

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ РАН ПО ТЕПЛОМАСООБМЕНУ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»  
ИНСТИТУТ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НИУ «МЭИ»



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

## **МАТЕРИАЛЫ**

### **III международной конференции**

**19 – 23 октября 2020**

Москва  
Издательство МЭИ  
2020

УДК 536.2+621  
ББК 31.3  
С 56

С 56 Современные проблемы теплофизики и энергетики (19–23 октября 2020): материалы III международной конференции. – М.: Издательство МЭИ, 2020. – 708 с.

ISBN 978-5-7046-2372-4

Представлены материалы конференции по вопросам кипения, испарения и конденсации двухфазных жидкостей; гидродинамики и теплообмена; методам и средствам измерений; массообмену химически реагирующих сред; интенсификации теплообмена; системам теплоснабжения; свойствам рабочих тел в энергетике; цифровизации энергетики и пр.

УДК 536.2+621  
ББК 31.3

*Материалы печатаются в авторской редакции  
методом прямого репродуцирования с авторских оригиналов*

---

*Научное издание*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

Материалы  
III международной конференции  
19 – 23 октября 2020

Подписано в печать	13.11.20.	Печать цифровая.	Формат 60×84 1/16
Печ. л. 44,25	Тираж 22 экз.	Изд. № 20н-066	Заказ №

Оригинал-макет подготовлен в РИО НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14.  
Отпечатано в типографии НИУ «МЭИ».  
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 13.

ISBN 978-5-7046-2372-4

© Национальный исследовательский  
университет «МЭИ», 2020

магнитной компоненты был специально сконструирован калибровочный стенд в НИЦ «Курчатовский институт». Была разработана методика описания влияния проводящей оболочки на амплитуда-частотную характеристику магнитного зонда. Разработана методика учёта поверхностных искажений амплитудно-частотных характеристик зонда с учетом экранирующей оболочки зонда. После апробирования зонда в ПЛМ на его основе будет разработан зонд для измерений свойств турбулентности плазмы и переноса плазмы в токамаке Т-15МД.

Эксперименты на ПЛМ поддержаны грантом РНФ 17-19-01469, испытание материалов зонда поддержано грантом РФФИ 19-29-02020, изготовление АСНИ на ПЛМ поддержано Мегагрантом РФ № 14.Z50.31.0042.

### **Список литературы**

1. В.П. Будаев и др. // ВАНТ сер. термоядерный синтез. 2017, т.40. №3
2. В.П. Будаев и др. // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. том 9. № 3. с. 283-294

*Тазмеев Г.Х., Тазмеев Х.К.*

Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
Набережночелнинский институт  
Набережные Челны, 423810, проспект Мира, 68/19  
[GKTazmeev@kpfu.ru](mailto:GKTazmeev@kpfu.ru)

## **СИЛЬНОТОЧНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД С ВОДНОРАСТВОРНЫМ КАТОДОМ КАК ИСТОЧНИК ПОТОКА ПЛАЗМЫ ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**Введение.** Образование огромного количества бытовых и промышленных отходов является одной из глобальных экологических проблем современности. Для утилизации углеродсодержащих отходов широко используется огневая переработка – сжигание. Однако при сжигании образуется огромное количество вредных газовых выбросов. Плазменные источники позволяют многократно снизить объемы таких выбросов, т.к. исключается воздух, используемый в качестве окислителя. При использовании пароводяной плазмы вредные выбросы могут быть полностью устранены. При этом газообразные продукты плазменной переработки углеродсодержащих отходов могут быть получены в виде синтез-газа, представляющего собой смесь оксида углерода и водорода. Целью данной работы явилось формирование потока пароводяной плазмы из вещества жидкого катода (водного раствора) и исследование газификации углеродсодержащих отходов в таком потоке плазмы.

**Результаты исследований.** Создан и исследован газовый разряд между жидким катодом и твердотельным анодом в диапазоне токов 10-25 А. Межэлектродное расстояние увеличено до 20 см. В качестве катода были использованы растворы сульфата натрия, хлорида натрия, хлорида калия, гидроксида натрия и гидроксида калия в дистиллированной воде. В опытах фиксировалась динамика изменения физико-химических свойств водного раствора под воздействием газового разряда. Электрические параметры водного раствора хлорида натрия менялись в меньшей степени. Поэтому этот раствор был выбран для создания потока плазмы.

Исследовано влияние концентрации водного раствора хлорида натрия на формирование плазменного потока. Установлено, что энергетические затраты могут снижены при использовании водных растворов хлорида натрия с молярной концентрацией в пределах 0,05-0,2 моль/л. При таких концентрациях водного раствора разряд горел устойчиво без применения балластного резистора в цепи электрического питания.

На базе газового разряда с воднорастворным катодом разработан и создан генератор плазмы. Его мощность в рабочих режимах находилась в пределах 25-30 кВт. Тепловые потери через катод и анод были сравнительно малы. Их суммарное значение не превышало 30% от мощности генератора плазмы. В этом отношении генератор плазмы является вполне приемлемым для практического применения наряду с дуговыми плазмотронами.

Массовый расход потока плазмы принимался равным массовой скорости убыли водного раствора. Его максимальные значения доходили до 1,5 г/с и выше. Расчетное значение среднемассовой температуры составило порядка 3000 К.

Исследовано влияние вдува газа на характеристики генератора плазмы. Воздух от компрессора подавался в разрядный канал на разных участках между катодом и анодом. Установлено, что в генератор плазмы можно подавать газ массовой скоростью, сравнимой с потоком водяного пара, образуемого при горении разряда.

Разработана и создана техническая система для плазменной конверсии углеродсодержащих отходов в синтез-газ. За основу взята двухстадийная схема [1]. На первой стадии сырье подвергалось термической деструкции и диспергированию под воздействием дуговой плазмы. Летучие продукты транспортировались в разрядную камеру генератора плазмы с воднорастворным катодом. В качестве сырья были использованы отходы полиэтилена. Содержание водорода в образовавшемся газе измерялось анализатором водорода АВП-01, а оксид углерода определялся газоанализатором «Автотест».

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-42-160011.

## Список литературы

1. Фридланд С.В., Тазмеев А.Х., Мифтахов М.Н. Получение синтез-газа плазмохимической переработкой полимерных отходов // Вестник Казанского технологического университета. 2006. № 6. С. 10-15.

*Тихонов В.Н.<sup>1</sup>, Антипов С.Н.<sup>2</sup>, Иванов И.А.<sup>1</sup>, Тихонов А.В.<sup>1</sup>, Юсупов Д.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии.

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109-й км

<sup>2</sup> ФГБУН Объединенный институт высоких температур РАН,  
125412 Москва, Ижорская улица, 13 стр.2

[v.n.tihonov@yandex.ru](mailto:v.n.tihonov@yandex.ru)

## МИКРОВОЛНОВЫЙ ИСТОЧНИК НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ НЕДЕСТРУКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

В последние десятилетия ведутся интенсивные разработки плазмохимических методов модифицирования поверхностей материалов, в том числе таких нетермостойких, как синтетические и природные полимеры. В качестве источников неравновесной плазмы атмосферного давления недеструктивного действия изначально использовались слаботочные разряды – коронный и поверхностно-барьерный, имеющие ограниченную эффективность активации газа. Сверхвысокочастотный (СВЧ) разряд атмосферного давления снимает ограничения по удельной мощности. Однако при атмосферном давлении СВЧ плазмотрон «классической» безэлектродной конструкции формирует «чистую» плазменную струю с температурой от нескольких тысяч градусов и более. Известные электродные СВЧ разрядники формируют аргоновую плазму с температурой в десятки градусов Цельсия, но такая плазма может содержать в себе продукты деструкции материала электродов.

Представленный в работе [1] новый тип микроволнового источника неравновесной плазмы недеструктивного действия (Рис. 1) обладает как признаками диэлектрического барьерного разряда (по конфигурации и низкой

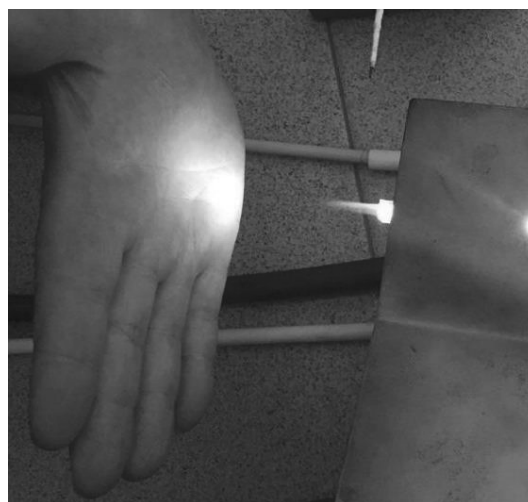


Рис. 1. СВЧ источник неравновесной плазмы.