УДК 620.92

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ГАЗОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ И ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРАХ

Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р.

Исследовательский центр проблем энергетики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанского научного центра РАН, Казань, Россия

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ № 12-08-97055).

АННОТАЦИЯ

В статье проведен анализ литературных данных, связанных с использованием водоугольного топлива (ВУТ) как источника экологически чистой энергии. Описаны состав и свойства ВУТ, основные направления применения в энергетике, преимущества и недостатки использования суспензионных технологий, мировые разработки по преобразованию ВУТ в различные продукты химической промышленности, а также исследования по повышению эффективности газификации твердых топлив. Рассмотрены возможности использования технологии газификации применительно к малой автономной энергетике, для которой характерны наиболее простые способы, обеспечивающие компактность технологической схемы, такие как газификация на воздушном дутье. Произведены расчеты состава и теплотворной способности генераторного газа, полученного при воздушной газификации угольной пыли и водоугольного топлива с содержанием угля 60% по массе. Проведен анализ влияния температуры и давления на свойства генераторного газа. Выявлено, что при температуре до 1400 К теплотворная способность генераторного газа, полученного при газификации ВУТ выше, чем для угольной пыли. Причем повышение давления не приводит к увеличению теплотворной способности газа в обоих случаях.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы Россия занимает лидирующие позиции по запасам и объемам добычи сырой нефти, природного газа и энергетического угля. В общем объеме потребления нефти и газа в странах Европы на российскую продукцию приходится 30%.

Однако запасы нефти и природного газа стремительно сокращаются, наблюдается высокая степень износа основных фондов (в газовой промышленности – 60%, в нефтеперерабатывающей промышленности – 80%) и монозависимость российской экономики и энергетики от природного газа, доля внутреннего потребления которого составляет более 53%. В связи с этим прогнозируется изменение топливно-энергетического баланса в пользу угольной составляющей.

Российский энергетический сектор является крупнейшим источником загрязнения окружающей среды. На его долю приходится более половины выбросов, загрязняющих атмосферу и более 20% сброса загрязненных сточных вод. В связи с этим необходима модернизация существующих технологий производства энергии.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года предусматривает развитие угольной энергетики на базе новых экологически чистых технологий использования угля, одной из которых является газификация водоугольного топлива с последующим сжиганием генераторного газа.

В настоящее время созданы научные основы и разработаны технологии и комплекс оборудования для производства и использования водоугольного топлива [1].

При этом существует необходимость выявления режимных параметров, при которых

теплотворная способность генераторного газа, полученного при газификации водоугольного топлива, будет выше, чем для угольной пыли. Стоит также учитывать применимость технологий газификации к малой автономной энергетике, для которой характерны компактность технологической схемы и доступность используемого сырья по цене и условиям поставки. В наибольшей мере соответствует этим требованиям газификация на воздушном дутье.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВУТ

ВУТ представляет собой дисперсную систему, состоящую из 40-70% угля крупностью до 200 (500) мкм, 30-60% воды и менее 1% реагента-пластификатора; имеет температуру воспламенения 450-650 ºС, температуру горения 950-1050 ºС, низшую теплоту сгорания 2000-4800 ккал/кг, которая зависит от марки угля, зольности и влажности; обладает всеми технологическими свойствами жидкого топлива – возможность транспортирования в авто- и железнодорожных цистернах, по трубопроводам, хранение в топливных резервуарах; устойчиво при хранении, взрыво- и пожаробезопасно [2].

Для производства ВУТ могут использоваться низкосортные высокозольные угли, а также часть их может заменяться отходами углеобогатительных фабрик, в количестве 15% от общего содержания твердой фазы. Данная технология, разрабатываемая американскими учеными, может решить проблему загрязнения грунтовых вод минеральными отходами от добычи угля, что сохранит площади, заранее зарезервированные под сточные пруды. Суспензионное топливо, произведенное таким образом, может иметь требуемые характеристики для сжигания по своему химическому составу, степени окисления, распределения частиц по размерам и содержания влаги [3].

Основными целями использования ВУТ являются: замена мазута в энергетических агрегатах, транспортирование на дальние расстояния по трубопроводам, применение в двигателях внутреннего сгорания и в газогенераторах, замена угля в тепловых котельных.

Существенными недостатками ВУТ являются большое содержание влаги и зависимость вязкости от содержания твердой фазы. На вязкость влияют степень гидрофобности угля и количество в нем минеральных примесей. Ее существенно можно снизить применением дисперсантов и стабилизаторов, а также подбором гранулометрического состава угольных частиц.

Использование угля в виде суспензии исключает пыление и окисление при транспортировке и хранении, значительно снижая потери и загрязнение местности.

Технологические свойства водоугольных суспензий определяются следующими свойствами:

- содержанием твердой фазы;
- дисперсностью твердой фазы;
- вязкостью и ее зависимостью от скорости и температуры транспортировки;
- динамической и статической стабильностью;
- составом и свойствами ПАВ;
- содержанием и составом минеральных примесей.

Значительной экономической составляющей при использовании суспензионных технологий являются затраты на модернизацию существующих установок. Необходимость ее заключается в том, что ВУТ имеет высокую абразивность, более низкую воспламеняемость и скорость горения.

Одним из наиболее рациональных и перспективных направлений использования водоугольного топлива является предварительная газификация суспензии с последующим сжиганием генераторного газа в газотурбинных установках и реализация избыточной тепловой энергии газогенератора в виде перегретого пара в паровой турбине [4].

Данная технология использования угля способна обеспечить экономическую и экологическую конкурентоспособность по сравнению с нефтью и природным газом.

Также необходимо принять во внимание экологический аспект использования ВУТ. Количество образующихся серо- и азотсодержащих веществ зависит от температуры процесса, а следовательно и от способа газификации. Установлено, что получаемый генераторный газ в большом количестве содержит сероводород, конверсия которого в товарную серу – технологически отработанная операция. Зольные частицы, которые могут присутствовать в генераторном газе, легко

© Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р.

улавливаются золоуловителями. Количество других вредных веществ, образующихся при газификации водоугольного топлива и сжигании генераторного газа, значительно ниже нормативных [5].

Технология использования ВУТ в газогенераторах позволяет подавать суспензию в реактор насосами высокого давления, что делает процесс загрузки непрерывным. Часть воды в составе ВУТ расходуется на образование водорода и оксида углерода, что исключает затраты энергии на ее испарение при прямом сжигании.

В газогенераторах значительно меньше деталей, которые могут подвергаться износу из-за абразивности топлива, возможность регулирования температуры и давления обеспечивает полноту конверсии в горючий газ, очистка которого от частиц золы, оксидов серы и азота значительно упрощена по сравнению с очисткой продуктов сгорания.

Сжигание генераторного газа не требует значительной модернизации оборудования, а использование его тепла в паровых турбинах обеспечивает наиболее рациональную утилизацию энергии сжигаемого угля [4].

В мире проводятся широкомасштабные исследования по каталитическому преобразованию синтез газа, полученного при газификации, в различные продукты, такие как углеводороды, спирты, эфирные топлива и различные химические вещества. Главными факторами развития газификации угля в мире являются большие объемы разведанных запасов, низкие затраты энергии на проведение процесса, широкая адаптивность и экологичность.

Одним из наиболее важных процессов превращения синтез-газа в различные химические вещества является синтез Фишера-Тропша. Каталитический процесс получения смеси спиртов из синтез-газа является одним из самых сложных привлекательных процессов в углеродной химии. В результате смесь спиртов может быть использована как в качестве топлива, топливных добавок для улучшения октанового или цетанового числа, так и в виде промежуточного продукта при производстве химических веществ.

В процессе каталитического превращения синтез-газа может быть получен диметиловый эфир, который может служить альтернативой сжиженному нефтяному газу и дизельному топливу. [6]

В мире проводятся многочисленные исследования, связанные с повышением эффективности газификации водоугольного суспензионного топлива. Наибольшее распространение получили системы комбинированного цикла с интегрированной газификацией (IGCC). Данная технология позволяет увеличить КПД электростанции на 20% и снизить количество вредных выбросов в атмосферу в 2-3 раза по сравнению с традиционным сжиганием угля. Система IGCC может быть также дополнена улавливанием и хранением углекислого газа (CCS), которое включает в себя выделение, улавливание, транспортировку и хранение углекислого газа (CO_2), образующегося при использовании угля; сохранение CO_2 осуществляется в глубинных геологических формациях, откуда он не может попасть в атмосферу.

Для полноты процесса газификации и снижения расхода кислорода учеными разработана технология предварительного подогрева ВУТ, которая обеспечивает испарение влаги из суспензионного топлива и распыление сухих неслипшихся частиц угля в газогенераторе, что обеспечивает повышенную энергетическую эффективность [7].

РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Для определения состава генераторного газа, полученного при газификации угольной пыли и водоугольного топлива использовался программный комплекс «Astra 4», который позволяет использовать термодинамический метод для изучения большого числа разнообразных высокотемпературных процессов, в том числе и анализ энергетических возможностей высокотемпературной комплексной переработки минерального сырья и природных ресурсов. Расчет проводился при давлении 0.1, 1 и 2 МПа в температурном диапазоне 973-1973 К с шагом в 200 К. В качестве топлива рассматривались угольная пыль Ирша-Бородинского месторождения и водоугольное топливо на основе того же угля с содержанием твердой фазы 60 % по массе. По расчетному составу генераторного газа была определена его теплотворная способность:

$$Q = Q_{CO} \cdot \nu_{CO} + Q_{H_2} \cdot \nu_{H_2} + Q_{CH_4} \cdot \nu_{CH_4} + Q_{H_2S} \cdot \nu_{H_2S} ,$$

где $Q_{co}, Q_{H_2}, Q_{CH_4}, Q_{H_2S}$ - низшая теплота сгорания соответственно оксида углерода, водорода, метана, сероводорода, кДж/м^3; $\nu_{CO}, \nu_{H_2}, \nu_{CH_4}, \nu_{H_2S}$ - содержание горючих компонентов в генераторном газе соответственно оксида углерода, водорода, метана, сероводорода. По полученным данным был построен график зависимости теплотворной способности генераторного газа от температуры при различном давлении.

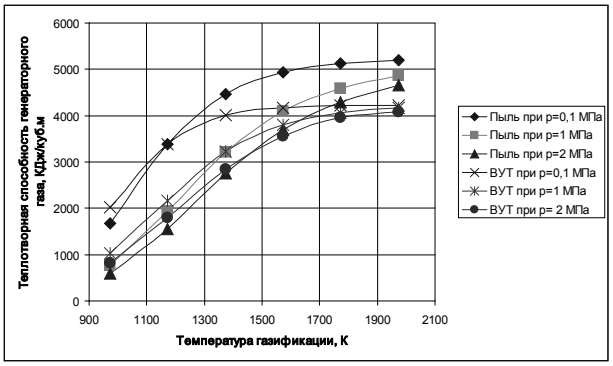

Рис.1 Зависимость теплотворной способности генераторного газа от температуры.

ВЫВОДЫ

Проанализировав полученные данные можно сделать следующие выводы:

- при температуре до 1400 К теплотворная способность генераторного газа, полученного при газификации ВУТ выше, чем для угольной пыли;
- повышение температуры ведет к увеличению теплотворной способности газа;
- повышение давления газификации на воздушном дутье не ведет к увеличению теплотворной способности (количество горючих компонентов газа снижается);
- повышение температуры и давления ведет к снижению содержания в газе метана и сероводорода, которые обладают наибольшей теплотворной способностью.

Таким образом, газификация водоугольного топлива на воздушном дутье может быть применена на объектах малой автономной энергетики, так как данная технология соответствует требованиям компактности, экономичности, а режимные параметры (низкие температуры и атмосферное давление) могут обеспечить безопасность технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России до 2030 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy/
2. Вихревая технология сжигания водоугольного топлива / Н.В. Журавлева, В.И. Мурко, В.И. Федяев [и др.] // Экология и промышленность России. – 2009. – №1. – С.6-9.

   Zhuravleva, N.V., Murko, V.I. and Fedyaev, V.I. (2009). *Vikhrevaya tekhnologiya szhiganiya vodougolnogo topliva* [The vortex technology combustion of coal-water fuel], Ecology and Industry of Russia, Moskow, Russia.
3. Houshang, M. and Surender, S. (1996) Combustion analysis of coal-water slurry fuel prepared from plant coal and recovered coal fines. Conference Proceedings: Joint Power and Fuel Systems Contractor Review Meeting, July 9-11.
4. Ходаков, Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике / Г.С. Ходаков // Теплоэнергетика. – 2007. – №1. – С. 35-45.

   Khodakov, G.S. (2007). *Vodougolnye suspenzii v energetike* [Coal-water slurry in the power engineering], Teploenergetika, Moskow, Russia.
5. Экологическая характеристика процесса газификации ВУТ / В.А.Пинчук, Т.А.Шарабура, Б.Б.Потапов [и др.] // Металлургическая теплотехника. – 2009. – №1(16). – С. 144-149.

   Pinchuk, V.A., Sharabura, T.A. and Potapov B.B. *Ekologicheskaya kharakteristika protsessa gazifikatsii VUT* [The ecological characteristics of the gasification process of CWF], Metallurgicheskaya teplotekhnika, Dnepropetrovsk, Ukraine.
6. Wang, J. and Li Y. (2009). Coal to liquid fuels by gasification and the associated hot gas cleanup challenges, Chinese journal of catalysis, Vol.30, no.8, pp.770-775.
7. Jianyun, Z. and Zhe Z. (2013). Efficiency of wet feed IGCC system with coal-water slurry preheating vaporization technology, Energy, pp.1-9.

© Галькеева А.А., Мингалеева Г.Р.