тока одновременно возбуждает весь спектр ПМСВ, а сильная и управляемая дисперсия способствует получению СВЧ радиоимпульсов с различными характеристиками.

Авторы выражают благодарность Ю.И. Фетисову за полезные советы при выполнении работы.

Литература

[1] Adam J.D., Collins J.H. - Proc. IEEE, 1976, v. 64, p. 794.
[2] Есиков О.С., Толокнов И.А., Фетисов Ю.К. - Радиотехника и электроника, 1980, т. 25, с. 128.
[3] Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.: Наука, 1973.

Вильнюсский государственный университет им. В. Капсукаса

Поступило в Редакцию 16 февраля 1984 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып. 15 12 августа 1984 г.

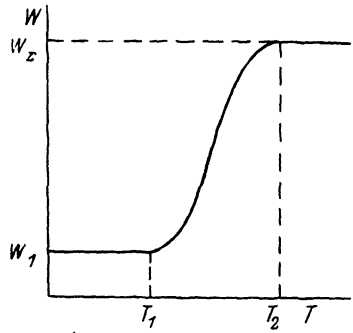
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОГО ГАЗА В КАНАЛЕ С ТЛЕЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ

П.А. Войнович, Б.М. Дымшиц, А.А. Фурсенко

Для ряда технических приложений требуется создание газовых сред с высоким уровнем колебательного возбуждения молекул при низкой поступательной температуре. Такие условия могут быть созданы в тлеющем разряде в сверхзвуковом потоке газа. В [1] обсуждается использование указанного подхода для достижения высокого сверхравновесного выхода продуктов некоторых химических реакций, а в [2] описан электроионизационный CO-лазер со сверхзвуковым потоком газа. Таким образом, исследование особенностей газодинамики сверхзвукового течения газа в зоне тлеющего разряда представляет значительный интерес.

Поле стационарного течения газовой смеси в канале можно условно разбить на ядро потока, в котором эффекты вязкости несущественны, и пограничные слои на стенках канала. В ядре потока основная часть энергии разряда идет на возбуждение колебательных степеней свободы молекул. Из-за низкой поступательной температуры газа колебательную энергию молекул можно считать замороженной и нагрев газа вследствие ее релаксации пренебрежимо малым. В этой области могут эффективно протекать процессы полезного использования колебательного возбуждения (химические реак-

Рис. 1.



ции, излучение). В пограничных слоях ввиду повышения температуры газа и увеличения времени его пребывания в зоне разряда значительная доля энергии разряда переходит в поступательные степени свободы, т.е. идет на нагрев газа. В расчетах использовалась простая зависимость доли объемной мощности разряда, идущей в тепло, общий вид которой представлен на рис. 1. Параметры модели выбирались с учетом конкретных свойств рассматриваемых течений.

Характерные числа Рейнольдса в моделируемых течениях $Re \gtrsim 10^3$, задача имеет выделенное направление течения, проекция скорости ядра потока на которое всегда больше скорости звука. Поэтому для расчета можно использовать методы, предложенные в [3], основанные на „параболическом" приближении уравнений Навье–Стокса и использующие в качестве основы маршевые разностные схемы.

Рассмотрим ламинарное течение газа вблизи поверхности электрода. На рис. 2. сплошными линиями представлены изотермы течения для следующих параметров ядра потока на входе в область разряда: число Маха M=318, температура газа T=80 K, давление $P=10^4$ Па; температура стенки T_w=350 K; параметры модели тепловыделения: $W_\Sigma=10^8$ Вт/м^3, $W_1=0.1\,W_\Sigma$, T_1=100 K, T_2=300 K. В этих условиях, несмотря на быстрый рост, тепловой пограничный слой на всей рассматриваемой длине остается достаточно тонким, но максимальное значение температуры в нем растет и к выходному сечению X=0.2 м превышает величину T=1000 K. В рассмотренном случае повышенная интенсивность тепловыделения в пограничном слое ввиду его относительно малой толщины слабо влияет на параметры течения в ядре потока.

Приведенный пример соответствовал случаю весьма тонкого ламинарного пограничного слоя на входе в расчетную область. В реальных условиях зоне разряда часто предшествует достаточно длинный канал, пограничные слои на стенках которого занимают заметную долю сечения канала и течение в них носит турбулентный характер. Для исследования таких течений в расчетах использовалась алгебраическая модель турбулентности, основанная на гипотезе „длины пути перемешивания" Прандтля (см., например, [4]). При этом на входе в расчетную область задавались значения толщины пограничных слоев и соответствующие профили газодинамических параметров.

Наличие на входе в разрядную область толстых пограничных слоев качественно меняет картину течения. Интенсивный турбулент-

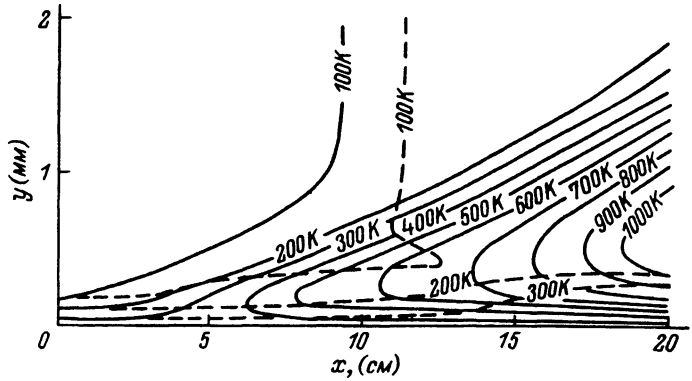


Рис. 2.

ный перенос тепла препятствует образованию узких зон высоких температур, в то же время значительная толщина областей интенсивного тепловыделения оказывает существенное влияние на параметры в ядре потока. Быстрый рост давления сопровождается нагревом и торможением потока с возможностью отрыва пограничных слоев и запирания канала. Так, при течении в канале высотой 0.05 м, пограничные слои на стенках которого к началу зоны разряда занимали 30% сечения, при параметрах в ядре потока M=3.5, T=60 K, P=10^4 Па и полной объемной мощности разряда W_Σ= =$2\cdot10^8$ Вт/м^3 запирание наступало на расстоянии 0.1 м от начала зоны разряда.

Очевидно, что независимо от конкретного технического приложения, рост тепловых пограничных слоев и разогрев газа в них являются вредным эффектом, приводящим к снижению полезного объема зоны разряда, отклонению параметров в нем от оптимальных и образованию условий для развития неустойчивостей.

Малая толщина теплового пограничного слоя и низкое значение температуры в нем могут быть обеспечены путем организации распределенного отсоса газа через поверхность электрода. На рис. 2 штриховыми линиями представлены изотермы при тех же параметрах течения с распределенным отсосом газа через стенку. Расход газа через единицу площади поверхности стенки составляет всего 01% от расхода через единицу нормального к стенке сечения в ядре потока.

Приведенные результаты иллюстрируют высокую эффективность отсоса погранслоев для предотвращения их роста и перегрева газа в приэлектродных областях. Кроме того, распределенный отсос через стенки канала обеспечивает более заполненный профиль скоростей в пограничном слое, что препятствует его турбулизации [5].

Литература

[1] Жданок СА. Газодинамическое стимулирование физико-химических процессов с участием колебательно-возбужденных молекул. - В сб.: Высокотемпературная газодинамика, ударные трубы и ударные волны. Минск: ИТМО АН БССР, 1983, с.3-12.

[2] Klosterman E.L., Byron S.R. Electric and laser diagnostic of an 80-kW supersonic cw CO electric laser. - J. Appl. Phys., 1979, v. 50, N 8, p. 5168-5175.

[3] Войнович П.А, Фурсенко АА. Расчет струйных и внутренних течений вязкого газа 1. Численные методы. Л.: Препринт ФТИ АН СССР, № 860, 1983. 24 с.

[4] Лапин ЮВ. Турбулентный пограничный слой в сверхзвуковых потоках газа. - М.: Наука, 1982. 312 с.

[5] Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя.- М.: Наука, 1974. 712 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
3 апреля 1984 г.

Письма в ЖТФ, том 10, вып.15 12 августа 1984 г.

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ В ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКОМ ИНТЕРФЕРОМЕТРЕ С ВНЕШНЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

И. Крауялене, Р. Римейка,
Д. Чиплис

В последние годы большое внимание уделяется явлению оптической бистабильности в различных материалах и устройствах. В „гибридных" схемах оптической бистабильности очень удобно использовать элементы интегральной оптики, поскольку для них достаточно малых управляющих напряжений и небольших интенсивностей света [1-4]. В [4] наряду с чисто оптической бистабильностью была осуществлена т.н. электрооптическая бистабильность, т.е. скачкообразное изменение интенсивности света на выходе при плавном изменении управляющего напряжения. В качестве переключающего элемента использовался одноканальный интегрально-оптический модулятор. Целью же настоящей работы являлось осуществление электрооптической бистабильности и получение на ее основе колебаний интенсивности света при использовании интегрально-оптического интерферометра Маха-Цендера.