



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА»**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

**Поперечно-продольный разряд в дозвуковых и
сверхзвуковых пропан-воздушных потоках**

Текст выступления

**Выполнил
студент 4 курса
Нестеренко Ю.К.**

Москва - 2020

[Слайд 1]

Для эффективной работы высокоскоростного прямоточного воздушно-реактивного двигателя поток топливовоздушной смеси должен сохранять сверхзвуковую скорость на всех участках своего пути. Проходящая со сверхзвуковой скоростью через прямоточную камеру топливно-воздушная смесь должна иметь достаточно времени для полного сгорания с целью порождения максимальной тяги. Минимальное число Маха, при котором прямоточный двигатель может эффективно работать, ограничено тем, что сжатый поток должен быть достаточно горячим для горения топлива и иметь давление, достаточно высокое для завершения химических реакций до того, как топливовоздушная смесь покинет сопло. В настоящее время для повышения эффективности прямоточного двигателя со сверхзвуковой скоростью потока в камере сгорания активно разрабатываются новые способы, позволяющие обеспечить полное сгорание топлива внутри двигателя без применения застойных зон. Одним из таких способов является применение различного типа электрических разрядов.

Для стабилизации горения топлива в нашей лаборатории используется квазистационарный пульсирующий поперечно-продольный разряд, создаваемый в высокоскоростных многокомпонентных химически активных газовых потоках.

Для эффективного использования поперечно-продольного разряда в качестве быстрого воспламенения и стабилизации горения воздушно-углеводородных смесей необходимо знать его основные характеристики и параметры низкотемпературной плазмы.

[Слайд 2]

Экспериментальный стенд включает в себя вакуумную камеру, ресивер высокого давления воздуха, систему для создания сверхзвукового потока, прямоугольный аэродинамический канал, высоковольтный источник питания для создания газоразрядной плазмы, систему синхронизации и диагностическую аппаратуру.

[Слайд 3]

Пульсирующий поперечно-продольный разряд генерировался внутри аэродинамического канала (его можно увидеть на рисунке), который помещался внутри барокамеры. Для предотвращения теплового запираания аэродинамического канала использовался канал переменного сечения (см. рисунок). При этом отношение выходного сечения $S_2 = 38 \text{ см}^2$ к входному $S_1 = 3 \text{ см}^2$ сечению канала $S_2/S_1 = 12.7$. Продольная длина канала 50 см.

[Слайд 4]

Пульсирующий разряд формировался между двумя хорошо обтекаемыми воздушным потоком электродами. Сечение электродов представляло собой тонкий вытянутый ромб со сглаженными вершинами. Анод и катод монтировались внутри расширяющегося аэродинамического канала симметрично относительно его продольной оси с точной регулировкой расстояния между ними. Электрическая схема подвода напряжения к электродному узлу изображена на рисунке.

[Слайд 5]

На рисунке представлен фрагмент хронограммы, характеризующий динамику пульсирующего разряда, создаваемого в высокоскоростном $M \sim 1$ воздушном потоке. Видно, что исследуемый разряд представляет собой тонкий плазменный канал диаметром порядка 1 мм, вытягиваемый потоком вниз по его распространению.

[Слайд 6]

На данном слайде приведен обзорный спектр излучения плазмы пульсирующего в сверхзвуковом воздушном потоке воздуха, зарегистрированный на расстоянии $z = 1$ см от кончиков электродов при разрядном токе $i = 15.5$ А.

Температура газа в плазменном канале пульсирующего разряда определялась спектральным методом по полосам циана и молекулярного иона азота. Для этого рассчитывались модельные распределения по вращательным уровням молекулярных полос CN и N_2^+ при различных температурах газа с учетом аппаратной функции спектрального прибора

[Слайд 7]

Зависимость температуры газа в канальной плазме от расстояния z от электродов представлена на рисунке. Видно, что вблизи электродов на расстоянии $z = 0-30$ мм температура газа остается постоянной, тогда как с увеличением расстояния T_g монотонно уменьшается. При этом с ростом разрядного тока и скорости потока температура газа увеличивается при всех значениях расстояния от электродов.

[Слайд 8]

На данном слайде можно видеть зависимость температуры газа в канальной плазме пульсирующего поперечно-продольного разряда от скорости воздушного потока. Из представленных данных следует, что при всех значениях скорости потока рост разрядного тока ведет к увеличению нагрева газа. Причем при разрядном токе $i = 15.5$ А увеличение скорости потока от 100 до 500 м/с ведет к росту температуры на 1000 К, тогда как при $i = 14.5$ А температура увеличивается значительно медленнее.

[Слайд 9]

Зависимость T_g от скорости потока при различных значениях кратчайшего расстояния между электродами представлена на рисунке. Можно заметить, что температура тем больше, чем больше расстояние между анодом и

катодом. Общий характер зависимости не меняется при изменении межэлектродного расстояния.

[Слайд 10]

Таким образом, высокая температура газа в канальной плазме пульсирующего разряда позволила нам осуществить быстрое воспламенение углеводородного топлива и стабилизировать горение пропана в условиях высокоскоростного воздушного потока.

В качестве примера на данном рисунке приведена фотография плазменно-стимулированного сверхзвукового горения пропан-воздушного топлива в гладком расширяющемся аэродинамическом канале. Видно, что в процессе сверхзвукового сгорания пропана на выходе из аэродинамического канала образуется короткий факел голубого цвета, то есть при горении не образуется сажа, поэтому в спектрах, снятых в различных областях вдоль аэродинамического канала и на выходе из него, полностью отсутствуют полосы Свана молекулярного углерода.

Вывод

Получены зависимости от разрядного тока, скорости потока и расстояния от электродов величины нагрева газа в условиях плазмы пульсирующего поперечно-продольного разряда. Показано, что в данных условиях газ сильно нагревается, что позволило экспериментально реализовать стационарное сверхзвуковое плазменно-стимулированное горение пропан-воздушной смеси.