

УДК 547.721, 544.47

ПАРОВАЯ БЕСКИСЛОРОДНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ¹

Мажейко Н.Е., студент гр. ТЭБ-172, IV курс
Научный руководитель: Шевырёв С.А., к.т.н., доцент
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»
г. Кемерово

В настоящее время запасы угля во много раз превышают запасы газообразных и жидких углеводородов. Это позволяет рассматривать твердое топливо в качестве основного сырья для энергетической и химической промышленности в случае сокращения добычи газообразного и жидкого топлива.

Одним из перспективных способов использования каменного угля является термохимическая конверсия – газификация.

Газификация – это получение синтез-газа из твердого топлива при высокотемпературном нагреве с использованием различных газифицирующих агентов, например, водяного пара, воздуха, кислорода.

В процессе газификации можно получить CO и H₂ (целевые компоненты), которые являются первичным сырьем для получения различных химических веществ. Одним из методов для их получения является процесс Фишера – Тропша. Этот способ получения углеводородов предполагает использование в качестве исходных компонентов синтез-газ в виде H₂/CO при определенном соотношении.

Среди различных газифицирующих агентов перспективным является перегретый водяной пар, который также является и теплоносителем. При паровой бескислородной газификации можно получить различный состав газа при разном соотношении целевых компонентов в нем. При этом, с точки зрения тепломассообмена, наиболее предпочтительно использовать кипящий слой газифицируемого материала.

Цель данной работы – установить зависимость соотношения H₂/CO от температуры перегретого водяного пара для каменного угля.

Задача – провести экспериментальные исследования паровой бескислородной газификации угля марки «Д» в кипящем слое.

Эксперименты по паровой бескислородной газификации проводились с использованием каменного угля марки «Д». Рассев частиц осуществлен в соответствии с [1]. Для отсева частиц использовались сита 0,63; 1 мм и отбиралась соответствующая фракция. Технический анализ исследуемого угля [2-4] представлен в таблице 1.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-79-00012).

Таблица 1. Характеристики угля марки «Д»

Марка угля	A^a , %	W^a , %	V^a , %
«Д»	3,27	5,6	43,72

Исследования по паровой газификации проводились на экспериментальной установке (рисунок 1).

Пар из парогенератора 1 поступает в пароперегреватель, где смешивается с высокотемпературным паром, полученным при горении стехиометрической кислородно-водородной смеси.

Далее перегретый водяной пар поступает в газогенератор 2, в котором создается псевдоожиженный слой и проходит процесс газификации. Затем синтез-газ поступает в холодильник 3, после через гидрозатвор и фильтр грубой очистки следует одновременно в перистальтический насос 5 и в барабанный счетчик 4.

Перистальтический насос подает газ через фильтр тонкой очистки в поточный газоанализатор 6. В газоанализаторе происходит измерение концентрации компонентов H_2 до 100%, CO до 50%, O_2 до 21%, CO_2 до 100%, CH_4 до 20% с погрешностью измерений не более 5%.



Рис. 1 Схема экспериментальной установки

- 1 – парогенератор; 2 – газогенератор; 3 – холодильник; 4 – барабанный счетчик WS-1; 5 – перистальтический насос; 6 – поточный газоанализатор; 7 – генератор водород-кислородной смеси.

На рисунке 2 показан характерный вид процесса образования компонентов синтез-газа от времени.

После заброса топлива в газогенератор можно отметить наличие двух характерных режимов – нестационарного режима, в котором концентрации компонентов синтез-газа значительно изменялись во времени ($\tau = 100-300$

сек.) и стационарного режима, где изменение концентрации компонентов синтез-газа незначительно ($\tau = 300-1300$ сек.).

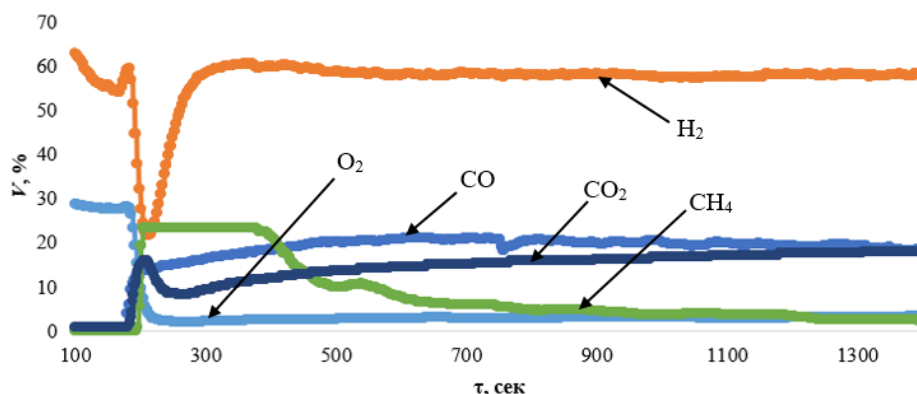


Рис. 2. Зависимость процентного содержания газов V от времени τ при температуре 950°C

На графике наблюдаем изменение концентрации H_2 во времени с 22% до 58% для стационарного режима, CO меняет свои значения от 11% до 19%, O_2 снижается с 19% до 3,4% для стационарного режима, CH_4 также снижается с 23% до 2,3%, а концентрация CO_2 увеличивается с 8% до 18%.

Основные химические реакции, протекающие в процессе паровой газификации:



Уравнения (1) и (2) позволяют получить основные компоненты синтез-газа в виде H_2 и CO и формируют общий состав газа. Также в процессе паровой газификации возможно протекание реакции (3), которая представляет собой гомогенное взаимодействие метана и перегретого водяного пара. Незначительное наличие кислорода в газовой смеси объясняется небольшим недожогом стехиометрической кислородно-водородной смеси.

В процессе экспериментальных исследований проводилось варьирование температуры водяного пара, поступающего в газогенератор. Результаты состава синтез-газа для стационарного режима при различной температуре показаны в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость состава газа от температуры пара.

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Состав газов, %				
	H_2	CO	CO_2	CH_4	O_2
950	57,8	19,7	17,5	2,7	3
850	58,4	16,2	15,4	7,8	5,4
750	60,8	14,7	15	3,6	6,2

По данным таблицы 2 можно отметить, что с увеличением температуры пара от 750°C до 950°C концентрация H_2 в составе газа уменьшилась примерно на 3%, а концентрация CO увеличивалась на 5%. При этом также можно

отметить, что концентрация CO_2 с понижением температуры снижается. По-видимому, при понижении температуры перегретого пара скорость реакции (2) и (3) ослабевает и состав синтез-газа формируется в основном за счет реакции (1).

Соотношение H_2/CO при паровой бескислородной газификации для исследованного интервала температур составило от 2,9 до 4,1, что позволяет использовать полученный синтез-газ в качестве исходного сырья в процессе Фишера-Тропша.

Представленные результаты экспериментальных исследований по составу синтез-газа (таблица 2) можно сравнить с данными других авторов, например, [5]. Авторы [5] проводили процесс паровоздушной газификации с использованием бурого угля. В результате был получен синтез-газ различного состава (таблица 3), в котором соотношение H_2/CO составило от 2,4 до 3,3.

Таблица 3. Состав полученного газа.

Топливо	Состав газов, %				
	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	CH ₄
Уголь бурый	12,8	29,7	37,3	9,8	6,8

Можно отметить, что использование паровоздушного дутья заметно снижает наличие целевых компонентов в синтез-газе и увеличивает содержание балластных примесей, например, N_2 и CO_2 . Таким, образом паровая бескислородная газификация является достаточно перспективным направлением получения синтез-газа.

Выводы:

В результате исследований была определена зависимость состава синтез-газа от температуры. Установлено, что при паровой газификации каменного угля марки «Д» можно влиять на соотношение H_2/CO , которое в проведенных исследованиях составило от 2,9 до 4,1.

Список литературы:

1. ГОСТ 2093-82. Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава. – Взамен ГОСТ 2093-77; введ. 2001-01-07. – М.: ИПИ Издательство стандартов, 2001. – 20 с.
2. ГОСТ Р 52911-2013. Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги. – Взамен ГОСТ Р 52911-2008; введ. 2015.01.01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 14 с.
3. ГОСТ Р 55660-2013. Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ. – Введ. 2015.01.01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
4. ГОСТ Р 55661-2013. Топливо твердое минеральное. Определение зольности. – Введ. 2015.01.01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.

5. Паровая газификация низкосортных твердых топлив тверской области / В.Ю. Долуда, М.Г. Сульман, Ю.Ю. Косивцов, Н.В. Лакина, Э.М. Сульман // Химия и химическая технология. – Тверь, 2016. – Вып. 3. – С. 69-73.