

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ В КАМЕРЕ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ**

Работа камер пульсирующего горения (КПГ) характеризуется интенсивными газовыми пульсациями в основных элементах, таких как аэродинамический клапан и резонансная труба. При этом и в клапане и в трубе пульсации скорости наложены на некоторую несущую скорость, которую принято называть среднерасходной. Кроме того, колебания носят фактически гармонический характер [1]. Поскольку частота пульсаций достаточно велика ( $\nu = 40...200$  Гц) и речь идет о периодических, быстроменяющихся процессах, возникают трудности в экспериментальном определении скоростных параметров таких потоков. Методы определения частотно-импульсных параметров пульсаций в элементах камеры пульсирующего горения достаточно хорошо разработаны. Нами с успехом используется схема измерений с помощью специального стенда [2]. Особенностью конструкции заключается в том, что он содержит подвижную и неподвижную платформы, соединенные упругими пластинами, причем камера пульсирующего горения расположена на верхней подвижной платформе, имеющей возможность перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях: в направлении оси резонансной трубы и оси аэродинамического клапана. Усилия, возникающие от реактивной силы, вследствие выхлопа продуктов сгорания из резонансной трубы и аэродинамического клапана воспринимаются пьезометрическими датчиками. Электрические импульсы от пьезоэлектрических датчиков регистрируются двухканальным осциллографом и фотографируются. Период пульсаций газа из резонансной трубы и аэродинамического клапана определяется непосредственно по осциллограммам. Кроме этого, использование данной схемы позволяет определить пульсирующую составляющую реактивных сил, возникающих в результате выхлопа продуктов сгорания из газовых трактов устройства пульсирующего горения. В конструкции стенда установлены первичные преобразователи с известной зависимостью между действующей силой и напряжением на электродах датчика [1].

В предположении о гармоническом характере пульсаций скорости в трактах устройства пульсирующего горения закон её изменения можно представить в виде:

$$w = A + B \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right),$$

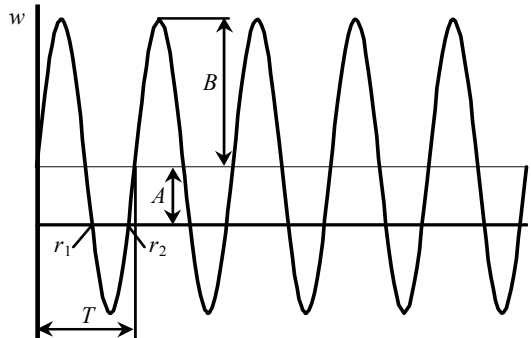
где  $A$  – среднерасходная скорость,  $B$  – амплитудное значение пульсирующей составляющей скорости,  $T$  – период колебаний.

Графически этот закон изменения скорости в элементах КПГ представлен на рис. 1.

Особенностью пьезоэлектрических преобразователей является то обстоятельство, что они невосприимчивы к постоянно действующей составляющей реактивной силы, обусловленной среднерасходной скоростью. Соответственно амплитудное значение напряжения на осциллографе, а также реактивной силы  $R_a$ , связано с амплитудным значением пульсирующей составляющей скорости  $B$ :

$$R_a = \rho F B^2; \quad B = \sqrt{\frac{R_a}{\rho F}}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь сечения выхлопа,  $\rho$  – плотность исходящего газа.



**Рис. 1 Основные параметры изменения скорости в КПГ**

Таким образом, в результате частотно-импульсных измерений определяются два скоростных параметра пульсирующего потока: амплитудное значение скорости  $B$  и период колебаний  $T$ .

Для восстановления закона изменения скорости необходимо определить среднерасходную скорость  $A$ .

Естественным желанием исследователей является использовать для этих целей пневмометрические приборы и устройства, обладающие высокой инерционностью и выдающие на выходе среднеинтегральные значения измеряемой величины. Однако прямыми измерениями с помощью скоростной трубки Пито-Прандтля по показаниям микроманометра определяется не скорость газа, а его динамическое давление:

$$p_d = \frac{\rho w^2}{2} = \frac{\rho}{2} \left( A + B \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right)^2. \quad (2)$$

При этом средняя величина динамического напора не соответствует средней скорости [3].

В случае пульсирующего движения без обратных токов ( $B \leq A$ ), среднеинтегральное значение динамического давления за период пульсаций или за целое их количество есть

$$p_m = \frac{\int_0^T p_d dt}{T} = \frac{\rho(2A^2 + B^2)}{4}. \quad (3)$$

Соответственно по замеренному среднему напору  $p_m$  и известной величине амплитуды пульсаций скорости  $B$  можно восстановить значение средней скорости из уравнения (3)

$$A = \sqrt{\frac{2p_m}{\rho} - \frac{B^2}{2}}.$$

Определение параметров движения газа в КПП осложняется тем, что в определенные моменты времени поток меняет направление, т.е. имеются отрицательные значения скорости (рис. 1). В реальности пневмометрические измерения с помощью скоростной трубки реализуются в каком-либо одном направлении, следовательно, регистрируется средний динамический напор в направлении измерения. Очевидно, что для выражения среднего динамического напора за период колебаний в одном направлении необходимо учитывать только скорость, которая не меняет знака за период. Если рассмотреть движение в прямом направлении, то согласно рис. 1, ставится задача определить среднеинтегральное значение динамического напора, учитывая участки от 0 до  $r_1$  и от  $r_2$  до  $T$ , на которых скорость движения положительна. Рассматривая первый период колебаний, несложно определить, что

$$r_1 = \frac{T}{2} + \frac{T}{2\pi} \arcsin\left(\frac{A}{B}\right), \quad r_2 = T - \frac{T}{2\pi} \arcsin\left(\frac{A}{B}\right). \quad (4)$$

Среднеинтегральное значение динамического напора в прямом направлении определится выражением

$$p_m = \frac{\int_0^{r_1} p_d dt + \int_{r_2}^T p_d dt}{T}. \quad (5)$$

Подставляя в выражение (5) уравнение для динамического давления (2) и пределы интегрирования (4), получим

$$p_m = \frac{\rho(2A^2 + B^2)}{4\pi} \arcsin\left(\frac{A}{B}\right) + \frac{\rho}{4} \left( A^2 + \frac{B^2}{2} \right) + \frac{3AB\rho}{4\pi} \sqrt{1 - \frac{A^2}{B^2}}. \quad (6)$$

По замеренной величине среднего динамического напора в прямом направлении  $p_m$  и известной амплитудной составляющей пульсаций  $B$ , при условии что  $B > A$  (наличие обратных токов) из уравнения (6), численными методами может быть найдена величина средней скорости  $A$ .

Таким образом, для определения скоростных параметров пульсирующих потоков в КПП предлагается использовать следующую схему:

- 1) частотно-импульсные измерения с помощью динамического стенда и пьезоэлектрических первичных преобразователей с регистрацией периода колебаний и амплитудного напряжения по осциллографу.
- 2) пересчет, по известному значению модуля пьезоэлектрического преобразователя, пикового напряжения в амплитудное значение реактивной силы и определение из уравнения (2) амплитудного значения скорости  $B$ .
- 3) пневмометрические измерения с помощью скоростной трубки и многопредельного микроманометра с замером среднего динамического напора в прямом направлении и определение по уравнению (6) величины среднерасходной скорости  $A$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Баранов А.А., Титов А.Н., Быченко В.И., Коптев А.А. К определению частотно-импульсных характеристик камер пульсирующего горения // Труды ТГТУ. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1998. Вып. 2. С. 26 – 28.
- 2 А.с. СССР № 1774210 МКИ5 G 01 M 15/00. Стенд для испытания камер пульсирующего горения.
- 3 Панков Б.В. Об определении средней скорости пульсирующих газовых потоков пневмометрическими зондами // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7. № 1. С 55 – 59.

*Кафедра «Техника и технологии машиностроительных производств»*