

Д.М. Мордасов, С.А. Онищенко, Р.Ю. Ласьков,
И.Н. Мартынов

ДВУХДИАФРАГМОВЫЙ ГЕНЕРАТОР СТРУЙНО-АКУСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЕЩЕСТВ

Одним из новых направлений в области развития измерительной техники в настоящее время является разработка струйно-акустических методов и устройств контроля технологических параметров, таких, как расход и температура газа, уровень веществ и их плотность.

Основным узлом струйно-акустических измерительных устройств является генератор звуковых колебаний, от стабильности которого зависит не только точность, но и реализуемость методов измерения. Наиболее приемлемыми и надежными являются генераторы, в которых отсутствуют подвижные механические элементы, а возникновение звука происходит при прохождении газовой струи через одно- и двухдиафрагмовые элементы.

В работе [1], на основе анализа физических эффектов, возникающих при прохождении струи газа через диафрагмовый элемент, дано объяснение причин звукообразования. Звукообразование условно рассматривается как клапанное. Модулятором потока является периодически изменяющееся аэродинамическое сопротивление, возникающее вследствие силового воздействия на основную струю потока отрицательной обратной связи (ООС). В некоторый момент за счет давления основной струи происходит перемещение области взаимодействия (раскрытие клапана). Периодичность этого процесса обуславливает генерацию акустических колебаний.

В настоящей работе, на основе анализа результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований, предложено объяснение процесса звукообразования при прохождении газовой струи через двухдиафрагмовый звукообразующий элемент (ДДЗЭ).

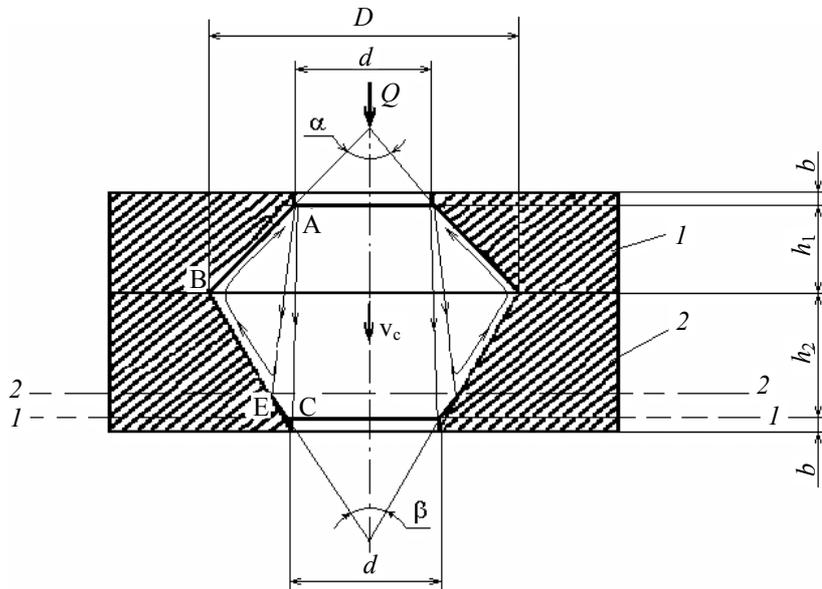


Рис. 1 Двухдиафрагмовый звукообразующий элемент

На рис. 1 представлена схема ДДЗЭ, состоящего из входной диафрагмы 1 (высота конической части h_1 , цилиндрической – b и диаметры d и D) и выходной диафрагмы 2 (высота конической части h_2 , цилиндрической – b и диаметры d и D).

Физические основы возникновения акустических колебаний в ДДЗЭ аналогичны сформулированным в работе [1]. Частота возникающих колебаний определяется величиной отрицательной обратной связи. В двухдиафрагмовых генераторах отрицательная обратная связь (ООС) формируется вихревым движением потока газа в пространстве, представляющем собой объем тела образованного вращением треугольника ABC (рис. 1) вокруг оси ДДЗЭ.

Сила воздействия потока ООС на основную струю определяется выражением

$$F_{\text{оос}} = \rho_{\text{г}} S_{\text{оос}} v_{\text{оос}}^2, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{г}}$ – плотность газа; $S_{\text{оос}}$ – площадь потока ООС; $v_{\text{оос}}$ – скорость потока ООС.

При прохождении основной струей выходной диафрагмы 2, часть ее кинетической энергии преобразуется в энергию потока ООС. Это обусловлено различиями диаметров отверстия диафрагмы 2 в сечении 1-1 и струи в сечении 2-2 (рис. 1).

С учетом угла $\beta/2$, потерю энергии при выходе струи из ДДЗЭ запишем в виде:

$$\Delta E_{\text{оос}} = \frac{1}{2} \rho_{\text{г}} v \left(v_c \sin \frac{\beta}{2} \right)^2, \quad (2)$$

где v – объем воздушного пространства, равный объему, образованному при вращении треугольника AEC (рис. 1) вокруг оси ДДЗЭ; v_c – скорость газа в основной струе.

$$\Delta E_{\text{вых}} = \frac{1}{2} \rho_r v \left(v_c \cos \frac{\beta}{2} \right)^2 \quad (3)$$

поступает на выход.

Сравнение выражений (2) и (3) показывает, что отношение энергий $\Delta E_{\text{оос}}$ и $\Delta E_{\text{вых}}$ изменяется по квадрату тангенса угла $\beta/2$.

Энергия $\Delta E_{\text{оос}}$, отбираемая для формирования потока ООС, увеличивается с увеличением угла β , причем в диапазоне изменения β от 0 до 90° $\Delta E_{\text{оос}} < \Delta E_{\text{вых}}$, а при значениях β близких к 180° $\Delta E_{\text{оос}} \gg \Delta E_{\text{вых}}$.

Скорость $v_{\text{оос}}$ определяется из уравнения

$$v_{\text{оос}} = v_c \sin \frac{\beta}{2}. \quad (4)$$

На рис. 2 приведена схема действия сил в двухдиафрагмовом звукообразующем элементе.

При прохождении газа через ДДЗЭ (рис. 2) возникает поток газа, силу $F_{\text{оос}}$ действия которого на газовый клапан можно рассматривать как отрицательную обратную связь. Поскольку эта сила действует под углом к основной струе, то, разложив ее на две составляющие F_x и F_y , рассмотрим влияние каждой из них на происходящие процессы. Сила F_x с учетом (1) и (4) определяется выражением

$$F_x = F_{\text{оос}} \sin \frac{\alpha}{2} = \rho_r V_c^2 S_{\text{оос}} \sin \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\beta}{2},$$

Увеличение силы F_x приводит к увеличению объема газового клапана и, как следствие, к увеличению силы, действующей на него со стороны основной струи.

Сила F_y с учетом (1) и (4) определяется выражением

$$F_y = F_{\text{оос}} \cos \frac{\alpha}{2} = \rho_r V_c^2 S_{\text{оос}} \cos \frac{\alpha}{2} \sin \frac{\beta}{2}.$$

Эта составляющая силы $F_{\text{оос}}$ направлена навстречу основному потоку, и ее увеличение приводит к увеличению силы действия основной струи на газовый клапан.

Экспериментально исследовано влияние углов α , β и скорости v_c на частоту f генерируемых колебаний.

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил выявить влияние параметров α , β и v_c на частоту генерации.

Увеличение скорости v_c при постоянных углах α и β , которое может быть обеспечено увеличением расхода Q питающего газа, приводит к увеличению частоты генерируемых колебаний. Это связано с тем, что силы F_x , F_y и F_c увеличиваются, вследствие чего увеличивается скорость роста давления на газовый клапан со стороны основной струи.

При увеличении угла α , уменьшение силы F_y и рост F_x влечет за собой увеличение скорости роста объема области взаимодействия и увеличение силы F_c , действующей со стороны основного потока. Разность сил $F_c - F_y$, под действием которой газовый клапан совершает периодические колебания, быстрее достигает критического значения, что приводит к увеличению частоты генерации.

Если угол $\alpha = 90^\circ$, то $F_x = F_y$ и, независимо от изменения угла β , частота генерации имеет постоянное значение.

При значениях β в диапазоне от 0 до 90°, сила F_x , ответственная за формирование газового клапана, и сила F_y , определяющая время существования газового клапана, малы, следовательно, звуковые колебания либо не возникнут, либо будут иметь высокую частоту и очень малую амплитуду звукового давления. При дальнейшем увеличении β , в зависимости от значений α , звуковые колебания возникают, а их частота имеет тенденцию к увеличению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Мордасов Д.М. Физические основы генерации струйно-акустических колебаний // Вестник ТГТУ. 2001. Т. 7. С. 283 – 293.