

УДК 534.21

Т.В.Рыжкова (6 курс, каф. КТиЭТ), В.Б.Штейнберг, к.т.н., доц.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАМЕНИ БУНЗЕНА ПО АНАЛИЗУ ГРАНИЦ УСТОЙЧИВОСТИ

Работа связана с исследованием самовозбуждения акустических колебаний при вибрационном горении. В качестве удобной модели исследования используется пламя Бунзена – пламя гомогенной газовой горючей смеси на выходе из трубы [1]. Обычно в таких случаях для анализа самовозбуждения рассматриваются соотношения между возмущениями на входе в активную зону и соответственными возмущениями тепловыделения, что можно представить в виде линейной связи между проводимостями камеры сгорания, канала вторичного воздуха и канала горючей смеси:

$$Y_k = A_v Y_v + A_g Y_g, \quad (1)$$

где  $A_v$  и  $A_g$  - коэффициенты пропорциональности, которые мы называем частотными характеристиками и которые являются темой нашего исследования. Наша цель – экспериментальное определение указанных коэффициентов по анализу границ самовозбуждения.

С этой целью мы предложили при некоторой выбранной частоте колебаний и постоянных свойствах канала вторичного воздуха (величин  $A_v$  и  $Y_v$ ), найти зависимости проводимости газового канала  $Y_g$  и камеры сгорания  $Y_k$  от величины объёма камеры  $V_k$ . Если при этом обе зависимости в комплексной плоскости окажутся изображёнными подобными кривыми, то из их сопоставления будет найдена величина  $A_g$ , и это подтвердит предполагаемую линейность соотношения (1). Далее, отсюда для одного из экспериментов может быть найдена величина  $A_v$ .

Для того, чтобы управлять проводимостями, в нашей установке имеются следующие параметры регулирования: объём камеры  $V_k$ , объём на подаче вторичного воздуха  $V_0$  (оба эти объёма могут регулироваться контролируемым приливанием воды), длина горелочной трубки  $l_g$  и регулируемое сопротивление  $\Delta p_g$  в виде плоскопараллельной щели на входе в горелочную трубку из промежуточного объёма. Был использован метод изменения сопротивления при помощи дросселя, устройство которого было опубликовано нами ранее [2]. Величину зазора в щели  $\delta$ , в отличие от предыдущих работ, стало возможным точно определить по значению статического перепада давления и использовать в расчётах.

Для вычисления проводимостей газового канала  $Y_g$  и воздушного  $Y_v$  мы имеем специально разработанные программы на языке Турбо Паскаль [3].

Эксперимент осуществляется следующим образом. Собирается установка с заданной длиной газового канала  $l_g$ , задаётся объём на подаче вторичного воздуха  $V_0$ . В режиме горения с заданными расходами газа и воздуха после достаточной выдержки теплового режима, исходя из области устойчивости, ведётся поиск границы возбуждения изменением двух параметров – сопротивления  $\Delta p_g$  и объёма камеры. Появление колебаний фиксируется датчиком давления с усилителем и далее осциллографом наблюдением эллипса Лиссажу с использованием настраиваемого звукового генератора, который тут же тарируется по

электронному частотомеру. При этом оба регулируемых параметра подбираются таким образом, чтобы возбуждалась одна из ранее назначенных частот. Опыты повторяются для различных длин газового канала. Далее для каждой из назначенных частот и для разных длин  $l_g$  газового канала вычисляются проводимость камеры  $Y_k$  и газового канала  $Y_g$  для их сопоставления. Задача облегчается тем, что во всех случаях проводимость камеры  $Y_k$  есть чисто мнимая величина:  $Y_k = \frac{i\omega V_k}{\aleph p}$ , т.е. при сохранении частоты изменяется вдоль мнимой

оси пропорционально объёму камеры. Поскольку мы ожидали линейную связь между этими величинами, достаточно было построить  $\text{Re}Y_g$  и  $\text{Im}Y_g$  в зависимости от  $\text{Im}Y_k$ . Во всех случаях полученные зависимости оказались близкими к линейным. На аппроксимирующих прямых задавались по две точки и по их значениям вычислялись  $A_g = \frac{\Delta Y_k}{\Delta Y_g}$  и далее

$A_v = \frac{Y_k - A_g Y_g}{Y_v}$ . Опыты обработаны в диапазоне частот от 85 до 120 Гц.

В табл. 1 представлены полученные значения частотных характеристик для трёх выбранных частот. Расход горючей смеси 17.5 мл/с, коэффициент избытка воздуха  $\alpha=0.76$ . Эти результаты удовлетворительно согласуются с данными, полученными методом вынужденных колебаний.

Таблица 1.

	$f, \text{Гц}$		
	90	100	117
$A_g$	-0.53-3.07i	-0.62-2.06i	-0.52-1.65i
$A_v$	0.94-0.22i	0.94-0.24i	0.77-0.19i

В табл. 2 представлены значения компонентов соотношения (1) для двух значений объёма камеры сгорания для частоты 90Гц. Единица измерения проводимости  $Y$  1 мл/(с\*Па).

Таблица 2.

$Y_k$	$A_v Y_v$	$A_g Y_g$
1.09i	0.09+0.94i	-0.09+0.15i
1.40i	0.09+0.94i	-0.09+0.46i

Из табл. 2 видно, что в данном случае возбуждение наступает за счет влияния возмущений вторичного воздуха, поскольку эта компонента имеет положительную вещественную составляющую, но она компенсируется отрицательным влиянием возмущений горючей смеси, что в целом обеспечивает границу устойчивости. Важно также отметить, что указанная компонента преобладает по вкладу во мнимую составляющую и потому в значительной мере определяет частоту возникающих колебаний. Вместе с тем, следует сказать, что вклад канала горючей смеси в эффект возбуждения внутри области неустойчивости может оказаться более существенным, поскольку реальные возможности вариации его проводимости достаточно велики.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Корнеева Н.В., Штейнберг В.Б. Самовозбуждение пламени Бунзена и его анализ.//Материалы межвуз. науч. конф. "XXX Неделя науки СПбГТУ", СПб. Изд-во СПбГТУ, 2002.

2. Козлова Л.С., Рыжкова Т.В., Штейнберг В.Б. Разработка регулируемого акустического сопротивления. //Материалы межвуз. науч. конф. "XXXII Неделя науки СПбГПУ", СПб. Изд-во СПбГПУ.

3. Сафарова С.М., Штейнберг В.Б. Расчет и оптимизация акустической проводимости системы исследования вибрационного горения. // Материалы межвуз. науч. конф. "XXIX Неделя науки СПбГТУ", СПб, Изд-во СПбГТУ, 2001.

