

19. Жиряфалько Л. Статистическая физика твердого тела. М.: Мир, 1975.
20. Ерофеев А. П. Об обмене энергией и импульсом между атомами и молекулами газа и поверхностью твердого тела. — ПМТФ, 1967, № 2.
21. Пярнпуу А. А. Расчет взаимодействия моноэнергетического пучка атомов газа с трехмерным кристаллом. — ПМТФ, 1970, № 2.
22. Пярнпуу А. А. Модели взаимодействия разреженного газа с поверхностью. — В кн.: Численные методы в теории разреженных газов. М.: ВЦ АН СССР, 1969.
23. Pярнпуу А. А. Computer study of gas atoms scattering from solid surface with application to calculation of satellite drag coefficient. — Entropic, 1971, N 42.
24. Басс В. П. Расчет обтекания тел потоком сильно разреженного газа с учетом взаимодействия с поверхностью. — Изв. АН СССР. МЖГ, 1978, № 5.

УДК 533.534—13

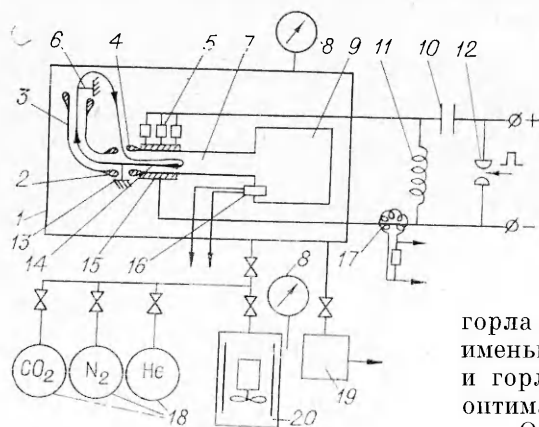
ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В КАМЕРЕ С РЕЗОНАТОРОМ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

А. В. Губарев, А. А. Некрасов, Н. К. Новиков
(Москва)

В [1, 2] указывалось на возможность использования тепловой энергии, выделяющейся в газоразрядной камере импульсно-периодического CO_2 -лазера с резонатором Гельмгольца, для возбуждения нелинейных колебаний в резонаторе и соответственно осуществления волновой симпрокачки газовой смеси. Это предложение основывалось на практических реализациях пульсирующих воздушно-реактивных двигателей и камер вибрационного горения с резонатором Гельмгольца [3, 4], а также на результатах расчетно-теоретических оценок и непосредственного численного эксперимента [1, 2]. Однако тлеющий разряд импульсно-периодического CO_2 -лазера имеет ряд особенностей (необходимость обеспечения достаточно однородных параметров газовой среды в разрядной камере, относительно низкие удельные энерговыходы и др.), и поэтому выводы [1, 2] требуют непосредственного экспериментального подтверждения. В данной работе излагаются предварительные результаты такого эксперимента.

Эксперименты по волновой прокачке газовой смеси, осуществляемой при помощи резонатора Гельмгольца за счет возбуждения в нем нелинейных колебаний, проводились на установке, схема которой приведена на фиг. 1. В герметичной камере 1 с размерами $0,5 \times 0,3 \times 0,3 \text{ м}^3$ устанавливался резонатор Гельмгольца, включающий в себя горло 7, выполненное в виде трубы прямоугольного сечения $0,035 \times 0,07 \text{ м}^2$ и длиной 0,3 м, и сосуд 9 объемом 1000 см^3 . В горле резонатора в непосредственной близости от его входного участка, представляющего собой сопловой насадок 4, размещалась разрядная камера 14 с электродами 5 и 15. На некотором расстоянии от соплового насадка находился газоприемник 2 (эксперименты проводились и без газоприемника), соединенный с поворотной трубой 3, в выходном сечении которой располагался чувствительный элемент 6 в виде лепестка из лавсановой пленки толщиной $\sim 10 \text{ мкм}$. Такой же чувствительный элемент 13 располагался на выходе из соплового насадка. Объем разрядной камеры составлял $\sim 84 \text{ см}^3$ при межэлектродном расстоянии $\sim 3,5 \text{ см}$ и длине электродов вдоль горла $\sim 4 \text{ см}$. Отношение площади наименьшего сечения соплового насадка и горла варьировалось и составляло в оптимальном случае 40%.

О возникновении циркуляции газа (на фиг. 1 примерный путь движения



Фиг. 1

газа показан замкнутой линией со стрелками) можно было судить по отклонению чувствительного лепестка 6. Масса газа, всасываемого в горло резонатора через зазор между насадком и газоприемником, определялась по амплитуде колебаний давления газа в сосуде, которые измерялись датчиком давления 16. Для получения однородного газового разряда была использована электродная система со штыревым катодом 5, каждый электрод которого был соединен с рабочим конденсатором 10 через балластное сопротивление типа ТВО-0,5 с $R = 480$ Ом. Плотность электродных штырей ~ 3 см⁻².

Система электропитания включала в себя конденсатор, катушку индуктивности 11 и тиратрон 12 типа ТГИ-1000-25. Ток измерялся поясом Роговского 17. Система газового питания состояла из газовых баллонов 18 с CO₂, N₂ и He, форвакуумного насоса 19 и смесительной камеры 20. Давление в вакуумной и смесительной камерах измерялось вакуумметром 8.

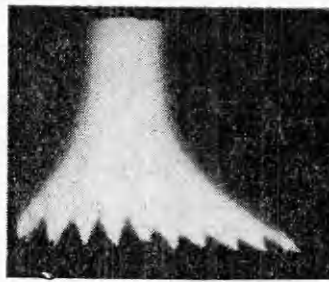
Частота следования разрядных импульсов задавалась генератором Г-5-54. Емкость конденсатора изменялась от 10^{-8} до $1,5 \cdot 10^{-8}$ Ф в зависимости от давления газовой смеси. Исследования проводились при давлениях газовой смеси от $5 \cdot 10^3$ до $1,1 \cdot 10^4$ Па. В качестве рабочего газа использовался воздух и смесь воздуха с гелием в соотношении 1 : 1. Длительность токового импульса $\sim 5 \cdot 10^{-7}$ с.

Приведенные ниже результаты получены на смеси воздуха с гелием при давлении $\sim 6 \cdot 10^3$ Па. При этом собственная частота акустической системы, включающей в себя сопловый насадок, горло и сосуд, составляла ~ 180 Гц.

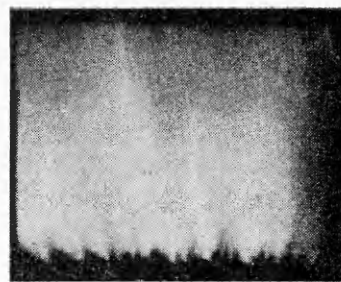
Предварительно экспериментально определялась собственная частота f_0 акустической системы, для чего использовались электродинамический излучатель, устанавливаемый на месте одной из стенок сосуда, и датчик давления.

Собственно эксперимент начинался с заполнения камеры газовой смесью заданного состава. Генератором Г-5-54 задавалась частота срабатывания тиратрона, равная собственной частоте f_0 . После этого плавно увеличивалось напряжение на рабочем конденсаторе. Начиная с некоторого напряжения в межэлектродном зазоре, зажигался контрагированный разряд, фотография которого приведена на фиг. 2. Особенность его заключалась в том, что он стягивался к середине анода в виде узкой полосы, расположенной поперек оси горла. Чувствительные лепестки начинали колебаться, при этом лепесток 6 смещался относительно своего нейтрального положения в сторону предполагаемого движения газа, указанного на фиг. 1 стрелками. При дальнейшем повышении напряжения контракция начинала носить все более выраженный характер, амплитуда колебаний лепестка 13 увеличивалась. Начиная с некоторого порогового напряжения на конденсаторе, характер разряда резко менялся: он становился однородным по всему объему разрядной камеры, возникало равномерное гудение, порождаемое сильными акустическими колебаниями, увеличивалось смещение лепестка относительно своего нейтрального положения. Возникал режим волновой прокачки газа с полной вентиляцией разрядной камеры. Фотография разряда в таком режиме работы приведена на фиг. 3. Дальнейшее увеличение напряжения на конденсаторе практически не влияло на характер газового разряда, однако при этом повышалась амплитуда колебаний давления газа в сосуде. При отклонении частоты следования газовых разрядов от собственной частоты f_0 на ± 5 Гц вновь наблюдалась контракция разряда (см. фиг. 2). Лепестки 6 и 13 возвращались в нейтральное положение.

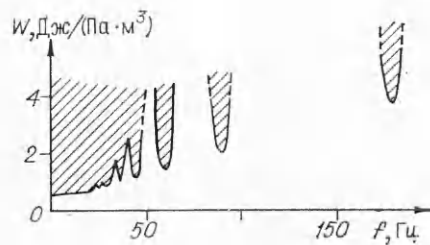
Надежная работа устройства (без контракции разряда) была получена на всех частотах $f = f_0/n \pm 5$ Гц, где n — целое, а на всех промежуточных частотах наблюдался контрагированный разряд (см. фиг. 2) во всем диапазоне изменения напряжения на конденсаторе. Отмеченные выше особенности работы устройства продемонстрированы на фиг. 4, где заштрихованные области соответствуют однородному разряду (см. фиг. 3),



Ф и г. 2



Ф и г. 3



Ф и г. 4

а незастрихованная область — контрагированному разряду (см. фиг. 2). Следует обратить внимание на тот факт, что величина порогового напряжения на частотах $f = f_0/n$, при котором исчезает контракция разряда, снижается с увеличением n .

Для оценки среднеквадратичной скорости потока в разрядной камере можно воспользоваться очевидным соотношением $\tilde{u} \approx 2laf$, где l — дли-

на разрядной камеры по потоку, $\alpha \geq 1$ — коэффициент, зависящий от глубины всасывания свежей порции газа в горло. В исследованной установке $l_p = 0,04$ м, $\alpha \sim 2$. Таким образом, при $f = f_0$ $\tilde{u} \approx 25$ м/с. Средняя скорость потока в горле определялась также из соотношения $\tilde{u} \approx 4mf/(\rho F_r)$, где m — масса газа, всасываемого в сосуд за период, определяется по амплитуде колебания давления в сосуде, ρ — плотность газа, F_r — площадь проходного сечения горла.

Таким образом, нами получена волновая прокачка газа через разрядную камеру (скорость потока ≈ 25 м/с) при допустимых удельных энергозатратах в установке достаточно большого масштаба. Это, по нашим представлениям, открывает реальный путь к созданию импульсно-периодических CO_2 -лазеров, работающих на этом принципе.

Поступила 24 III 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисова Н. А., Бреев В. В., Губарев А. В., Некрасов А. А., Печенова О. И. Расчетное исследование нестационарных газодинамических процессов в каналах с импульсными источниками тепловой энергии. Препринт ИАЭ-3560/1, 1982.
2. Борисова Н. А., Головин А. П. и др. Некоторые результаты исследования нелинейных вынужденных колебаний в резонаторе Гельмгольца. — ПМТФ, 1984, № 2.
3. Реактивные двигатели/Под ред. О. Е. Ланкастера. М.: ИЛ, 1962.
4. Подымов В. И., Северянин В. С., Щелоков Я. М. Прикладное исследование вибрационного горения. Казань: изд. Казан. ун-та, 1978.

УДК 532.529 + 624.131

ВОЛНЫ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЗРЫВЕ

А. В. Крымский, Г. М. Ляхов

(Москва)

На основе модели жидкой пористой многокомпонентной среды с объемной вязкостью имеется решение задачи о распространении сферической взрывной волны в водонасыщенном грунте [1, 2].

Эксперименты показывают, что неводонасыщенные грунты являются твердыми пористыми многокомпонентными средами, обладающими вязкостью, нелинейными