

М. В. Хузеев, З. Г. Саттарова, В. И. Петров

ПАРОВАЯ КОНВЕРСИЯ ДРЕВЕСНОГО УГЛЯ С ПОЛУЧЕНИЕМ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА*Ключевые слова: генераторный газ, газификация, паровая конверсия древесного угля.**Исследовано влияние породы используемых древесных отходов, и температуры ведения процесса паровой конверсии древесного угля на состав образующегося генераторного газа. Определение оптимальных режимных параметров ведения процесса.**Keywords: generating gas, gasification, steam conversion of charcoal.**Influence of breed of used wood waste, and temperatures of conducting process of steam conversion of charcoal on composition of being formed generating gas is investigated. Determination of the optimal regime parameters of the process of doing.*

Одной из актуальных проблем современного мира является поиск возобновляемых источников энергии, которые могли бы составить достойную конкуренцию нефтяному топливу и природному газу, мировые запасы которых постепенно истощаются, а цены непрерывно растут.

Одним из таких источников можно рассматривать биомассу. Основную долю биомассы как топлива составляет древесина, весомым достоинством которой является низкое содержание серы и других вредных примесей в ее составе, а также воспроизводимость данного источника энергии. При правильном подходе к использованию лесных ресурсов мы получаем практически неисчерпаемый энергетический ресурс. На сегодняшний день биомасса - это четвертое по значению топливо в мире. Она обеспечивает до 15 % общемирового производства энергии и является самым динамично развивающимся сектором энергетики стран ЕС, США и Канады [1].

На предприятиях лесопромышленного комплекса ежегодно образуются миллионы тонн древесных отходов. Основной способ их утилизации на сегодняшний день - прямое сжигание с получением тепловой энергии. Перспективен и более эффективен метод газификации с получением генераторного газа, который может использоваться как для получения тепловой энергии, так и для производства продуктов химической промышленности. В химической промышленности используется синтез-газ - смесь водорода и окиси углерода - который является основным сырьем в производстве метанола, диметилового эфира, моторного топлива и других химических продуктов. Основным промышленным способом получения синтез-газа является паровая конверсия метана. Однако проведенные аналитические исследования показали, что генераторный газ, по составу максимально приближенный к синтез-газу, можно получить паровой конверсией древесного угля, осуществляемой через стадию пиролиза древесных отходов с последующей газификацией полученного древесного угля. Данное направление мало изучено, промышленных установок паровой конверсии древесного угля не существует. В связи с этим изучение процесса паровой конверсии древесного угля и разработка технологии получения

генераторного газа, пригодного для синтеза новых продуктов, является актуальной задачей.

В связи с этим авторами разработана и создана экспериментальная установка для исследования процессов, протекающих при паровой конверсии древесного угля, внешний вид которой представлен на рис. 1 [3].

Экспериментальный стенд состоит из реактора паровой конверсии древесного угля, парогенератора, нагревателя газов, газоанализатора и системы контроля параметров процесса.



Рис. 1 - Экспериментальный стенд для исследования процессов протекающих в восстановительной зоне реактора: 1 - газоанализатор; 2 - парогенератор; 3 - реактор; 4 - термопары; 5 - нагреватель газов

Процессы, протекающие при паровой конверсии древесного угля, чрезвычайно сложны и многообразны и зависят как от фракционного состава перерабатываемых древесных отходов, так и от режимных параметров процесса переработки.

Для изучения вопроса влияния породы используемых древесных отходов на выход основных компонентов синтез-газа, а именно CO и H₂ проведена серия экспериментов, результаты которых представлены рис. 2 и 3. В качестве образцов использовался древесный уголь, полученный из березы, дуба и сосны.

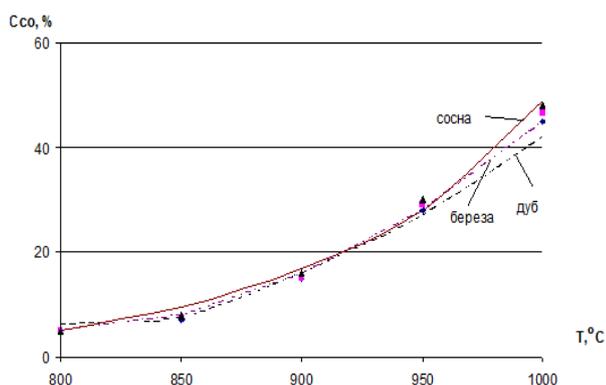


Рис. 2 - Зависимость образования CO от породы используемых древесных отходов

Анализ полученных кривых показывает, что порода используемых древесных отходов практически не влияет на количество CO и H₂, образующихся в процессе паровой конверсии.

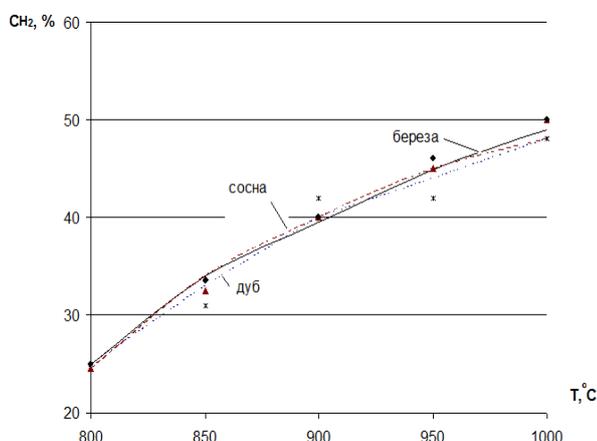
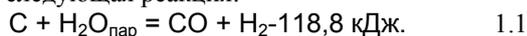


Рис. 3 - Зависимость образования H₂ от породы используемых древесных отходов

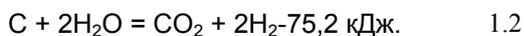
Взаимодействие водяного пара с древесным углем

По характеру температурных режимов протекающих реакций, реактор паровой конверсии древесного угля разделим условно на 3 участка [2].

На первом участке перегретый до 1000 °C водяной пар подается на поверхность раскаленного до 900 °C древесного угля. При контакте водяного пара с нагретым слоем древесного угля под действием высокой температуры (950 °C и выше) протекает следующая реакция:



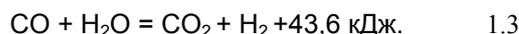
Поскольку реакция эндотермическая, происходит понижение температуры. При температуре от 900 до 950 °C протекает реакция:



Обе реакции эндотермичны и приводят к понижению температуры.

На втором участке наблюдается снижение скорости прохождения водяного пара через древес-

ный уголь за счет сопротивления слоя. Образованный ранее CO вступает в реакцию с парами воды, в результате чего образуется углекислый газ и водород:

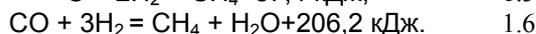
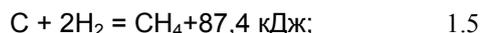


Также на этом участке начинается реакция восстановления углекислого газа:



Подробнее эту реакцию рассмотрим ниже.

На третьем участке водород, образованный в реакциях (1.1) – (1.3) взаимодействует с углем, образуя метан:



Температура в данной зоне порядка 800-850 °C. Содержание метана в газе, полученном из древесного угля, не превышает 1%.

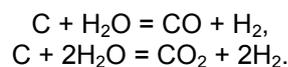
Также для обеспечения условий протекания данных реакций можно использовать катализаторы, повышающие выход CO и H₂ за счет понижения температуры реакции 600-700 °C.

Скорость протекания реакции (1.4) в два раза быстрее скорости протекания реакции (1.1).

Лимитирует реакционную зону наличие твердого углерода.

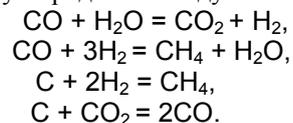
Для более полного описания восстановительных процессов, рассмотрим их на примере взаимодействия угольной частицы с парами воды и другими газами.

Взаимодействие угольной частицы с водяным паром происходит следующим образом. На раскаленную поверхность угольной частицы подается водяной пар. Глубину взаимодействия паров воды с углеродной частицей назовем Δh. На поверхности частицы начинают протекать следующие реакции:



Пары воды диффундируют на глубину Δh, обозначенную пунктирной линией, и в результате протекающих реакций образуются CO, H₂, CO₂. Продукты реакции выходят из пористой частицы путем диффузии, а также с массовым потоком газа, который возникает в результате гетерогенных реакций углерода с реакционными газами.

Образованные ранее продукты реакций (CO, H₂, CO₂) далее взаимодействуют в газовой фазе с парами воды, углеродом и между собой по реакциям:



По мере протекания данных химических реакций происходит убывание слоя вследствие реагирования частиц угля.

Из вышеуказанного следует, что основным фактором, влияющем на компонентный и количественный состав образующегося в реакторе генераторного газа, является температура процесса. В связи с этим были проведены исследования по определению зависимости образования H_2 , CO , CO_2 при взаимодействии водяного пара с древесным углем при разных температурах процесса (рис. 3). А в табл. 1 представлена цифровое значение полученных результатов.

Таблица 1 - Взаимодействие древесного угля с водяным паром

Температура, °С	Объемный состав газа, %			
	H_2	CO	CO_2	H_2O
674	8,41	0,063	3,84	87,12
758	22,80	2,67	9,23	65,82
838	32,77	7,96	12,11	47,15
861	36,48	11,01	13,13	39,18
954	44,43	32,70	5,66	17,21
1000	48,84	46,31	1,25	3,68

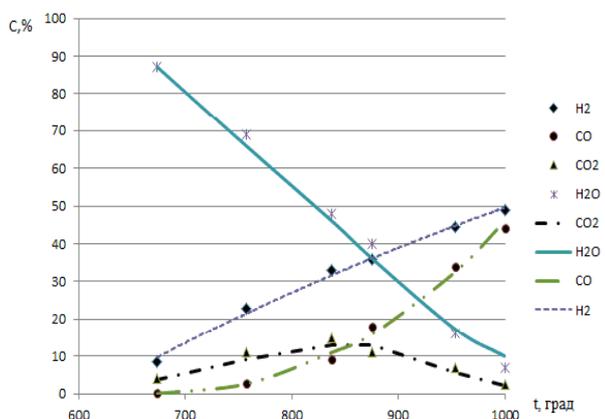


Рис. 3 - Зависимость реактирования водяного пара с древесным углем и выход H_2 , CO , CO_2 от температуры процесса

Как видно из рис. 3 и табл. 1 увеличение температуры положительно влияет на количество и качество образующегося генераторного газа. Наиболее приемлемый для ведения процесса паровой конверсии древесного угля температурный режим составляет от 950 °С и выше. При данных температурах в генераторном газе содержится максимальное количество CO и H_2 .

Варьируя температуру ведения процесса, можно получать генераторный газ требуемого состава, пригодного для синтеза из него новых продуктов химической промышленности.

Выводы

Таким образом, в данной статье приведены результаты исследований по влиянию породного состава древесных отходов и температуры на процесс паровой конверсии древесного угля.

По результатам проведенных экспериментальных исследований выявлено что:

- природа используемых древесных отходов практически не влияет на состав получаемого генераторного газа;
- для получения генераторного газа, пригодного для синтеза новых продуктов, целесообразно проводить паровую конверсию древесного угля рабочей температуры 950-1000°С

Литература

1. Саттарова З.Г. Совершенствование технологии переработки древесных отходов в генераторный газ / З.Г. Саттарова // Автореферат. – Казань, КГАУ, 2013. – 16с.
2. Саттарова З.Г. Совершенствование технологии переработки древесных отходов в генераторный газ Диссертация / З.Г. Саттарова // Диссертация. - Казань: КНИТУ 2013. – 228 с.
3. Тимербаев, Н.Ф. Исследование химических процессов, протекающих в восстановительной зоне реактора газификации древесных отходов (статья) / Н.Ф. Тимербаев, З.Г. Саттарова / Вестник Казанского технологического университета. - Казань: КГТУ 2012, №11, - С.76-79.

© М. В. Хузеев – д-р техн. наук, проф. каф. химии и технологии высокомолекулярных соединений КНИТУ; З. Г. Саттарова - канд. техн. наук, доц. каф. переработки древесных материалов КНИТУ, sattarova@list.ru; В. И. Петров – д-р техн. наук, проф. каф. оборудования химических заводов КГИТУ.