

**УДК 665.6-405**

ПОВАЛЯЕВ П.В., аспирант гр. А1-48 (НИ ТПУ), ЕГОРОВА В.В., м.н.с.,  
(СурГУ), г. Сургут, ШЛЯХОВ Т.С., студент гр. 5А22 (НИ ТПУ)  
Научный руководитель Е.В. ФРАНЦИНА, к.т.н., с.н.с., (НИ ТПУ)  
г. Томск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ГАЗИФИКАЦИИ НЕФТЕОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ СИНТЕЗ-ГАЗА**

Интенсификация добычи и потребления нефтепродуктов сопровождается выделением большого количества нефтяных отходов, формирование которых происходит в ходе вышеуказанных процессов. Данный тип отходов не подвергается биоразложению, поэтому в настоящее время актуальной задачей является поиск методов переработки нефтяных отходов с получением полезных продуктов. Традиционным способом утилизации такого типа отходов является их захоронение на специализированных полигонах или сжигание [1]. Однако при захоронении большого количества нефтяных отходов приходится выделять новые земельные участки; кроме того, при утилизации отходов нефтепродуктов существует вероятность загрязнения окружающей среды.

В предыдущих публикациях авторов данного исследования была продемонстрирована возможность плазменной переработки асфальтенов, выделенных из асфальтита природного происхождения, при использовании электродугового реактора постоянного тока. Также было продемонстрировано и определение параметров работы дугового реактора, обеспечивающих формирование как углеродного материала с графитоподобной структурой, так и газовой среды, в составе которой идентифицированы такие соединения, как водород и метан. Важным аспектом плазменной переработки отходов является возможность осуществления этого процесса с различными материалами.

Целью данной работы является исследование процесса переработки асфальтенов, полученных из нефти ашальчинского месторождения.

Для реализации процесса газификации асфальтенов используется электродуговой реактор постоянного тока, принцип работы которого подробно продемонстрирован в работе [2]. Процесс газификации асфальтенов заключается в загрузке сырья массой 1 г в графитовый тигель с двумя соосными отверстиями на стенках тигля. После этого графитовый тигель закрывается графитовой крышкой и помещается в реакционную зону реактора. В соосных отверстиях тигля горизонтально устанавливаются два графитовых электрода в токоведущие держатели из стали. К токоведущим держателям подводятся положительный и отрицательный выводы источника постоянного тока (ИПТ); таким образом, один электрод в системе является анодом, второй — катодом. Посредством вращения ручного привода происходит перемещение анода до контакта с катодом. Процесс инициирования дугового разряда происходит при коротком замыкании в системе с последующим отведением электрода на расстояние, достаточное для формиро-

вания электрической дуги ( $L \sim 0,5$  мм). При горении дугового разряда над образцом под воздействием температур начинается процесс разложения исходного образца и образования газовой среды. Для анализа формирующейся газовой среды использовался поточный газоанализатор Бонер, Тест-1 (Россия). Забор газов осуществлялся при использовании тракта газоанализатора, устанавливающегося в технологическое отверстие в графитовой крышке.

В предыдущей работе был определен режим работы дугового реактора постоянного тока (сила тока ИПТ — 100 А, время дуговой стадии — 30 с), обеспечивающий переработку 1 г асфальтенов с максимальным выходом водорода и образованием углеродного материала с графитоподобной структурой. В данном исследовании оценка эффективности процесса переработки асфальтенов, качества и количества получаемого продукта также осуществлялась по результатам проведенных серий экспериментов. Таким образом, было проведено две серии экспериментов: в первой серии осуществлялось изменение силы тока на ИПТ (от 75 А до 125 А, шаг — 25 А), вторая серия экспериментов реализована при изменении времени дуговой стадии (от 10 до 40 с, шаг — 10 с). Условия и состав формирующейся газовой среды приведен в таблице 1.

Таблица 1. Параметры плазменной переработки асфальтенов и состав формирующейся газовой среды

№	I, А	t, с	$m_{\text{исх}},$ г	$m_{\text{итог}},$ %	H <sub>2</sub> , л	CH <sub>4</sub> , л	CO <sub>2</sub> , л	CO, л	SO <sub>2</sub> , л	H <sub>2</sub> S, л
1	75	30	1	55	1,36	1,68	0,30	0,31	0,01	0,01
2	100	30	1	59	1,85	0,40	0,67	0,38	0,00	0,01
3	125	30	1	66	1,48	0,39	0,90	0,62	0,00	0,01
4	100	40	1	58	1,48	0,36	0,89	0,77	0,00	0,00
5	100	20	1	52	1,33	3,12	0,32	0,37	0,00	0,01
6	100	10	1	90	0,42	0,25	0,20	0,18	0,00	0,00

Увеличение значения силы тока с 75 А до 125 А приводит к увеличению концентрации газов CO<sub>2</sub> и CO, что может быть связано с повышением температуры в зоне реакции, которое приводит к ускорению процесса разрушения электродов с выделением частиц графита. В результате реакции графита и кислорода воздуха образуются монооксид и диоксид углерода. Таким образом, повышение температуры приводит к увеличению концентрации соединений CO<sub>2</sub> и CO.

Содержание водорода в процессе эксперимента достигало максимума при силе тока 100 А, как и в предыдущем исследовании. Дальнейшее увеличение силы тока до 125 А приводило к снижению концентрации водорода, что, по-видимому, также связано с высокой температурой в зоне реакции, которая приводит к сжиганию выделяющегося водорода и, соответственно, снижению концентрации H<sub>2</sub>. Также при увеличении силы тока дугового разряда снижение концентрации некоторых газов может быть связано с увеличением скорости частиц в плазменном поле, вследствие чего при больших значениях силы тока можно наблюдать возникновение уноса газов из реакционного пространства.

При значении силы тока в 75 А наблюдается повышенное содержание метана в связи с формированием температур, недостаточных для разложения  $\text{CH}_4$  на компоненты. Известно, что при нагревании метана выше  $1200^\circ\text{C}$  происходит процесс его разложения на углерод и водород [3].

Увеличение длительности обработки материала до 40 с (при неизменном значении силы тока в 100 А) также приводит к снижению количества формирующегося водорода. Снижение концентрации водорода в данном случае также может быть связано с увеличением температур, которое вызвано ростом продолжительности горения дугового разряда в реакционной зоне, что в итоге приводит к частичному сжиганию водорода. Снижение продолжительности дуговой стадии приводит к уменьшению количества формирующегося водорода, однако при этом наблюдается резкое повышение концентрации метана  $\text{CH}_4$ . Следовательно, в реакционной зоне присутствует неоднородность температурного поля, вследствие чего происходит формирование областей с относительно низкими температурами, недостаточными для разложения метана.

Концентрация соединений, в состав которых входит сера, в данном образце минимально. На рисунке 1 представлены зависимости концентраций компонентов газовой смеси  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$  от времени при плазменной обработке асфальтенов (время дуговой стадии — 30 с, сила тока на ИПТ — 100 А).

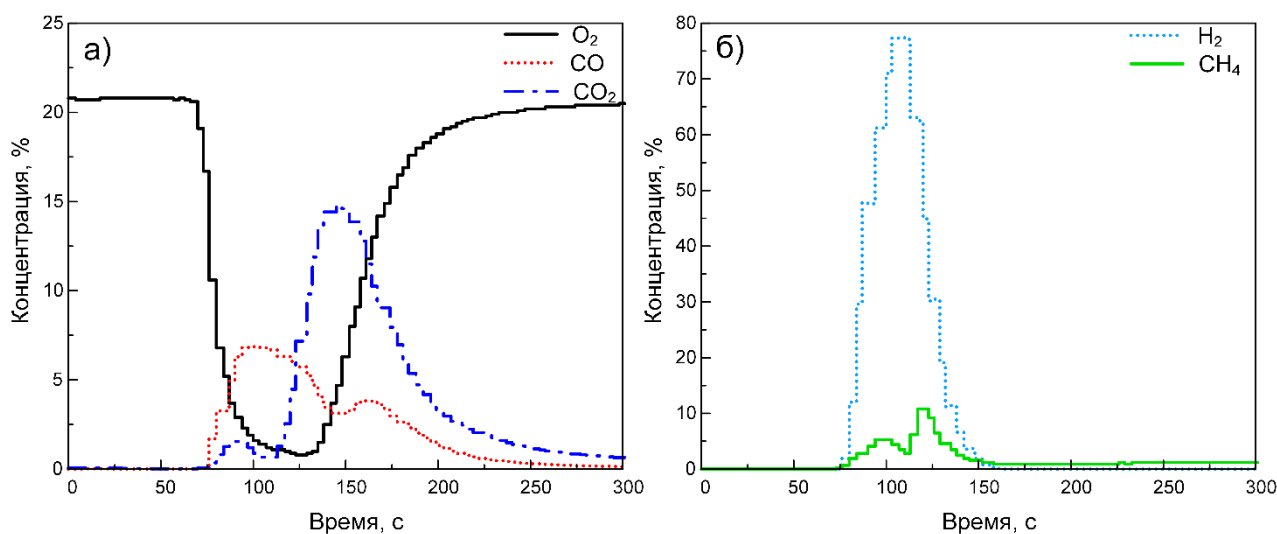


Рисунок 1. Зависимость концентраций компонентов газовой смеси от времени при воздействии дугового разряда на асфальтены: а)  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ; б)  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$

Таким образом, данные серии экспериментов подтверждают правильность выбранных режимов для плазменной переработки асфальтенов (время дуговой стадии — 30 с, сила тока на ИПТ — 100 А), а также обеспечивают максимальный выход водорода при полной переработке исходного образца и при минимальных энергетических затратах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-13-20016) в Сургутском государственном университете и Томском политехническом университете.

## Список литературы:

1. Хуснутдинов И.Ш., Сафиулина А.Г., Заббаров Р.Р., Хуснутдинов С.И. Методы утилизации нефтяных шламов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2015. Vol. 58, № 10. P. 3–20.
2. Petrova Y.Y., Frantsina E. V., Grin'ko A.A., Pak A.Y., Arkachenkova V. V., Povalyaev P. V. Investigation of the process and products of plasma treatment of asphaltenes // Materials Today Communications. Elsevier, 2022. Vol. 33. P. 104669.
3. Abbas H.F., Wan Daud W.M.A. Hydrogen production by methane decomposition: A review // International Journal of Hydrogen Energy. Elsevier, 2010. Vol. 35, № 3. P. 1160–1190.