

нения состояния продуктов взрыва [9]). Таким образом, уравнение траектории ударной волны имеет вид

$$X_{ув} = U_p/U_0 \cdot X = U_p/U_0 \cdot f_k(\tau), \quad (10)$$

где $f_k(\tau)$ — функция, описывающая траекторию контактной поверхности.

На рис. 2, 3 представлено сравнение результатов расчета по описанной выше методике с экспериментальными данными работ [3, 4]. Из рисунков видно, что затухание ударной волны достаточно хорошо описывается расчетом в приближении $k=3$. В случае $k=5/3$ расчет дает более слабое, чем в эксперименте, затухание. Приближенный расчет с использованием соотношений (9), (10) дает более сильное затухание. Отклонение экспериментальных данных от расчетных в сторону большего затухания ударной волны на больших расстояниях от заряда (более 60 L) может быть объяснено влиянием бокового разлета продуктов взрыва, а также влиянием пограничного слоя на стенках трубы.

*Институт высоких температур
АН СССР,
Москва*

*Поступила в редакцию
15/III 1976*

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Д. Савров, А. Н. Дремин. Докл. АН СССР, 1970, 194, 4, 811.
2. В. Е. Фортон. Докл. АН СССР, 1975, 221, 6, 1307.
3. Дафф, Блэкуэлл. Приборы для научных исследований, 1966, 5, 39.
4. М. Джонс, Ч. Мак-Киннон, В. Блэкмен.— В сб.: Прикладная магнитная гидродинамика, 1965.
5. D. A. Freiwald. J. Appl. Phys., 1972, 43, 5, 2224.
6. Ф. А. Баум, Л. П. Орленко и др. Физика взрыва. М., «Наука», 1975.
7. Б. Л. Рождественский, Н. Н. Яненко. Системы квазилинейных уравнений и их приложение к газовой динамике. М., «Наука», 1968.
8. Н. М. Кузнецов, К. К. Шведов. ФГВ, 1966, 2, 4, 85.
9. О. С. Попель, О. А. Синкевич. Изв. АН СССР. МЖГ, 1975, 2, 184.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ УСИЛЕНИЯ В ГАЗОДИНАМИЧЕСКОМ CO₂-ЛАЗЕРЕ НА ПРОДУКТАХ ГОРЕНИЯ РЯДА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ

*М. Г. Кталхерман, В. М. Мальков, А. В. Петухов,
Я. И. Харитонова*

Выбор топлива для получения лазерно-активных сред в газодинамических лазерах (ГДЛ) приобретает важное значение при практической реализации мощных систем непрерывного действия. В предшествующих экспериментальных исследованиях для создания инверсной заселенности использовались заранее приготовленные газовые смеси и продукты сгорания газообразных топлив. В техническом отношении более перспективны для этих целей жидкие углеводороды.

Количество H₂O в продуктах сгорания углеводородных топлив больше оптимального. Это обстоятельство ухудшает энергетические показатели ГДЛ на продуктах горения углеводородных топлив по сравнению с ГДЛ, использующим в качестве топлив CO или C₂N₂. Однако

соответствующим выбором параметров торможения и геометрии сопла это различие может быть уменьшено. Расчеты, приведенные в [1], показывают, что при $T_0=1700$ К, $p_0=37,5$ атм, $h^*=0,3$ мм и $A_e/A^*=50$ коэффициент усиления в ГДЛ на продуктах сгорания бензола-воздушной смеси всего в 1,3 раза ниже по сравнению с ГДЛ, работающим на продуктах сгорания смеси СО-воздух с оптимальным количеством H_2O (здесь T_0, p_0 — температура и давление торможения, h^* — высота критического сечения сопла, A_e/A^* — отношение площадей выходного и критического сечений сопла).

Среди индивидуальных жидких углеводородов бензол наиболее приемлемое топливо для получения лазерно-активных сред. Так, при $T_0=1700$ К молярные доли H_2O и CO_2 в продуктах сгорания бензола в воздухе $r_{H_2O} = r_{CO_2} = 0,047$. Отличие r_{H_2O} от оптимального значения (0,01—0,03) не очень велико, что обуславливает в рассматриваемом случае достаточно высокие энергетические характеристики ГДЛ. Согласно [1], для указанных ранее параметров запас колебательной энергии на выходе из сопла составляет ~ 24 кВт/(кг·с⁻¹).

Расчету ГДЛ на продуктах сгорания бензола-воздушной смеси посвящена также работа [2], а в [3] приведены результаты измерения коэффициентов усиления в лазере такого типа.

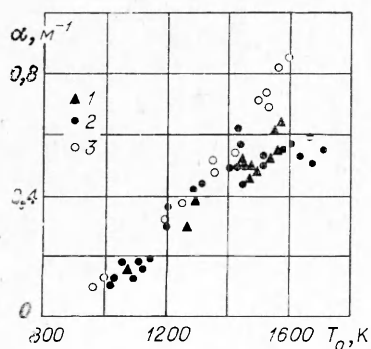
Среди других углеводородных топлив для ГДЛ интерес представляют бензин и керосин. При сжигании их в воздухе содержание H_2O значительно больше (при $T_0=1700$ К $r_{H_2O} = 0,082$), чем в случае бензола. Поэтому следует ожидать, что энергетические характеристики ГДЛ, работающих на этих топливах, будет хуже. Однако эти топлива более подходящи с технической точки зрения.

Настоящая работа преследовала цель сравнить усилительные свойства сред, полученных при сжигании в воздухе бензола, керосина и бензина. Для наглядности все серии опытов проводились в идентичных условиях (p_0 , диапазон T_0 и геометрия сопла оставались неизменными).

Конструкция установки и методика измерений подробно изложены в [3, 4]. Как и в работе [3], жидкое топливо перед поступлением в горелочное устройство предварительно испарялось в потоке воздуха, подогретого до 200—250°C за счет сжигания водорода, что приводило к увеличению абсолютного содержания паров воды в продуктах сгорания приблизительно на 1%.

Охлаждаемое медное сопло имело высоту критического сечения 0,7 мм, высота выходного сечения составляла 20 мм ($A_e/A^*=28,6$). Контур сверхзвуковой части был выполнен по дуге окружности ($R=37,5$ мм) с плавным сопряжением со стенками канала. Длина сверхзвуковой части составляла 25 мм. Измерения проводились на расстоянии 35 мм от критического сечения.

Зависимость коэффициентов усиления от температуры при $p_0=20$ атм показана на рисунке. В опытах с керосином и бензином экспериментальные данные практически совпадают, что связано с малым отличием в составах продуктов сгорания этих топлив. Опыты с керосином удалось провести до более высоких значений T_0 , и из графика видно, что коэффициент усиления при $T_0=1500$ —1700 К достигает максимума. Его появление обусловлено конкуренцией процессов увеличения заселенности уровней CO_2 (00^0_1) и N_2 (1), с одной стороны, и увеличение констант скорости релаксации



Коэффициенты усиления в ГДЛ на продуктах горения бензино-воздушных (1), керосино-воздушных (2) и бензола-воздушных смесей (3).

и концентрации молекул H_2O и CO_2 (что приводит к ускорению релаксации указанных уровней) — с другой. В экспериментах с бензоло-воздушными смесями максимум не был отчетливо зафиксирован, хотя, согласно [1], он находится при $T_0 \approx 1700$ К, близкой к полученным в опытах.

Необходимо отметить, что в опытах с бензоло-воздушными смесями коэффициент усиления при $T_0 \leq 1400$ К ненамного превышает значения для бензино- и керосино-воздушных смесей. Отличие увеличивается с ростом температуры торможения и при $T_0 = 1600$ К достигает $\sim 40\%$. Это связано, в первую очередь, с интенсификацией процесса дезактивации уровней CO_2 (00^01) и N_2 (1) молекулами H_2O , концентрация которых выше в продуктах сгорания бензино- и керосино-воздушных смесей.

В проведенных экспериментах не проводилась оптимизация геометрии сопла, оказывающая значительное влияние на изменение коэффициентов усиления. Соответствующая работа в настоящее время ведется.

*Институт теоретической и
прикладной механики
СО АН СССР,
Новосибирск*

*Поступила в редакцию
19/III 1977*

ЛИТЕРАТУРА

1. J. D. Andersen Jr. Acta Astronautica, 1975, 2, 911.
2. M. Brunne, J. Milewski, a. o., AIAA J., 1976, 14, 352.
3. М. Г. Кталхерман, В. В. Мальков и др. Квантовая электроника, 1977, 4, 173.
4. М. Г. Кталхерман, В. М. Мальков и др. ФГВ, 1976, 12, 578.

О ДЕТОНАЦИИ СМЕСИ ВВ С ПОЛИСТИРОЛОМ

В. М. Кузнецов, Ф. И. Матвеенков

Вспененный полистирол применяется в комбинации с промышленными ВВ при взрывной отбойке горных пород. Известны, например, случаи использования такого полистирола в качестве воздушных промежутков. На некоторых карьерах вспененный полистирол засыпается на дно взрывных скважин вместо ВВ, что приводит к улучшенной проработке подошвы уступа. Технология производства вспененного полистирола весьма проста, что позволяет надеяться на то, что его широкое практическое использование в комбинациях с ВВ окажется экономически целесообразным.

Большой интерес представляет также комбинация вспененного полистирола с ВВ в виде однородной смеси. Такая смесь обладает удельной энергией, скоростью детонации и начальным детонационным давлением меньшими, чем соответствующие величины для чистого ВВ, что оказывается весьма важным для ряда производств. Например, при взрывной отбойке кемберлита возможно разрушение крупных кристаллов алмаза [1]. Поскольку сама порода не очень прочная (примерно 6—8 категории по шкале Протодьяконова), применение бризантных ВВ в данном случае не обязательно и даже вредно. Не исключено, что применение смесей аммонита с вспененным полистиролом уменьшит повреждаемость кристаллов алмаза или вообще его исключит.

В горнодобывающей промышленности известен случай, когда получение слишком мелкой фракции во взорванной горной массе весьма нежелательно для дальнейшего использования добываемого продукта.