

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ МГНОВЕННОГО СМЕШЕНИЯ К АНАЛИЗУ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО N₂O-ЛАЗЕРА

А. В. Лавров, С. С. Харченко
(Ленинград)

Экспериментальные и расчетно-теоретические исследования, проведенные в последние годы, указывают на высокую эффективность CO₂-ГДЛ со смешением горячего азота с CO₂+He(N₂O) [1—4]. Наряду с изучением CO₂-лазера представляет интерес исследование смесительного варианта N₂O-лазера. Значительное повышение КПД и удельного энергосъема в таких лазерах имеет место вследствие эффективного «замораживания» колебательной энергии N₂, небольших потерь на V—T-деактивацию CO₂ и N₂O, возможности повышения температуры N₂. Последняя причина особенно существенна для N₂O-ГДЛ в связи со значительной диссоциацией N₂O при высоких температурах (в экспериментах на ударных трубах при T₀ ≳ 1600 K [5, 6]).

В настоящей работе проведена оценка мощности N₂O-лазера предварительным смешением и исследованы различные варианты смесительных устройств в рамках модели мгновенного смешения.

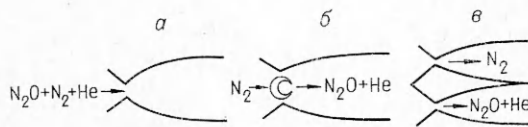


Рис. 1.

Типы конструкций, исследованные в данной работе, приведены на рис. 1, а (предварительное смешение), рис. 1, б (смешение в сверхзвуковом сопле), рис. 1, в (смешение в канале постоянного сечения). Течение смеси N₂O+N₂+He рассчитывалось с использованием одномерных уравнений газодинамики и колебательной кинетики [5, 7, 8]. Вязкость, теплопроводность, диффузия не учитывались. Диссоциация N₂O не учитывалась, и исследование режимов, в которых диссоциация существенна, не проводилось. При течении чистого азота в соплах его V—T-релаксация незначительна [4, 8], поэтому для расчета такого течения использовались изэнтропические формулы. Форма сопел задавалась соотношением

$$h = h^* + m \ln(1 + \operatorname{tg} \theta \cdot x),$$

где h — полувисота сопла; h^* — полувисота сопла в горле или полувисота сопла в плоскости смешения N₂ и N₂O+He; θ — половина угла раскрытия сопла; m полагалось равным 1 см.

Процесс смешения рассчитывался в приближении мгновенного смешения. При этом предполагалось, что масса, импульс, полная энтальпия и колебательная энергия сохраняются. При расчете ГДЛ со смешением задавалось только давление торможения N₂O+He, а давление торможения N₂ вычислялось по изэнтропическим формулам так, чтобы смешивающиеся потоки имели одинаковое давление.

Резонатор рассчитывался в рамках приближения постоянной интенсивности [8, 9], длина резонатора по потоку 0,1 м, расстояние между зеркалами 0,5 м. Коэффициенты поглощения зеркал $a_1 = a_2 = 0,02$, коэффициенты отражения зеркал $r_1 = 0,98$, величина r_2 оптимизировалась в каждом расчете так, чтобы энергосъем был максимальным. Энергосъем вычислялся по формуле $W = P/G$, где P — мощность, G — расход.

На рис. 2 представлены результаты расчетов ГДЛ с предварительным смешением (сплошная линия) при $h^* = 5 \cdot 10^{-4}$ м, $\theta = 30^\circ$, $h/h^* = 20$, $p_0 = 5$ МПа, $T_0 = 1500$ К; ГДЛ со смешением в сверхзвуковом сопле (штриховая линия) при $p_{01} = 0,6$ МПа, $T_{01} = 300$ К, $T_{02} = 2000$ К, $M_1 = 1,22$, $M_2 = 2,45$, $h^* = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $\theta = 30^\circ$, $h/h^* = 7$; ГДЛ со смешением в канале постоянного сечения (штрихпунктирная линия) при $p_{01} = 2$ МПа, $T_{01} = 800$ К, $T_{02} = 2000$ К, $M_1 = 4,1$, $M_2 = 4,72$. Индексы 1 и 2 относятся к струям N₂O+He и N₂ соответственно.

Во всех трех случаях объемная концентрация N₂ в смеси полагалась равной 0,6. При этом варьировалось содержание N₂O и He. Результаты расчетов указывают, что смешение в параллельных потоках при больших числах Маха позволяет увеличить энергосъем более чем в 4 раза по сравнению с ГДЛ с предварительным смешением. Использование смесительного устройства типа рис. 1, б дает меньший выигрыш, чем использование смесительного устройства типа рис. 1, в. Интересно отметить, что для каждого из исследованных лазеров максимальный энергосъем достигается при несколько различных концентрациях N₂O.

Наряду с исследованием лазеров на смеси N₂O+N₂+He изучалась возможность генерации на смеси N₂O+N₂. При этом оказалось, что в отличие от CO₂-лазера гене-

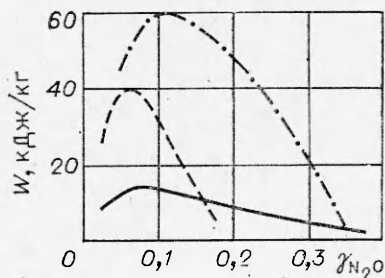


Рис. 2.

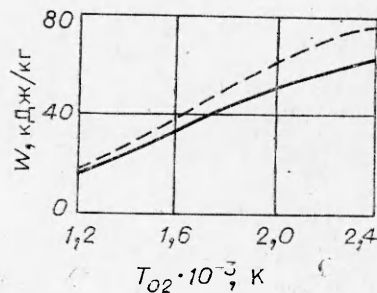


Рис. 3.

рация в смеси N_2O+N_2 незначительно меньше, чем в смеси N_2O+N_2+He . Положительный коэффициент усиления в смеси без гелия был получен как в расчете, так и в эксперименте [5].

На рис. 3 для ГДЛ со смещением в канале постоянного сечения приведена зависимость энергосъема от температуры при $p_{01}=1$ МПа (сплошная линия) и $p_{01}=3$ и 5 МПа (штриховая линия). Параметры ГДЛ те же, что и в расчетах, представленных на рис. 2.

В работе [10] численно исследован режим генерации в гомогенном N_2O -лазере. Рассчитанное в настоящей работе значение энергосъема в 1,5 раза превышает значение, полученное в указанной статье при тех же параметрах. Учитывая, что в [10] не приведена форма сопла, а также приближенно учтено влияние вязкости и теплопроводности, такое согласие следует признать удовлетворительным.

Поступила в редакцию
27/XII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Н. Крошко, Р. И. Солоухин, Н. А. Фомин. ФГВ, 1974, 10, 4.
2. J. P. Taran, M. Charpanel, R. Borgchi. AIAA Paper, 1973, No. 73—622.
3. W. Schall, P. Hoffman, H. Hügel. J. Appl. Phys., 1977, 48, 2.
4. P. E. Cassidy, J. Newton. AIAA Paper, 1976, No. 76—343.
5. А. С. Бирюков, А. Ю. Волков и др. Препринт. ФИАН № 140, 1974.
6. В. Г. Тестов, Ю. И. Гринь. ЖЭТФ, 1976, 71, 1 (7).
7. А. С. Бирюков, Ю. А. Кулагин, Л. А. Шелепин. ЖТФ, 1976, 46, 2.
8. С. А. Лосев. Газодинамические лазеры, М., Наука, 1977.
9. В. И. Головичев, М. Д. Таран.— В сб.: Аэрофизические исследования. Вып. 6. Новосибирск, ИТПМ СО АН СССР, 1976.
10. M. Brunne, A. Zielinski, J. Milewski. Bulletin de L'Academie Polonaise des sciences, serie des sciences techniques, v. XXV, № 5, 1977.

СКОРОСТЬ ДЕТОНАЦИИ НЕКОТОРЫХ ЖИДКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАНИТРОМЕТАНА И ФТОРНИТРОФОРМА

Е. В. Зотов, Г. Б. Красовский, В. А. Кручинин, В. Н. Рыжова
(Москва)

Как известно [1], тетранитрометан (ТНМ) со многими органическими веществами, в частности с нитробензолом (НБ), образует мощные высокочувствительные жидкие взрывчатые смеси, являющиеся физически однородными смесями с молекулярной степенью дисперсности [2]. Смеси на основе тетранитрометана имеют очень малый критический диаметр $d_{кр}$, например, для стехиометрической смеси ТНМ с НБ $d_{кр}=0,05$ мм (по данным [3]), для смеси ТНМ с дизельным топливом $d_{кр}<0,5$ мм [4].

Однако необходимо отметить, что существующие литературные данные о скоростях детонации (D) смесей ТНМ, например с НБ, достаточно противоречивы [5—8]. Обычно [1, 9, 10] ссылаются на работу [5], где подробно исследованы взрывчатые свойства ТНМ+НБ в широких пределах изменения концентраций компонен-