

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЧФ-ПЛАЗМАТРОНОВ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ УТИЛИЗАЦИИ ГОРЮЧИХ ОТХОДОВ*

Тундешев Н.В., Шеховцова А.П.

Научный руководитель: Каренгин А.Г., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Tundeshev93@mail.ru

Для получения высокоэнтальпийных потоков газа с температурой в несколько тысяч градусов широко применяются генераторы низкотемпературной плазмы – плазмотроны.

В настоящее время получили широкое распространение следующие высокочастотные плазмотроны [1,2]:

- высокочастотные индукционные (ВЧИ), в которых используется высокочастотный безэлектродный разряд Н-типа;
- высокочастотные емкостные (ВЧЕ), в которых возбуждается высокочастотный разряд Е-типа с внешними электродами;
- высокочастотные факельные (ВЧФ), использующие высокочастотный моноэлектродный разряд;
- сверхвысокочастотные (СВЧ), в которых разряд возбуждается в полых волноводах.

Для получения чистых и сверхчистых веществ и материалов применяют, в основном, ВЧ и СВЧ-плазмотроны.

На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки на базе ВЧФ-плазмотрона, предназначенного для генерирования потоков низкотемпературной воздушной плазмы и ее применения для проведения различных плазмохимических процессов.

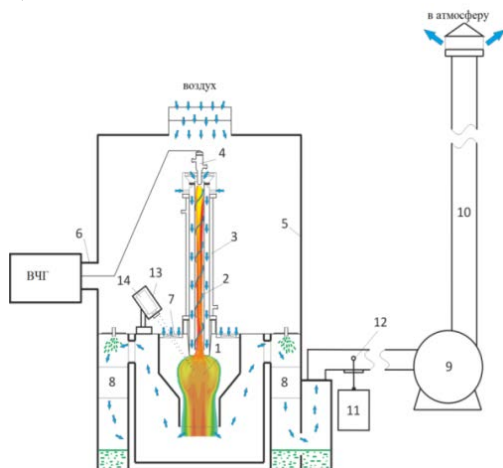


Рис. 1 – Схема лабораторного плазменного стенда «Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13-01».

Плазменный стенд включает:

1 – диспергатор, 2 – ВЧФ-разряд, 3 – ВЧФ-плазмотрон; 4 – медный электрод, 5 – корпус; 6 – коаксиальный вывод; 7 – шибер реактора; 8 – узел «мокрой» очистки отходящих газов; 9 – вытяжной вентилятор (ВР 12-26, №4), 10 – воздухопровод, 11 –

газоанализатор «Quintox» КМ 9106, 12 – пробоотборник; 13 – защитный кожух пирометра, 14 – пирометр IPE 140/45.

Для определения расхода плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон на его входе был заменён узел ввода плазмообразующего газа с импеллером, имеющем входную площадь $S_{пр} = 25 \text{ см}^2$, на равноценную по входной площади трубку из фторопласта диаметром 55 мм ($S_{тр} = 24,2 \text{ см}^2$) и длиной 300 мм, в нижней части которой через отверстие диаметром 8 мм устанавливалась по центру трубка Пито и после ориентирования приемного отверстия строго навстречу потоку воздуха она закреплялась. Трубка Пито определяет давление набегающего потока по следующей формуле:

$$\frac{\rho V^2}{2} = P_n - P_{ст},$$

где P_n – полное давление; $P_{ст}$ – статическое давление; ρ – плотность воздуха при температуре T ; $\frac{\rho V^2}{2}$ – напор, создаваемый набегающим потоком.

Далее рассчитывался объёмный расход плазмообразующего газа (воздуха) через ВЧФ-плазмотрон по формуле:

$$Q_{пр} = S_{тр} \cdot V_{пр},$$

где $V_{пр}$ – скорость плазмообразующего газа через фторопластовую трубку; $S_{тр}$ – площадь поперечного сечения фторопластовой трубки.

Аналогичным образом определялся объёмный расход воздуха через газоход. С учетом полученных данных определялся расход воздуха через реактор по следующей формуле:

$$Q_p = Q_{гхд} - Q_{пр},$$

где Q_p – расход воздуха через реактор; $Q_{гхд}$ – расход плазмообразующего газа через газоход; $Q_{пр}$ – расход плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон.

Измерения скорости плазмообразующего газа через ВЧФ-плазмотрон в процессе опытов производились при различной входной площади шибера реактора, которая изменялась путем перекрытия шибера сегментами импеллера реактора (например, 3х6 означает, что открыты восемнадцать сегментов единичной площадью 55 см^2 и общей площадью 990 см^2).

На рисунке 2 показано влияние входной площади шибера реактора на объёмный расход воздуха через реактор, газоход и ВЧФ-плазмотрон.

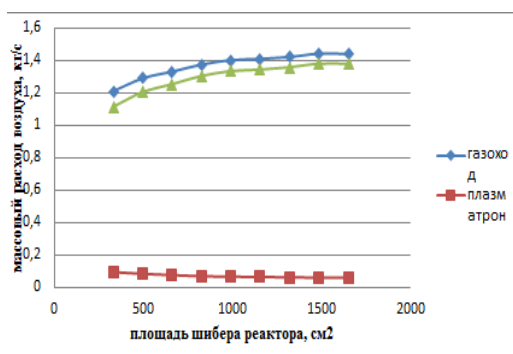


Рис 2.– Влияние входной площади импеллера реактора на объёмный расход воздуха через газоход, реактор и ВЧФ-плазматрон.

На рисунках 3 и 4 показано влияние мощности плазменной струи и входной площади шибер реактора соответственно на температуру плазменной струи и установочный КПД плазменного модуля.

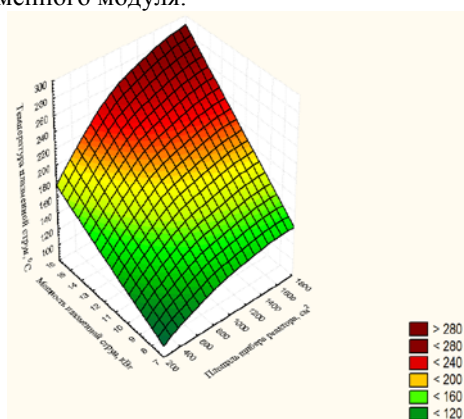


Рис 3. – Влияние площади шибер реактора и мощности плазменной струи на температуру плазменной струи.

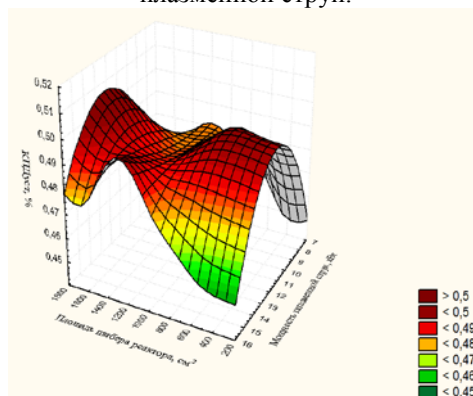


Рис 4 – Влияние входной площади шибер реактора и мощности плазменной струи на установочный КПД плазменного модуля.

Из представленного графика 4 видно, что данная зависимость имеет сложный характер с явно выраженными максимумами, на основании чего можно судить о возможности достижения оптимальных режимов работы плазматрона. Наибольший КПД достигается при площади шибер реактора от 1155 до 1650 см² и мощности

плазменной струи в пределах 14 кВт, при этом измерения проводились при токе анода от 3 до 4,5А.

Уменьшение входной площади реактора и тока анода приводит к уменьшению КПДуст до минимального значения 45,74%.

В таблице 1 приведены показатели горения веществ, используемых в виде композиций определенного состава для избирательного извлечения урана и плутония из растворенного отработавшего ядерного топлива, и превращающихся в горючий отход после выработки ресурсов.[3]

Таблица – 1 Показатели горения веществ

Наименование	T _{всп} , °С	T _{воспл} , °С	T _{самовоспл} , °С
Трибутилфосфат	144	175	345
Гексахлорбутадиен	–	–	580

Из сравнения полученных результатов(рис. 3) и данных таблицы 1 следует, что ВЧФ-плазматрон с температурой плазменной струи T_{стр}>200⁰С обеспечит воспламенение горючих отходов, розжиг реактора и выход его на рабочий режим с T_p=1000–1200⁰С.

Таким образом по результатам проведенных экспериментов можно сделать вывод, что оптимальный режим работы ВЧФ-плазматрона достигим при токе анода 4А, входной площади шибер реактора от 1155 до 1485 см². При этом КПДуст достигает 51,6%, а максимальная температура плазменной струи 255⁰С.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании промышленных установок на базе ВЧФ-плазматронов, предназначенных для эффективной плазменной переработки и утилизации различных веществ.

Список литературы:

1. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: «Химия» Ленинградское отделение, 1981. – 104 с.
2. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Физика и электрофизика высокочастотного факельного разряда и плазматроны на его основе. – М.: Энергоиздат, 2002. – 195 с.
3. Скачек М.А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках реализации государственного задания Минобрнауки России на 2014÷2016 годы по теме «Исследование и оптимизация процессов плазменной переработки отходов замкнутого ядерного топливного цикла» (Код темы № 2031).