

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕРСИИ CO<sub>2</sub> С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО ПИРОЛИЗА

*С.В. Леонов, к.т.н., доцент*

*В.А. Жзута, студент гр. 8Т92.*

*Томский Политехнический Университет*

*Эл. почта: vaz24@tpu.ru*

## **Введение**

Технология плазменного пиролиза углекислого газа является относительно новой разработкой в области исследований процессов конверсии CO<sub>2</sub>. Её отличительной особенностью от прочих видов пиролиза является принцип работы механизма разложения, основанный на термохимическом разложении молекул углекислого газа под действием дугового разряда и, как следствие, расщепление этих молекул на чистый углерод и кислород. Температура плазмы, достигаемая при использовании дугового разряда, составляет 1300-2000оС по сравнению с 850оС, достигаемых при обычном сжигании, что позволяет добиться практически полного разложения исходного материала. Далее, вследствие получения большого количества энергии, происходит ионизация молекул, что приводит к отделению чистого углерода от кислорода. Молекулы кислорода, в свою очередь, образуют озон (O<sub>3</sub>), который, впрочем, довольно быстро разлагается на чистый кислород.

Применение технологии в промышленном масштабе имеет ряд ограничений, самым главным из которых является быстрое нарастание отложений углерода в пиролитических установках плазменного типа. Устранение данного углерода является трудновыполнимой задачей, поскольку речь идёт не только об очистке ионизирующих поверхностей механизма от твёрдых отложений, но и об удалении взвешенных частиц.

Вопрос об актуальности данного исследования фактически отсутствует, поскольку, наблюдая мировые тенденции, в частности в области экологии и защиты окружающей среды, становится очевидным тот факт, что в скором времени технологии конверсии углекислого газа станут для многих производственных предприятий необходимостью. И определённо ясен тот факт, что исследования в данной области будут получать всё большее распространение.

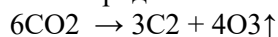
## **Экспериментальная часть**

Для проведения опытов по исследованию процессов пиролитической конверсии углекислого газа была разработана и собрана лабораторная установка, включающая в себя ионизатор, как источник дугового разряда, резервуар, в котором проводились наблюдения изменений состава атмосферы в ходе проведения опыта и набор датчиков нескольких видов.

Суть проведения опытов заключалась в следующем: с помощью химической реакции



происходило заполнение лабораторного резервуара углекислым газом с вытеснением кислорода. Заполненный резервуар представлял собой начальное состояние системы в опыте и момент его окончательного заполнения является точкой отсчёта эксперимента, при которой с помощью датчиков замеряются все исходные состояния системы. Важно отметить, что к этому моменту датчики уже находятся в рабочем состоянии, но ионизатор ещё не включён и конверсии CO<sub>2</sub> не происходит. Затем в течении ограниченного количества времени (100-150 секунд) ионизатор создаёт многократные дуговые разряды и производит конверсию углекислого газа в производные продукты реакции, а именно – в чистый углерод и смесь озона-кислорода:



Все процессы, происходящие на данном этапе опыта, фиксируются газовыми датчиками, расположенными на разных высотных уровнях в резервуаре, что позволяет в реальном времени отслеживать изменения атмосферного состава по слоям, поскольку углекислый газ, озон и кислород имеют разные плотность и вес. По прошествии определённого количества времени становится видно, как озон разлагается на кислород. Концентрация озона становится вдвое меньше каждые 10 минут, то есть спустя час концентрация озона в составе воздуха в резервуаре составляет немногим более 1%, что подтверждается показаниями датчиков.

## **Результаты эксперимента**

Как становится понятно из описания опыта выше, процесс конверсии происходит в условиях чистого углекислого газа, что затрудняет проведение процесса пиролиза, потому что последний, в свою очередь, разбивается на два последующих этапа, один из которых крайне продолжителен во времени. Это – конверсия углекислого газа в продукты реакции и конверсия продуктов реакции в кислород. К тому же углекислый газ, ввиду своих физико-химических свойств недостаточно эффективно позволяет создать дуговой разряд и произвести плазменный пиролиз. На данный момент известно, что замеры значения напряжения дуги составляет 60кВ.

В теории, можно увеличить энергоэффективность, а соответственно, и скорость проведения реакции, добавив в изначальный объём углекислого газа относительно небольшое количество инертных газов, что позволит проводить плазменные реакции с меньшим сопротивлением среды. Проведя анализ литературы по данной тематике, было установлено, что подобные опыты проводились с применением аргона, как наиболее подходящего для данного процесса инертного газа. С результатами опытов вы можете ознакомиться с помощью таблиц, приведённых ниже.

Таблица 1. Преобразование CO<sub>2</sub> и энергоэффективность СВЧ-разряда в условиях чистого CO<sub>2</sub>

Flow rate, LPM	Power, W	Kco <sub>2</sub> , %	ΔK, %	η, %	Δη, %	SEI, ev/mol
17	2000	7.19	0.6	11.6	0.96	1.77
17	2700	9.78	0.6	11.7	0.71	2.4
24.5	2300	8.20	0.6	16.6	1.21	1.4
24.5	3000	8.51	0.6	13.2	0.93	1.82
24.5	4000	9.40	0.6	10.9	0.69	2.43

Таблица 2. Преобразование CO<sub>2</sub> и энергоэффективность СВЧ-разряда с использованием аргона при различных типах СВЧ-разрядов

Microwave sources	Process gases	Pressure, mbar	SEI, eV/molec.	Conversion, %	Energy efficiency,%
24 GHz, 0.5-5 kW	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	4.14	31.3	9.5
	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	1.5	11.6	22
	CO <sub>2</sub>	1000	2.4	9.8	11.2
	CO <sub>2</sub>	1000	1.4	8.2	16.6
2.45 GHz, 2 kW	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	1.5	10	20
	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	25	45	5
2.45 GHz, 2 kW	CO <sub>2</sub>	1000	0.5	9	50
2.45 GHz, 1.2 kW + Solar power	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	1.8	9.5	10.5
	CO <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	1000	1.8	15.5	24.5
2.45 GHz, 1 kW	CO <sub>2</sub> /Ar	1000	7.22	36.1	14.7
	CO <sub>2</sub>	1000	1.19	11.8	28.9
2.45 GHz, 6 kW	CO <sub>2</sub>	1000	2.4	11.6	13.5
	CO <sub>2</sub>	200	17.5	74.9	12.3
915 MHz, 30 kW	CO <sub>2</sub>	200	10.3	83	24
2.45 GHz, 1 kW	CO <sub>2</sub>	200	1.7	26	41

## Заключение

В завершение хотелось бы обозначить вектор дальнейших действий. Прежде всего, планируется масштабная работа по модернизации и техническому оснащению лабораторной установки плазменного пиролиза. Также стоит отметить, что в дальнейшем будет акцентироваться внимание именно на проведении опытов с применением инертных газов.

Однако стоит отметить тот факт, что подобные исследования требуют наличия узкоспециализированных приборов и инструментов высокого класса.

## Список используемой литературы

1. Mohammad I. Jahirul, Mohammad G. Rasul, Ashfaque Ahmed Chowdhury and Nanjappa Ashwath. Energies 2012;

2. Д.И. Словецкий. ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГЛЕВОДОРОДОВ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ. Институт Нефтехимического Синтеза им.А.В.Топчиева РАН;
3. М. С. Котелев (магистр, инж.), П. А. Гущин (к.т.н., с.н.с.)<sup>1</sup>, Е. В. Иванов (к.х.н., с.н.с.), Ю. И. Исаенков (к.т.н., зав. лаб.), Е. В. Нестеров (к.ф.-м.н., зав. лаб.), В. А. Винокуров (д.х.н., проф., зав.каф.) Плазмохимическая конверсия углекислого газа с получением монооксида углерода Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, кафедра физической и коллоидной химии;
4. Dmitry Mansfelda,, Sergey Sintsova, Nikita Chekmarevb, Alexander Vodopyanov. Conversion of carbon dioxide in microwave plasma torch sustained by gyrotron radiation at frequency of 24 GHz at atmospheric pressure. Journal of CO2 Utilization;
5. Robert D. Green<sup>1</sup>, Marit E. Meyer<sup>2</sup>, and Juan H. Agui<sup>3</sup>. Characterization of carbon particulates in the exit flow of a Plasma Pyrolysis Assembly (PPA) reactor. NASA Glenn Research Center, Cleveland, OH, 44135, USA;
6. Juan H. Aguil and Robert Green. R. Vijayakumar, Gordon Berger, Zach Greenwood, Morgan Abney, and Elspeth Peterson. Filtration of Carbon Particulate Emissions. Plasma Pyrolysis Assembly;
7. Jiajie Wang, Mohammad S. AlQahtani, Xiaoxing Wang, Sean D. Knecht, Sven G. Bilén, Chunshan Song and Wei Chu. One-step plasma-enabled catalytic carbon dioxide hydrogenation to higher hydrocarbons: significance of catalyst-bed configuration. The Royal Society of Chemistry.