

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

В.И. Котельников, В.Я. Федянин, А.В. Баринов, Е.А. Рязанова

Приведены результаты исследований и испытаний малогабаритных установок для получения экологически безопасных топлив из ископаемого угля. Предложены системы топливоснабжения объектов малой энергетики на основе подбора оптимальных весовых соотношений исходного сырья и обработки угля в термически нагруженном слое.

Ключевые слова: термически нагруженный слой, пиролиз ископаемых углей, обеспечение объектов малой энергетики экологически чистым топливом.

ВВЕДЕНИЕ

По данным Министерства энергетики Республики Тыва на 90% территории республики используются децентрализованные источники электроснабжения. Теплоэлектро-снабжение населенных пунктов Республики Тыва осуществляется за счет привозного жидкого топлива и каменного угля. На этих удаленных территориях проживает более 70% населения. 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 сжигании каменного угля без предварительной подготовки [1, 5].

В целях экономии топлива, снижения нагрузки на окружающую среду и повышения эффективности работы многочисленных разрозненных теплоснабжающих предприятий необходимо изменение принципов и структуры хозяйственного управления теплоснабжением и тепловым хозяйством в регионе. Основными направлениями совершенствования и развития систем теплоснабжения являются оптимизация соотношения централизованных и автономных источников тепла, совершенствование схем и оборудования систем теплоснабжения, снижение участия государства в финансировании теплоснабжения бытового сектора, повсеместное регулирование систем отопления, оснащение их приборами учета.

Резко континентальный климат и географические условия – расположение населенных пунктов республики в межгорных котловинах – в отопительный период способствуют образованию своеобразной «инверсионной крышки», препятствующей перемеши-

ванию воздушных масс и очищению воздуха. Отсутствие в этот период интенсивной циркуляции в приземном слое приводят к сильному загрязнению атмосферного воздуха продуктами неполного сгорания углей. По данным исследований концентрация загрязняющих веществ в зимний период в подавляющем большинстве районов и в городе Кызыле обуславливается, в первую очередь, выбросами отопительных печей многоквартирных зданий (рисунок 1).

Опасность выбросов частных печей усугубляется еще и тем, что многие загрязняющие вещества, как правило, сорбируются на поверхности сажевых частиц размерами 5 мкм и менее, являющихся респираторными [1]. При этом концентрация канцерогенных ПАУ, сорбированных на поверхности частиц, превышает ПДК в сотни раз.



Рисунок 1 - Инверсионная «крышка» над г. Кызылом

Увеличение потребления ископаемых углей с использованием традиционных энергетических технологий будет сопровождаться

ростом экологической нагрузки на окружающую среду, поскольку при сжигании и переработке угля образуется больше вредных побочных продуктов по сравнению с нефтью и газом. Снижение вредных выбросов в атмосферу, охрана окружающей среды, рациональное использование энергетических ресурсов – одна из важнейших социальных и экономических проблем.

Известно, что на территории Республики Тыва разведанные балансовые запасы углей составляют более одного миллиарда тонн, а прогнозные ресурсы – более 20 млрд. т. Основное применение угля в настоящее время – энергетическое. Разработка месторождений ведется открытым способом (разрезы «Каа-Хемский», «Чаданский») [2, 3].

Эти природные богатства могут явиться основой устойчивого экономического развития народного хозяйства республики. Предварительная технологическая обработка угля в настоящее время отсутствует. Из-за большого содержания «летучих» (неконденсируемые газы, каменноугольная смола) и склонности к спеканию слоевое горение тувинских углей в котлоагрегатах сопровождается высоким химическим недожогом.

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 рядово-

го угля.

Разработка месторождений и эффективная переработка коксующихся углей в продукцию, необходимую как для обеспечения собственных энергетических предприятий республики, так и для удовлетворения потребностей в ТЭР других регионах страны, способны оказать существенное влияние на социально-экономическое развитие Республики Тыва.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ИСПЫТАНИЕ УСТРОЙСТВА НЕПРЕРЫВНОГО ПИРОЛИЗА УГЛЯ В ТЕРМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОМ СЛОЕ

Тувинские угли марки Г, ГЖ газифицируются с высоким выходом газовых продуктов. Однако, кокс, получаемый из этих углей, имеет недостаточную механическую прочность, что ограничивает применение данного угля для замещения выбывающих месторождений. Улучшение прочностных характеристик кокса возможно при проведении процесса коксования при повышенных давлениях с возможностью деструкции газовой составляющей на образующемся коксе как катализаторе этого процесса.

Установка для термохимической переработки тувинских углей должна обеспечивать проведение процесса коксования в различных управляемых условиях, что требует обеспечения возможности регулирования температуры, скорости подачи сырья и давления. Кроме того, необходимо обеспечить возможность подачи необходимых реагентов как в реактор, так и в бункер для предварительной подготовки угля. Схема установки приведена на рисунке 2 [4].

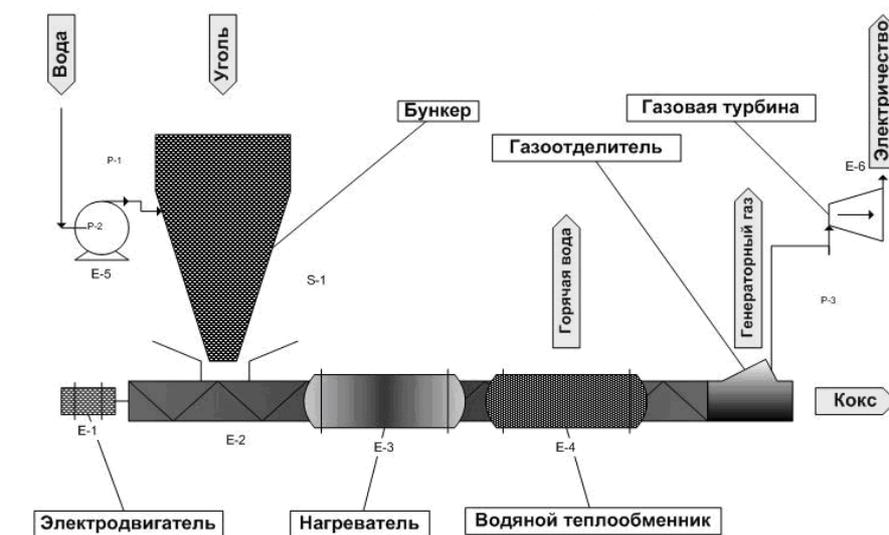


Рисунок 2 –
Схема опытной
установки пиролиза
каменного угля

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 термолитиза угля используются для его прогрева, за счет чего снижается себестоимость кокса и исключаются вредные выбросы в атмосферу. После формования коксового 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. Излишки тепла могут быть использованы для обогрева производственных помещений комплекса или для продажи потребителям.

Основные соотношения для расчета параметров установки

Пространственно-временное распределение температурного поля может быть рассчитано по уравнению:

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

где $\Theta = (T_n - T) / (T_n - T_0)$ – безразмерная температура определяется безразмерной координатой $x = r / R$, числом Био $Bi = aR / \lambda$ и числом Фурье $Fo = at / R^2$. Здесь R – наружный радиус винтового конвейера; λ , a – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности нагреваемого вещества; α – коэффициент теплоотдачи поверхности нагревателя. m_n – корни характеристического уравнения $m \frac{J_1(m)}{J_0(m)} = Bi$; $J_0(\mu)$, $J_1(\mu)$ – функции

Бесселя первого рода нулевого и первого порядка);

$$A(m_n) = \frac{2J_1(m_n)}{m_n [J_0^2(m_n) + J_1^2(m_n)]};$$

$$U(m_n, x) = J_0\left(m_n \frac{r}{R}\right)$$

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 θ_0 на оси цилиндра $r=0$ описывается формулой

$$\Theta_0 = N(Bi) \exp(-m_1^2 Fo), \quad (2)$$

а температура на поверхности

$$\Theta_n = P(Bi) \exp(-m_1^2 Fo). \quad (3)$$

Значения $N(Bi)$, $P(Bi)$, m_1^2 табулированы. При $Bi > 100$ температура поверхности в течение всего времени нагрева равна температуре нагревателя и $N=1,606$, $P=0$, $m_1^2=5,787$.

Количество теплоты, поглощаемой за время τ , в расчете на единицу длины цилиндра равно

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

где ρ – насыпная плотность нагреваемого материала, c – удельная теплоемкость.

$$\bar{\Theta} = M(Bi) \exp(-m_1^2 Fo). \quad (5)$$

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

Для конвейера, расположенного параллельно поверхности Земли производительность определяется выражением:

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

где R – наружный радиус винта, м; s – шаг винта, м; число оборотов винта, об/мин; ψ – 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 $K_1 = 3,0 - 3,2$.

Мощность электродвигателя:

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

где η – 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 опытной установки
ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/1 2012

Показатели	Значения
Производительность по коксу, кг/сут	3000
Производительность по газу, м ³ /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 определяется следующим образом: (теплота сгорания полученного газа + теплота сгорания кокса) / (теплота сгорания угля + затраченная электроэнергия)*

Разработанные технология и опытная установка позволяют получать различные углеродные материалы путем изменения параметров технологического процесса.

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ТОПЛИВА ИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ

Уголь является сложным органическим соединением. При попадании в топку угольная частица претерпевает комплекс термохимических превращений, в результате которых происходит выделение газообразных и жидких летучих веществ, разложение углеводородных компонентов летучих продуктов с образованием сажистого углерода, образование твердых продуктов пиролиза. Таким образом, при использовании угля в топке практически происходит сжигание трех видов топлива: газообразного, жидкого и твердого. Свойства и состав летучих и твердых продуктов пиролиза угля в значительной степени определяют эффективность топочных процессов, длительность процесса горения, расход воздуха и динамику его подачи в топку, динамику нагрузки на газоотводящий тракт, количество и состав пылегазовых выбросов.

Интенсивность газовой выделенной при пиролизе угольных частиц марки Г в 2-3 раза выше, чем при пиролизе угольных частиц марок Т или СС. При высоких скоростях газов пиролиза и наличии в топливе мелких частиц они подхватываются потоком газов и выносятся из рабочего пространства топки. Кроме этого, летучие продукты, выделяющиеся из углей, обладающих спекающими свойствами, характеризуются высоким содержанием углеводородных компонентов, разлагающихся с образованием низкорекреационной сажи, которая не успевает сгореть и также выносятся из

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/1 2012

рабочего пространства топки. При воспламенении частиц углей марки Г наблюдался взрывной характер процесса с разбрасыванием газовых струй, твердых и жидких выбросов.

Отмечается также взрывной характер выхода газов при сгорании частиц угля марки Ж, что связано еще и с образованием пластической массы, препятствующей газовой выделению из частицы и способствующей увеличению давления газов.

Увеличение выноса и размера выносимых из топки угольных частиц при повышении выхода летучих веществ в угле неоднократно подтверждалось на практике. ЦКТИ им. И.И. Ползунова в процессе испытаний установлено, что в топках с механическими забрасывателями при сжигании углей с высоким выходом летучих веществ марок Г, Д, ПЖ максимальный размер выносимых частиц из топки в 3 раза выше, чем для углей с более низким выходом летучих веществ марок Т, ПС, и в 7-10 раз выше, чем для антрацитов. Интенсивно выделяющиеся газы в маленьких топках могут также не сгореть полностью, что обуславливает наличие в выбросах котельных газообразных продуктов неполного сгорания – оксида углерода, метана и других углеводородов, включая ароматические, например, бензапирен.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что смесь угля марок Г (ГЖ,Ж) и ДОК в соотношении 20:80 оптимально снижает выброс высокомолекулярных соединений при сжигании ее в бытовых печах. Уголь марок Г, ГЖ и Ж используется в качестве связующего для формирования кусков топлива и оптимизации структуры топлива. Технология производства бытового топлива основывается на разработанном специальном составе шихты. Уголь марки Ок смешивается в определенной пропорции с углем марки Ж и стабилизаторами. Далее смесь направляется в установку низкотемпературного пиролиза для пластификации и формирования топливного куска. Затем полученное топливо расфасовывается в пакеты для обеспечения его сохранности и чистоты при использовании. Фотографии установки для дозирования угля и получаемые пакеты экологически безопасного угольного топлива приведены на рисунках 3 и 4.

Внедрение технологии производства бытового топлива, замещающего каменный уголь для использования в бытовых печах,

можно провести быстро и с небольшими начальными инвестициями.



Рисунок 3 –
Фотография
установки для
дозирования
угольного
топлива



Рисунок 4 -
Фотография
пакета
бытового
экологически
безопасного
топлива

ВЫВОДЫ

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

2. 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.

3. Исследования и испытания опытной установки показали, что возможно управле-

ние свойствами получаемых продуктов. Изменяя рабочие давление и температуру процесса, состав исходной шихты, можно регулировать характеристики пористости, размеры кусков, их механическую прочность, выход летучих. В экспериментах 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М.П.Куликова, В.И. Котельников. Перспективы использования и потенциал каменных углей Улуг-Хемского бассейна. Уголь, № 11.-2011.-С.41-43.

2. Монгуш Г.Р., Котельников В.И. Рациональное использование невозобновляемых источников сырья Республики Тыва. Ресурсная экономика, изменение климата и рациональное природопользование (REECC-2011): сборник материалов II международной конференции 4-9 июля 2011 г. / ред.кол.: Е.А.Ваганов и др. – Красноярск: ООО «Поликор», 2011. – 224 с. С 107-110

3. Монгуш Г.Р., Котельников В.И. Экологические и экономические аспекты глубокой переработки угля Тувы // Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/6106>

4. 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.

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

Котельников В.И.¹, к.т.н., зав. лабораторией

Федянин В.Я.², д.т.н., проф.,

e-mail: fedyanin054@mail.ru

Баринов А.В.¹, инженер

Рязанова Е.А.¹, инженер

¹ ФГБУН Тувинский Институт комплексных исследований природных ресурсов СО РАН

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул