

9. Lam S. H. An analytical theory of vibrational relaxation for anharmonic molecules under strongly pumped conditions.— J. Chem. Phys., 1977, vol. 67, N 6.
10. Schmailzl U., Pummer H., Proch D., Kompa K. L. IR-laser-induced collisional pumping of small molecules: II. Modelling.— J. Phys. D: Appl. Phys., 1978, vol. 11, N 2.
11. Агроскин В. Я., Васильев Г. К., Карьянов В. И., Тальрозе В. Л. Параметрический анализ импульсного  $H_2 - F_2$ -лазера.— Квант. электроника, 1976, т. 3, № 9.
12. Гурьев В. И., Васильев Г. К., Батовский О. М. Измерение скорости вращательной релаксации молекул HF.— Письма в ЖЭТФ, 1976, т. 23, № 5.
13. Hitchen J. J., Hobbs R. H. Rotational relaxation studies of HF using in double resonance.— J. Chem. Phys., 1976, vol. 65, N 7.

УДК 621.375.828

## СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТОВ МОЩНОСТИ $CO_2$ -ГДЛ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

С. В. Куликов

(Черноголовка)

Расчеты мощности газодинамического лазера на углекислом газе  $P$  проводятся, как правило, в приближении геометрической оптики с использованием условия стационарной генерации в локальной или в интегральной форме [1]. В работе [2], где рассчитывалось течение продуктов горения стехиометрической топливной комбинации ацетилен и обогащенного азотом воздуха через сопло и резонатор Фабри — Перо длиной 20 см вдоль по потоку, были сопоставлены эти методы расчетов. Оказалось, что величины мощности излучения, полученные при использовании интегральной формы условия стационарной генерации, несколько выше, чем при использовании локальной формы (разница не превышала 25%).  $CO_2$ -ГДЛ на продуктах горения в настоящее время широко распространены. Поскольку получаемые в результате горения рабочие среды имеют довольно разнообразный состав [1], представляет интерес в связи с оценками энергетических возможностей этих сред провести подобное сравнение в более широкой области составов. В данной работе это сделано для пяти различных сред, охватывающих почти все предельные случаи, и в отличие от [2] оптимизировались коэффициент пропускания выходного зеркала  $t$  и длина резонатора вдоль по потоку.

1. Энергия  $\overline{W}$ , выводимая из резонатора Фабри — Перо в виде излучения с единицы массы рабочей среды, численно рассчитывалась в приближении геометрической оптики с учетом взаимодействия колебательной кинетики, излучения и газодинамики потока. Способ расчетов с использованием локального условия стационарной генерации описан в [3]. В случае применения интегрального условия в отличие от [3] полагалось постоянство интенсивности излучения  $I$  в резонаторе, величина которой подбиралась так, чтобы выполнялось суммарное равенство усиления излучения и его потерь при отражении от зеркал:

$$\int_{x^0}^{x'} k_* dx = \frac{x' - x^0}{L} \left( \frac{1 - r_1}{1 + r_1} + \frac{1 - r_2}{1 + r_2} \right).$$

Здесь  $x^0$  и  $x'$  — значения координаты вдоль по потоку на входе и выходе из резонатора соответственно;  $L$  — расстояние между зеркалами резонатора;  $r_1$  и  $r_2$  — коэффициенты отражения зеркал;  $k_*$  — насыщенный коэффициент усиления. Удельный энергосъем в данном случае рассчитывался

по формуле

$$\bar{W} = P/G = (x' - x^0)HIt/G(1 + r_1),$$

где  $G$  — массовый расход;  $H$  — высота зеркала резонатора. (Здесь предполагалось, что излучение выводилось только через зеркало с коэффициентом отражения  $r_1$ .)

2. Расчеты проводились при температуре торможения 1600 К, давлении торможения 20 атм. Течение сред через плоское профилированное сопло минимальной длины (с угловой точкой) с высотой горла  $2 \cdot 10^{-4}$  м и степенью расширения 30 рассчитывалось способом [4, 5]. Вход в резонатор располагался в точке достижения максимума ненасыщенного коэффициента усиления вдоль по потоку. Для того, чтобы косвенно учесть и потери излучения в резонаторной полости, коэффициент поглощения каждого зеркала полагался довольно большим и равным 0,06;  $L = 2$  м. Составы рассматриваемых рабочих сред существенно отличались друг от друга. Переход от состава 1, %:  $N_2$  69,0;  $CO_2$  27,6;  $H_2O$  2,3;  $O_2$  1,1 (здесь и далее все в объемных %) к составам 2 ( $N_2$  64,5;  $CO_2$  12,9;  $H_2O$  2,2;  $O_2$  20,4), 3 ( $N_2$  65,4;  $CO_2$  9,3;  $H_2O$  3,8;  $CO$  21,2;  $H_2$  0,3), 4 ( $N_2$  69,7;  $CO_2$  9,3;  $H_2O$  20,9;  $O_2$  0,1) и 5 ( $N_2$  84,8;  $CO_2$  10,7;  $H_2O$  2,4;  $CO$  2,0;  $H_2$  0,1) характеризовался уменьшением концентрации  $CO_2$  и соответственным увеличением концентраций  $O_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  в средах. Полученные в расчетах величины удельного энергосъема, оптимальных коэффициента пропускания  $t_{\text{опт}}$  и координаты вдоль по потоку на выходе из резонатора  $x'_{\text{опт}}$  (приведены в таблице. Расчеты с использованием локального условия стационарной генерации заканчивались в точке потока, в которой уже невозможно подобрать величину  $I$ , обеспечивающую заданное этим условием значение  $k_{**}$  и таким образом находилась величина  $x'_{\text{опт}}$ . При применении интегрального условия величина  $x'$  варьировалась, так как оказалось, что для резонатора, на выходе из которого  $k_{**} = 0$ , не достигались максимальные величины  $\bar{W}$ . В этом случае для составов 3 и 4 они получались даже меньше, чем при использовании локального условия и равнялись 8,3 и 4,0 кДж/кг при оптимальных значениях  $t$ , равных 0,19 и 0,14 соответственно. Обычно же величины  $\bar{W}$  получались выше при использовании интегрального условия, а рассчитанные при оптимальных  $x'$  тем более (см. таблицу).

Разница величин удельного энергосъема, вычисленных с использованием локальной и интегральной форм условия стационарной генерации для разнообразных по составу многокомпонентных рабочих сред при оптимальных значениях  $t$  и  $x'$ , составляла всего 6—18% и уменьшалась с падением концентрации  $CO_2$ . Поэтому любую из этих форм можно использовать для оценок энергетических возможностей рабочих сред  $CO_2$ -ГДЛ. Полученные в обоих случаях оптимальные длины резонаторов имели

Номер состава	$x^0$ , см	Использование локального условия			Использование интегрального условия		
		$\bar{W}$ , кДж/кг	$t_{\text{опт}}$	$x'_{\text{опт}}$ , см	$\bar{W}$ , кДж/кг	$t_{\text{опт}}$	$x'_{\text{опт}}$ , см
1	3,0	6,5	0,24	7,8	8,0	0,34	8±0,5
2	3,0	11,4	0,29	15,0	12,6	0,39	15±2,5
3	1,6	9,1	0,24	15,0	9,8	0,29	20±2,5
4	1,6	4,6	0,19	10,2	4,9	0,24	10±1,5
5	4,7	17,0	0,34	23,6	19,0	0,34	35±2,5

одинаковую не только качественную, но и количественную зависимость от состава, однако различались между собой больше, чем величины удельного энергосъема (до 30%). Значения  $t_{\text{опт}}$  при этом имели несколько различную качественную зависимость от состава.

Поступила 1 III 1979

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лосев С. А. Газодинамические лазеры. М., Наука, 1977.
2. Селезнева И. К. Газодинамические лазеры на  $\text{CO}_2$  с тепловой накачкой. Дис. на соиск. учен. степени канд. физ.-мат. наук. М., ИПМ АН СССР, 1972.
3. Генич А. П., Куликов С. В., Манелис Г. Б. Расчеты энергетических характеристик многокомпонентных рабочих сред в  $\text{CO}_2$ -ГДЛ на продуктах.— ПМТФ, 1979, № 4.
4. Васильев В. М., Куликов С. В., Скребков О. В. О расчете химически и колебательно-неравновесного течения многокомпонентного газа через сопло.— ПМТФ, 1977, № 4.
5. Генич А. П., Евтюхин Н. В., Куликов С. В., Манелис Г. Б., Соловьева М. Е. Расчеты коэффициентов усиления многокомпонентных рабочих сред в  $\text{CO}_2$ -ГДЛ на продуктах горения.— ПМТФ, 1979, № 1.

УДК 533.09

#### РАЗРЯД ПО ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕГРАФИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. А. Зобов, В. Г. Соколов, А. Н. Сидоров,  
Г. И. Смирнова, Ю. В. Томашевич

(Ленинград)

Сильноточные разряды в газах в последнее время вызывают интерес как возможные источники света для оптической накачки лазеров.

Обычно для инициирования разряда используют электрический взрыв проволочек (ЭВП) [1] или системы проволочек [2]. В работе [3] вместе с ЭВП рассматривалась проблема инициирования сильноточного разряда с помощью скользящих искр.

Наряду с этими способами инициирования может быть применен и разряд по полупроводящей поверхности [4]. Наибольший интерес представляет разряд на поверхности углеродистого графита, однако широкому применению этого типа разряда мешали трудности изготовления устройств с большой длиной разрядного промежутка (более 20 см). Успехи технологии последнего времени [5] позволили преодолеть эти трудности. В настоящее время промышленность выпускает большой ассортимент углеродистых материалов, которые могут быть применены для инициирования пробоя в разрядных промежутках практически любой длины. В этих условиях представлялось интересным исследовать пробой на поверхности угольных нитей (УН) при длине разрядного промежутка более 0,2 м в различных газах, а также динамику его развития и зависимость пробоя от параметров источника напряжения.

1. Электрическая схема экспериментальной установки представляла  $LCR$  разрядный контур. Емкость  $C$  имела величину 16; 27; 2400 мкФ. Максимальные зарядные напряжения составляли соответственно 20; 40 и 5 кВ. Индуктивность контура во всех случаях была порядка 1—1,5 мкГ. Роль сопротивления  $R$  играла углеродистая нить, разряд по поверхности которой и был объектом исследования. Нить помещалась в вакуумную камеру из оргстекла. Цепь разряда замыкалась управляемым коммутатором. Ток в цепи регистрировался поясом Роговского.

В качестве среды, окружающей угольную нить, были применены воздух, углекислый газ, гелий, неон и шестифтористая сера при давлениях от 35 до 760 мм рт. ст.