

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОЙ ИОНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Леонов С.В.<sup>1</sup>, Жзута В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ин-  
формационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: leonov@tpu.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа ин-  
формационных технологий и робототехники, 8Т92, e-mail: vaz24@tpu.ru

## Введение

В статье представлена схема устройства по декарбонизации воздуха, дифференцированная математическая модель процесса декарбонизации, созданная при помощи языка программирования python, а также изложены методы повышения качества процесса декарбонизации в зависимости от параметров системы, а также изложены возможные сферы применения данной технологии.

## Основная часть

Исследование проводится с использованием технологии плазменного пиролиза, в частности с применением коронного ионизирующего разряда.

Рассматриваемая далее система основана на методе разложения углекислого газа при помощи плазменного пиролиза и предназначена для решения задач по декарбонизации воздуха. В частности, наиболее предпочтительными сферами применения данной разработки являются: ликвидация последствий аварий на крупных промышленных предприятиях, повлекших за собой выбросы больших объёмов углекислого газа, восстановление кислорода в условиях частичной и/или полной изоляции помещения, без возможности подачи воздуха извне (например, на космических кораблях/станциях [1] или в глубоких бункерах), развитие экологически чистых технологий [2].

Для изучения процесса восстановления кислорода был разработан прибор-ионизатор [3], конструкцию которого можно наблюдать на рисунке 1.



Рис. 1. Схематическое изображение устройства

Далее для рассмотрения эффективности процесса ионизации была составлена формула для расчёта изменения концентрации углекислого газа с течением времени и на её основании с помощью языка python была создана математическая модель процесса. При моделировании были выделены следующие параметры системы: объём обрабатываемого воздуха (л), скорость обработки (л/мин), время (мин), концентрация углекислого газа (%), эффективность ионизатора (% конвертированного газа).

В результате была выведена следующая формула изменения концентрации газа за единицу времени (мин):

$$\frac{C \times (V - S) + C \times S \times (1 - M)}{V}$$

где:

C – концентрация углекислого газа;

V – обрабатываемый объём;

S – скорость обработки;

M – Эффективность ионизатора.

Был смоделирован процесс при параметрах: C = 3,5%; V = 120 л; S = 8,5 л/мин; M = 14%. Моделирование процесса дало следующий результат (рис. 2).

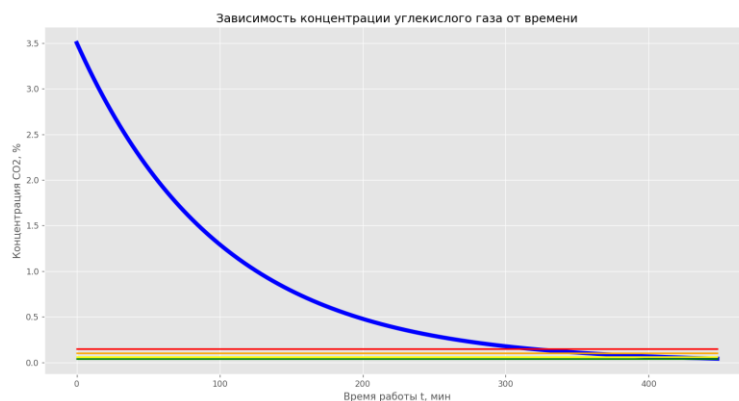


Рис. 2. Результат моделирования при заданных параметрах

Горизонтальными цветными линиями на графике обозначены уровни концентрации углекислого газа, соответственно: опасный для здоровья (0,15%), допустимый уровень для нахождения в помещении не более 8 часов (0,1%), приемлемый уровень (0,06%), чистый воздух (0,04%) [3].

Работа модели на ограниченном промежутке времени (20 мин) подтвердила её соответствие реальным результатам, однако для полноты картины требуется провести повторное исследование на более длительном отрезке времени.

Исходя из указанного выше графика видно, что процесс очистки воздуха объёмом всего 120 л с содержанием углекислого газа 3,5% занимает более 7 часов. Процесс крайне долгий, однако если посмотреть на параметры системы в формуле, то можно увидеть, что скорость изменения концентрации напрямую зависит от скорости обработки воздуха и от эффективности самого ионизатора.

## Заключение

Есть несколько методов повышения эффективности коронного разряда. Во-первых – это добавление в изначальную газовую смесь некоторого количества инертных газов или малоактивных газов, например азота [4]. Также проводились опыты с попытками добавления в изначальную смесь аргона и последующим изменением напряжения плазменного разряда [5]. В результате подобных манипуляций удавалось повысить эффективность ионизатора вплоть до 40%, что в нашей модели дало бы всего 2,5 часа работы, то есть повысило бы скорость почти в 3 раза.

Следующим этапом работы для нас является создание механизма регулирования напряжения коронного разряда и последующее выведение зависимости эффективности работы ионизатора от напряжения. Составление математической модели процесса пиролиза на основе выведенной зависимости. Также планируется реализовать систему компьютерного зрения, которое будет регистрировать физическое положение и величину плазмы в ультрафиолетовом спектре. Планируется внедрение системы нейросетевого управления для корректировки работы стенда.

## Список использованных источников

1. 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, 2015. – P. 2-6.
2. 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, 2021.
3. Моделирование расщепления углекислого газа с помощью холодной плазмы. Леонов С.В., Сладков М.Ю. В сборнике Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2022. С. 331-332.
4. ГОСТ Р ЕН 13779-2007, стр. 5-6.
5. Котелев М.С., Гушин П.А., Иванов Е.В., Исаенков Ю.И., Нестеров Е.В., Винокуров В.А. Плазмохимическая конверсия углекислого газа с получением монооксида углерода // Башкирский химический журнал. – 2010. – Т. 17, № 3 – С. 175-178.
6. Мансфельд Д., Синцов С., Чекмарев Н., Водопьянов А. Журнал по утилизации CO<sub>2</sub>. – 2020. – №40 – С. 4-7.