delivered for use in practice.

Scope: results of work can be used in coal mining, metallurgy and heat power industry.

Подписано к печати
Формат 60x84 1/16. Объем 1,5 уч.-изд.л.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 150 экз. заказ №
