

3. Дюжев Г. А., Марциновский А. М., Мойжес Б. Я., Пикус Г. Е., Циркель Б. И., Юрьев В. Г. Зондовые исследования плазмы в термоэмиссионных преобразователях с высоким давлением паров цезия. Ж. техн. физ., 1966, т. 36, № 4.
4. Ульянов К. Н. Теория электрических зондов в плотной плазме. Ж. техн. физ., 1970, т. 40, № 4.
5. Chung P. M., Talbot L., Touryan K. J. Electric probes in stationary and flowing plasmas, pt 1. Collisionless and transitional probes. AIAA Journal, 1974, vol. 12, No. 2.
6. Cohen I. M. Characteristics of a spherical electrostatic probe in a bounded plasma. Phys. Fluids, 1970, vol. 13, No. 4.
7. Boyer D. W., Touryan K. J. Experimental and numerical studies of flush electrostatic probes in hypersonic ionized flows: I. Experiment. AIAA Journal, 1972, vol. 10, No. 12.
8. Гринберг Г. А. Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.

УДК 534.833:621.43.056

### ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗОНАТОРА ГЕЛЬМГОЛЬЦА ПРИ КОЛЕБАНИЯХ КОНЕЧНОЙ АМПЛИТУДЫ

И. М. СЕВАСТЬЯНОВ

(Астрахань)

Исследован вид упругой и диссипативной характеристик резонатора Гельмгольца. На основании анализа уравнения свободных колебаний в резонаторе и экспериментального исследования затухания колебаний показано, что упругую характеристику резонатора можно считать линейной, а диссипативную — квадратичной.

Резонатор Гельмгольца может быть генератором автоколебаний при сжигании топлива в высокофорсированных камерах сгорания [1, 2] и, напротив, служить демпфером при возникновении вибрационного горения [3]. Применяемая в настоящее время линейная теория резонатора [2-5], разработанная для акустических колебаний, становится недостаточной [3] при колебаниях конечной амплитуды.

Цель настоящей работы — исследование вида диссипативной и упругой характеристик резонатора Гельмгольца при конечных, но докритических амплитудах колебаний давления (т. е. при дозвуковых скоростях). Наиболее вероятная квадратичная диссипативная характеристика резонатора [6] требует экспериментального подтверждения.

Резонатор Гельмгольца, состоящий из камеры с присоединенной к ней трубой рассматривается как колебательная система с сосредоточенными параметрами [4, 5]. В случае линейной упругой и нелинейной диссипативной характеристик уравнение свободных продольных колебаний газа в трубе резонатора будет иметь вид

$$(1) \quad m\ddot{x} + r\dot{x}|\dot{x}|^{n-1} + kx = 0$$

где  $m$  — масса газа в трубе,  $\ddot{x}$  — ускорение,  $r$  — коэффициент сопротивления,  $\dot{x}$  — скорость газа в трубе,  $k$  — коэффициент упругости газа в камере резонатора,  $x$  — смещение газа в трубе.

При  $n=1$  амплитуда смещения

$$(2) \quad A(t) = A_0 \exp(-kt/2m)$$

Здесь  $t$  — время;  $A_0$  — начальная амплитуда смещения. При  $n \neq 1$  используем приближенное решение для огибающей амплитуд [7]

$$A(t) = A_0 \sqrt{\frac{\pi k}{\pi k + 2r(n-1)\omega^{n+1}J(n)A_0^{n-1}t}}, \quad J(n) = \frac{2^{n-2}n\Gamma(n/2)}{(n+1)\Gamma(n)}$$

где  $\Gamma$  — гамма-функция,  $\omega$  — циклическая частота.

При  $n=2$

$$(3) \quad A_0/A = 1 + C_1\tau, \quad \tau = t/T$$

Здесь  $T$  — период колебаний.

Логарифмический декремент затухания [7] равен

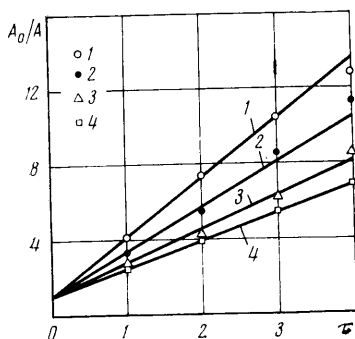
$$\delta = 4\pi\omega^n J(n) k^{-1} A^{n-1}$$

При  $n=1$   $\delta = \text{const}$ , при  $n=2$

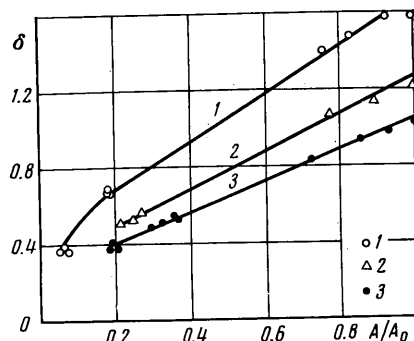
$$(4) \quad \delta = C_2 A / A_0$$

$C_1$  и  $C_2$  — константы при постоянных  $r$ ,  $\omega$  и  $k$ .

Из анализа зависимостей  $A$  от  $t$  и  $\delta$  от  $A$  видно, что соотношения (2) — (4) можно положить в основу экспериментального определения параметра  $n$ , т. е. вида диссипативной характеристики резонатора. Критерием для решения вопроса о нелинейности упругой характеристики может служить зависимость частоты колебаний от амплитуды [8].



Фиг. 1



Фиг. 2

Экспериментальное исследование свободных колебаний проводилось на резонаторе с изменяемой в пределах 0.34–2.34 м длиной трубы. Объем камеры резонатора —  $4.76 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ , диаметр трубы 0.05 м. Для возбуждения колебаний в камеру резонатора, отделенную от трубы разрывной мембраны, подавался сжатый воздух. При достижении давления (избыточного по сравнению с атмосферным) в камере  $\sim 0.3\text{--}0.5 \text{ бар}$  мембрана разрывалась и в резонаторе возникали свободные затухающие колебания. Давление в камере регистрировалось мембранным тензодатчиком, усилительной тензостанцией УТС-1-12/135 и шлейфовым осциллографом Н-102. Датчик давления статически тарировался через 8–10 замеров. Динамическая тарировка датчика не проводилась, так как собственная частота мембраны датчика значительно превышала измеряемые частоты.

Обработка осциллограмм колебаний давления показала, что частота колебаний не зависит от амплитуды давления в диапазоне 0.03–0.5 бар, что подтверждает предположение о линейности упругой характеристики. Поскольку третий член уравнения (1) — сила давления газа в камере резонатора, то пересчет амплитуд давления  $p_a$  в амплитуды смещения проводился по формулам

$$A_0/A_i \approx p_{a0}/p_{ai}, \quad \delta = \ln(p_{ai}/p_{ai+1})$$

Здесь  $i$  — порядковый номер цикла колебаний.

Полученные в эксперименте зависимости  $A_0/A$  от  $\tau$  (фиг. 1) и  $\delta$  от  $A/A_0$  (фиг. 2) близки к линейным, и сравнение с (2)–(4) подтверждает предположение о квадратичности диссипативной характеристики резонатора Гельмгольца.

Линии 1–4 на фиг. 1 соответствуют длинам трубы резонатора 0.34, 0.74, 1.14 и 2.34 м; на фиг. 2 — 0.34, 0.74, 2.34 м.

Поступила 9 VII 1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Основы горения углеводородных топлив. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
2. Вибрационное горение в некоторых модельных устройствах. Казань, Изд. Казанск. ун-та, 1970.
3. Неустойчивость горения в ЖРД. М., «Мир», 1975.
4. Стретт Дж. В. (Рэлей). Теория звука, т. 2, М., Гостехиздат, 1955.
5. Стрелкоя С. П. Введение в теорию колебаний. М., «Наука», 1964.
6. Севастьянов И. М., Танин К. С. Взаимосвязь основных параметров камер пульсирующего горения типа «резонатора Гельмгольца». Физика горения и взрыва, 1975, т. 11, № 5.
7. Пановко Я. Г. Введение в теорию механических колебаний. М., «Наука», 1971.
8. Блякьер О. Анализ нелинейных систем. М., «Мир», 1969.