

$$\eta_u = 2y \left(\varphi \cos \alpha_r \sqrt{1 - \varrho_r} - \bar{D}^2 y + \bar{D} \psi_r \cos \beta_2 \frac{W_{2s}}{C_s} \right). \quad (10)$$

Последняя характеристика $N_T = f(y)$ рассчитывается с использованием полученных выше характеристик $G_T = f(y)$ и $\eta_T = f(y)$ в соответствии с формулой

$$N_T = G_T L_s \eta_T. \quad (11)$$

Рассмотренная методика позволяет построить главные характеристики МТ во всем диапазоне изменения y от $y = 0$ до $y = y_{xx}$ холостого хода, соответствующего равенству $\eta_T = 0$ или $N_T = 0$ с учетом изменения ϱ_r и ψ_r . Принятие в некоторых методиках расчета $\varrho_r = const$ и $\psi_r = const$ приводит к существенному изменению протекания зависимости $\eta_u = f(y)$, особенно в центростремительной МТ, что является важным обстоятельством в теории и практике МТ.

Библиографический список

1. Надточий О.А., Наталевич А.С., Сукчев В.М. К вопросу о потребной мощности для малоразмерных турбодетандеров // Проблемы аэродинамики компрессоров газотурбинных двигателей: Тез. докл. Всесоюз. семинара. Харьков, 27-29 января 1982 г. / Харьков. авиац. ин-т. Харьков, 1982. 59 с. Деп. в ВИНТИ 27.06.83. № 3457.

2. Наталевич А.С. Воздушные микротурбины. М.: Машиностроение. 1970. 208 с.

УДК 537.521.621.6

В.Т.Волов, Х.Д.Ламажанов, А.Д.Марголин,
В.М.Шмелев

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫХ РЕЖИМОВ
ВИХРЕВОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Проведено экспериментальное исследование вихревого тлеющего разряда с целью определе-

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992

ISBN 5-230-16926-5

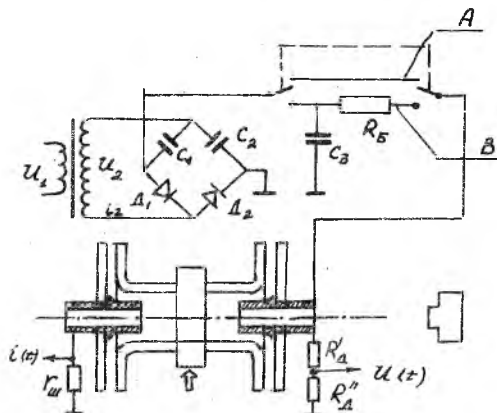
ния границ устойчивости. Обнаружено явление множественного пробоя, при котором отдельные пробойные каналы расположены не на оси вихревой камеры. Проведена оценка давления газа в области пробоя. Обсуждаются перспективы использования данного явления для безинерционной диагностики структуры вихревого потока.

Стабилизация тлеющего разряда вихревым потоком газа имеет большое прикладное значение для создания газоразрядных лазеров и для разработки различных типов устройств с неравновесной газоразрядной плазмой. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования диффузного тлеющего разряда в турбулентном потоке газа и определены основные параметры, влияющие на ее предельные характеристики [1, 2]. Для разрядов в сильно закрученных турбулентных потоках аналогичные результаты исследований неизвестны. Приведенный в работе [3] оценочный критерий не согласуется с экспериментальными фактами.

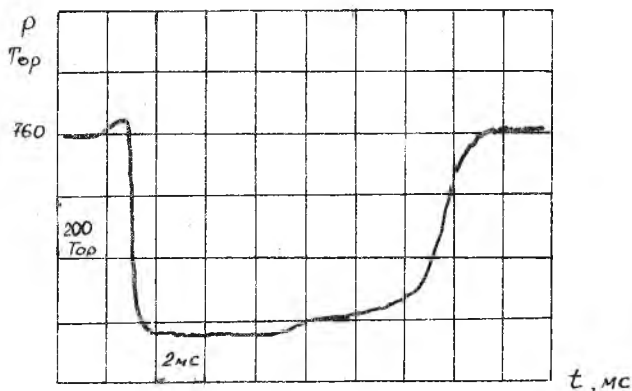
Для прогнозирования работы газоразрядных устройств необходимо знать границы перехода диффузного режима в неустойчивый. С целью определения границы устойчивости диффузного тлеющего разряда нами были проведены исследования на установке, схема которой приведена на рис. 1.

Экспериментальная установка состояла из двухдиффузорной самовакuumирующейся вихревой трубы, электродов, системы газонапуска, схемы электрического питания и измерительного комплекса. Газодинамический режим установки был квазистационарным (рис. 2), режим газового разряда мог быть как квазистационарным, так и сугубо нестационарным, в зависимости от способа включения блока питания (схемы А и Б) на рис. 1.

В случае работы установки по схеме А наблюдался диффузный режим газового разряда, что подтверждалось скоростной фотосъемкой с помощью фоторегистратора ФЭР. При работе установки по схеме Б (без балластного сопротивления) наблюдался ряд последовательных пробоев. Следует отметить, что данный экспериментальный факт множественного пробоя в вихревом потоке газа наблюдался впервые. На рис. 3 на относительном радиусе вихревой камеры, приблизительно $\bar{r} = 0,15$,



Р и с. 1. Экспериментальная установка: $U_1 = 0 \dots 250$ В; $U_2 = 0 \dots 11$ кВ; $i_2 = \text{до } 125$ мА; $C_1 = C_2 = 0,5$ мкФ; $D_{1,2} = 4$ диода Д 1008; $C_3 = 0,25$ мкФ; $R_5 = 40 \dots 300$ кОм; $r_w = 0,8$ Ом; $R'_A : R''_A = 10^{-3}$



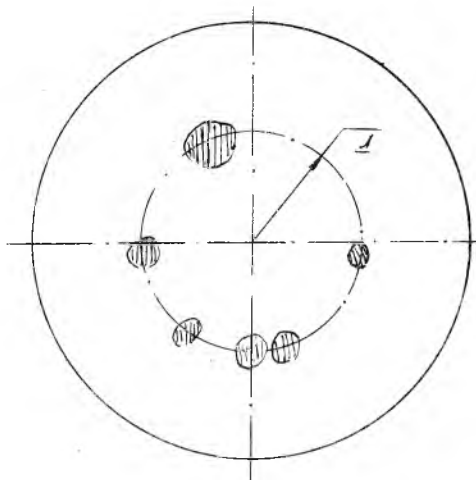
Р и с. 2. Характерная осциллограмма давления (усреднено по площади с $r = 0,3$): 2 мс/дел, 200 торр/дел

виден ряд концентрически расположенных каналов, соответствующих ряду последовательных пробоев. На рис. 4 приведены характерные осциллограммы тока и разряда и напряжения на электродах, из которых следует, что "время жизни" канала для отдельного пробоя порядка миллисекунды.

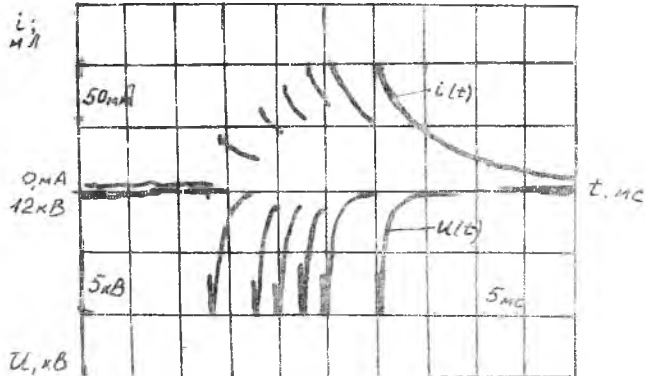
Так как газодинамические режимы установки по схеме А и Б были совершенно одинаковы, то основным критерием перехода квазистационарного

диффузного разряда в режим канального пробоя являлось соотношение характерных времен разрядки $\tau_{RC} = RC$ и газодинамического времени $\tau_r \sim 1$ мс. При работе установки по схеме А $\tau_{RC} \gg 1$ мс ($\tau_{RC} \gg 10,0$ мс), по схеме Б $\tau_{RC} < 1$ мс, т.е. время разрядки $\tau_{RC} \sim \tau_r$ — количественный критерий, определяющий устойчивые и неустойчивые режимы тлеющего разряда в вихревом потоке газа.

В науке и технике часто бывает так, что негативный результат, полученный в одной области, может быть позитивным с точки зрения применения в другой области. В нашем случае множественный пробой является негативным, например для работы лазеров, но, с другой стороны, для исследования мгновенной структуры сверхзвуковых турбулентных закрученных потоков может явиться основой перспективного, практически безэнергичного метода исследования газовых потоков. Все известные методы зондирования турбулентных потоков мало применимы для изучения сверхзвуковых закрученных турбулентных потоков, имеющих место в вихревых расходных трубах, самовакуумирующихся вихревых трубах и т.д. Например, введение газодинамических датчиков в вихревой поток приводит, по данным [4], к существенному изменению структуры потока. Вихревые сверхзвуковые потоки, как известно,



Р и с. 3. Схематичное изображение свечения разряда, снятое вдоль оси СВТ



Р и с. 4. Характерные осциллограммы тока и напряжения: 5 мс/дел; 5 кВ/дел; 50 мА/дел

являются неизотермическими [5], поэтому метод термоанемометрирования неприменим, так как датчик термоанемометра одновременно фиксирует флуктуации давления, плотности и температуры, что приводит к серьезным трудностям при расшифровке сигнала.

Использование чисто лазерных методов при исследовании сверхзвуковых сильно закрученных потоков наталкивается на ряд серьезных трудностей. Поэтому мы пришли к мысли о возможности использования явления множественного пробы для исследования мгновенной структуры сверхзвуковых закрученных турбулентных потоков.

Использование множественного пробы в качестве перспективного метода диагностики обусловлено тем, что данный метод безынерционен, так как сами ионизированные молекулы газа являются индикаторами флуктуации плотностей и давления. Возмущения, вносимые разрядом за счет нагрева, можно ликвидировать выбором времени разряда. С другой стороны, предлагаемый метод позволяет создать атлас временных срезов структуры газового потока.

Множественный пробы в качестве метода исследования может дать существенно больше информации при использовании лазерной доплеровской анемометрии. На рис. 3 экспериментально зафиксирован факт наличия флуктуаций пониженного давления и плотности в сверхзвуковом закрученном турбулентном потоке на радиусе $\bar{r} = r/r_{r0} = 0,15$.

Данный экспериментальный факт является уникальным, так как ни один из известных методов не позволяет выявить быстрые флуктуации понижения плотности газа. Как известно из физики газового разряда [6], пробой в газах для условий, присущих данному эксперименту, происходит в зоне с наименьшей плотностью. В присоединенной области вихревой трубы осредненное давление, измеренное известными методами, всегда ниже, чем на периферии [5]. Данный эксперимент показывает, что реальная мгновенная структура (газ практически неподвижен в момент развития пробоя ~ 1 мкс) турбулентного закрученного потока качественно отличается от осредненной структуры данного класса течений.

Проведем количественную оценку данного экспериментального факта. Давление на входе $p_0 = 10^5$ Па. Полная степень разрежения газа в вихре $\mathcal{N} = 33$. Давление в присоединенной области $p_{ос} = 0,31 \cdot 10^5$ Па. Газ — азот. Для данной степени разрежения газа в вихре осредненное давление на оси оценивается $(0,3 \dots 0,31) \cdot 10^5$ Па. Осредненное давление на радиусе пробоя $r = 0,15$ по известным соотношениям адиабатического распределения в вынужденном вихре — $0,33 \cdot 10^5$ Па. Из данного факта можно сделать вывод, что мгновенное значение давления на радиусе разряда будет меньше, чем давление на оси, т.е. $p < (0,3 \dots 0,31) \cdot 10^5$ Па, что меньше соответствующего осредненного значения давления на радиусе 0,15 на 10%.

Данная оценка является верхней границей мгновенного значения давления на радиусе разряда. Проведем оценку нижней границы давления исходя из представлений о пробойных напряженностях электрического поля [6]. Значение пробойной напряженности поля для данного газа — 30 кВ/см·атм, а экспериментальное значение пробойной напряженности поля 3 кВ/см, следовательно, мгновенное значение давления будет порядка $0,1 \cdot 10^5$ Па, т.е. давление в разрядной области можно оценить как $0,1 \cdot 10^5$ Па $< p < 0,31 \cdot 10^5$ Па. Данная количественная оценка мгновенного значения локального давления не укладывается в привычные диапазоны значений флуктуаций потока. Полученный экспериментальный результат может открыть новую страницу в изучении турбулентного закрученного потока.

Библиографический список

1. Мышенков В.М., Махвиладзе Г.М. Стабилизирующее влияние процессов турбулентного переноса на ионизационную неустойчивость // Физика плазмы. 1984. Т. 5. С. 411.
2. Бондаренко А.В., Голубев В.С., Даныщиков Е.В., Лебедев Ф.В., Рязанов А.В. О влиянии турбулентности на устойчивость // Физика плазмы. 1979. Т. 4. С. 697.
3. Марголин А.Д., Шмелев В.М. К теории вихревого тлеющего разряда // Журнал техн. физики. 1980. Т. 50. С. 745-748.
4. Гупта А., Лилли А., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987. 588 с.
5. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
6. Райзер Ю.П. Основы современной физики газоразрядных процессов. М.: Наука, 1980. 388 с.

УДК 629.7.036

О.В.Савченко, А.М.Цыганов

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА МАССООБМЕНА В ВИХРЕВЫХ ГОРЕЛКАХ

(Самарский аэрокосмический университет)

Предпринята попытка обобщения большого количества экспериментальных данных по массообмену для вихревых горелок, отличающихся друг от друга степенью закрутки потока, диаметром завихрителя, длиной камеры закручивания. Обобщение осуществлено путем замены характерного размера горелки на длину зоны обратных токов в формуле для времени пребывания. Отражено условие сохранения импульса при рассмотрении эжекции из зоны обратных токов.

ISBN 5-230-16926-5

Вихревой эффект
и его применение в технике.
Самара, 1992