

# СВЧ ПЛАЗМОТРОН ДЛЯ КОНВЕРСИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

*А.В. Аникин*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Шиян В.П., к. ф-м.н., доцент кафедры физических методов и приборов контроля качества*

В данной работе представлен плазмохимический метод глубокой переработки углеводородного газа на углерод и водород на основе использования плазмы-СВЧ разряда. Целью данной работы является исследование потенциальных возможностей СВЧ плазмотрона для конверсии природного газа.

Для данного типа СВЧ плазмотрона были проведены расчеты его основных параметров, выбран конструкционный материал, проведены холодные измерения параметров согласования и ослабления волноводной системы.

*Выбор рабочей частоты плазмотрона*

В качестве рабочей частоты выбираем частоту,  $f = 2450$  МГц. Данной частоте соответствует рабочая длина волны  $\lambda$ , рассчитанная по формуле:

$$\lambda = c / f = 3 \cdot 10^{10} / 2,45 \cdot 10^9 = 12,24 \text{ см.} \quad (1)$$

*Выбор типа волновода*

В соответствии с рабочей частотой  $f = 2450$  МГц и длиной волны 12,24 см, в качестве рабочего типа волновода выбираем прямоугольный волновод с поперечным сечением  $90 \times 45 \text{ мм}^2$ .

*Расчет затухания СВЧ энергии в волноводе*

Расчет проводим для рабочей волны основного типа  $H_{10}$  по формуле, приведенной в работе [2].

$$(\alpha)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\omega \epsilon_0}}{b \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{4a^2}}} \cdot \left[ 1 + 2 \frac{b}{a} \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где  $\mu_{ст}$  – магнитная проницаемость стенки волновода;  $\sigma_{ст}$  – удельная проводимость стенки волновода,  $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;  $\epsilon$  и  $\mu$  – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды заполняющей волновод.

Отсюда получаем:

$$(\alpha)_{H_{10}} = \frac{\sqrt{\frac{15.386 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 8.84 \cdot 10^3 \cdot 0.154}{2 \cdot 7.69 \cdot 10^6 \cdot 12.56 \cdot 10^{-7}}}}{45 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2}} \times \left[ 1 + 2 \frac{45}{90} \left(\frac{12.24}{2 \cdot 90}\right)^2 \right] = 0.118 \left[ \frac{\text{дБ}}{\text{м}} \right].$$

Для оценки потерь СВЧ энергии в волноводе был произведен их расчет для волновода, выполненного из нержавеющей стали. Нержавеющая сталь была выбрана в качестве конструкционного материала, так как по стоимости, она дешевле, чем медь и латунь, но обладает приемлемой для поставленной цели величиной СВЧ ослабления и температуростойкостью.

Схема плазматрона активным иницированием СВЧ разряда представлена на рис. 1.

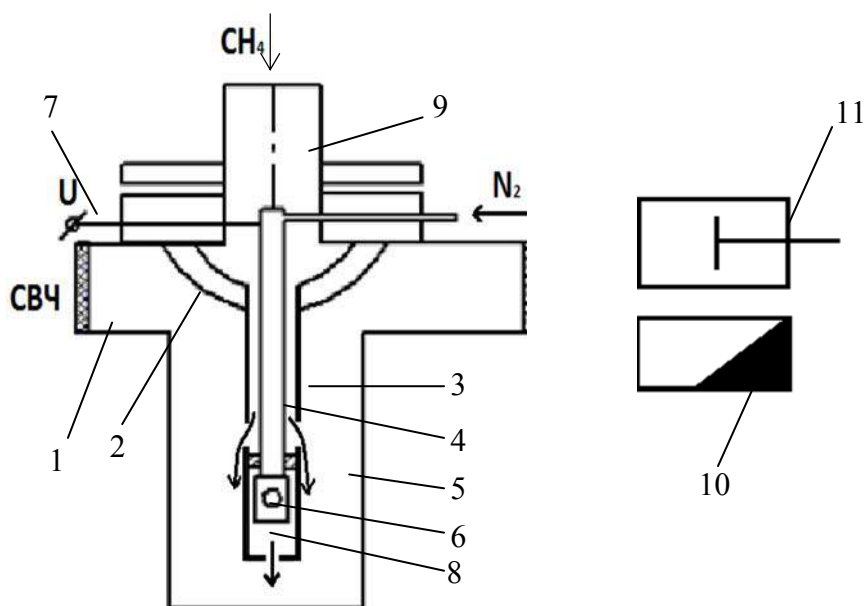


Рис. 1

Плазматрон с активным иницированием СВЧ – разряда представляет собой волноводно-коаксиальный переход «пуговичного» типа 1, который состоит из прямоугольного волновода 2 и коаксиальной линии 3с внутренним проводником 4, внешним проводником 5, образующим разрядную камеру. Во внутреннем проводнике 4 коаксиальной линии размещена трубка 6 с подключенным к ней проводником 7 . На конце внутреннего проводника 4 выполнено сопло 8. Плазматрон снабжен

волноводом круглого сечения 9, который служит для подачи плазмообразующего газа и защитой от СВЧ – излучения. На выходе волновода 2 размещается согласованная нагрузка 10 или короткозамыкающий поршень 11. Волновод 2 сечением  $90 \times 45 \text{ мм}^2$  выполнен из нержавеющей стали. Внутренний проводник 4 коаксиальной линии 3 диаметром 16 мм и внешний проводник 5 внутренним диаметром 40 мм также выполнены из нержавеющей стали.

Для оценки эффективности устройства ввода СВЧ энергии были произведены измерения параметров согласования его волноведущей системы с помощью панорамного измерителя коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления Р2-56 в диапазоне частот от 2200 до 4400 МГц. Из полученных зависимостей при частоте равной 2450 МГц, КСВН = 1.26 при согласованной нагрузке, Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности:

$$|\Gamma| = \frac{p-1}{p+1} = \frac{1.26-1}{1.26+1} = 0.1, \quad (3)$$

где  $|\Gamma|$  – коэффициент отражения;  $p$  – Коэффициент стоячей волны (КСВН).

Найдем значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 \cdot P_{\text{пад}} \cdot 100 \% = 0.1^2 \cdot 1 \cdot 100 \% = 1 \%. \quad (4)$$

В качестве варианта были произведены измерения параметров согласования волноведущей системы СВЧ плазмотрона при ее нагрузки на коротко замыкающий поршень КСВН = 2.7

Для данного КСВН рассчитываем коэффициент отражения и уровень отраженной мощности:

$$|\Gamma| = \frac{p-1}{p+1} = \frac{2.7-1}{2.7+1} = 0.45.$$

Найдем значение уровня отраженной мощности:

$$P_{\text{отраж}} = \Gamma^2 \cdot P_{\text{пад}} \cdot 100 \% = 0,45^2 \cdot 1 \cdot 100 \% = 21.1 \%.$$

В результате проведенного эксперимента при измерении согласования плазмотрона с согласованной нагрузкой и короткозамыкателем был выбран первый вариант (согласованная нагрузка) характеризующейся минимальным уровнем отраженной мощности. Что подтверждает хорошее согласование волноведущей системы. Так как коэффициент отражения соответствует уровню отраженной мощности 1 %, то есть наша система обладает хорошим согласованием.

С помощью данного плазмотрона была осуществлена конверсия природного газа в углеродный наноматериал и водород с эффективностью до 70 % . В состав углеродного наноматериала входят многослойные, однослойные луковичные нанотрубки и аморфный углерод с удельной поверхностью 200–400 м<sup>2</sup>/гр. В экспериментах мощность СВЧ генератора изменялась в пределах 0.8–2 кВт. Расход газа в пределах 0.05-1 м<sup>3</sup>/час. Эксперименты проводились при атмосферном давлении.

#### **Список информационных источников**

1. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ. Том 1. – М.: 1970.
2. Жерлицин А.Г., Шиян В.П., Косицин В.С., Медведев Ю.В., Галанов С.И., Сидорова О.И. Плазмохимическая конверсия природного газа в СВЧ реакторе // Известия Вузов. Физика. – 2010. – № 10-2. – С.270–274.
3. Альтшулер В.С. Термодинамика процессов получения газов заданного состава из горючих ископаемых. – М.: Изд-во «Наука», 1969.– 256 с.
4. Устройство для получения углерода и водорода из углеводородного газа: пат. 2390493 Российская Федерация. № 2008144433/15; опубл. 27.05.2010.