

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНО-АКУСТИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЧАСТОТУ ВОЗНИКАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

М.М. Мордасов¹, Д.М. Мордасов¹, А.А. Иванцов²

Кафедра «Автоматизированные системы и приборы», ГОУ ВПО «ТГТУ» (1);
Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники
(Военный институт) ТВВАИУРЭ (ВИ) (2); a_ivantsov@mail.ru

Представлена членом редколлегии профессором С.И. Дворецким

Ключевые слова и фразы: генераторы струйно-акустических сигналов; изменение частоты; конструктивные параметры; струйная акустика.

Аннотация: Рассмотрены физические основы возникновения колебаний звуковой частоты на выходе струйно-акустического генератора. Выявлены закономерности изменения частоты колебаний при изменении конструктивных параметров генератора.

Приборы, реализующие струйно-акустические методы измерения [1, 2], не имеют подвижных деталей, в них отсутствует механическое трение, что позволяет осуществлять высоконадежный бесконтактный контроль таких технологических параметров как уровень, плотность жидких и сыпучих веществ (в том числе токсичных и взрывоопасных), расход, температура газа и др.

При создании струйно-акустических устройств контроля веществ необходимо знать влияние различных неконтролируемых параметров на стабильность генерации звуковых колебаний, которые во многом определяют точность измерения. На частоту возникающих звуковых колебаний кроме параметров питающего газа ($P_{пит}$, $Q_{пит}$) влияют конструктивные параметры струйно-акустического генератора (рис. 1), такие как длина l_2 формирователя потока 2 и расстояние l_3 от среза формирователя потока 2 до основания питающей емкости 3. Настоящая работа посвящена выявлению механизмов их влияния.

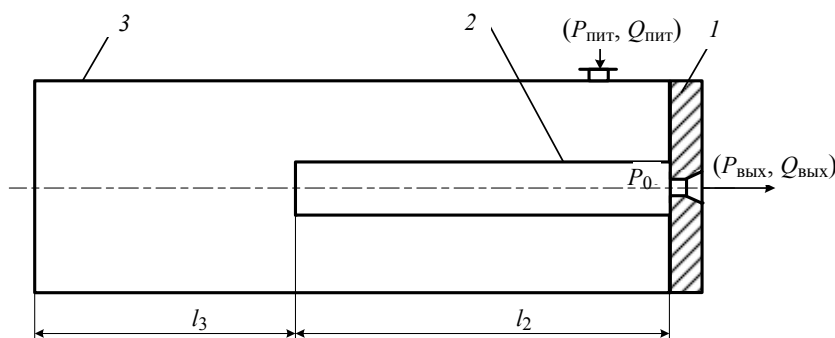


Рис. 1. Струйно-акустический генератор:

1 – диафрагма; 2 – формирователь потока; 3 – питающая емкость

Проведенные ранее исследования физики звукообразования [3–6] показывают, что возникновение колебаний определенной частоты связано с периодическим изменением давления P_0 (см. рис. 1) в цилиндрическом участке отверстия диафрагмы. Причем, чем выше это давление, тем выше частота генерируемых колебаний.

Учитывая сферичность в распространении звуковых волн, возникающие звуковые колебания распространяются не только в направлении движения газовой струи, но и в обратном направлении. Рассмотрим процессы, происходящие в емкости 3 при распространении в ней звуковых колебаний.

Формирователь потока 2, находящийся внутри емкости 3, является волноводом для акустических колебаний, распространяющихся в обратном направлении. Нагрузкой линии, образованной формирователем потока 2, является питающая емкость 3, импеданс которой носит емкостный характер. Взаимодействие звуковой волны с акустической емкостью подробно рассмотрено в [1]. Согласно полученным в работе [1] результатам, в режиме стоячих волн распределение амплитуд звукового давления в линии с такой нагрузкой имеет вид

$$P_{\text{ак}} = 2P_{m \text{ пад}} |\cos[k(l_2 + l_3)]|, \quad (1)$$

где $P_{\text{ак}}$ – амплитуда звукового давления в линии, образованной питающей емкостью 3 и формирователем потока 2; $P_{m \text{ пад}}$ – амплитуда звукового давления в падающей волне; k – волновое число, $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda}$; f – частота генерируемых колебаний; c – скорость звука в среде распространения; λ – длина волны генерируемых колебаний.

Из уравнения (1) видно, что изменение размеров l_2 и l_3 приводит к изменению акустического давления внутри питающей емкости 3 и внутри формирователя потока 2, что, в свою очередь, приводит к изменению давления P_0 , от величины которого зависит частота генерируемых колебаний. Давление P_0 (см. рис. 1) складывается из акустического $P_{\text{ак}}$ и статического давления $P_{\text{ст}}$ в струе. Так как величины этих давлений имеют один порядок, то они в равной степени оказывают влияние на частоту возникающих звуковых колебаний.

На величину давления $P_{\text{ст}}$ оказывают влияние параметры питающего газа и размеры диафрагмы 1 (см. рис. 1). Исследования по выявлению степени их влияния проведены ранее в работах [2–6].

Для выявления влияния размеров l_2 и l_3 на величину давления $P_{\text{ак}}$ проанализируем выражение (1). Преобразуем его относительно l_2 :

$$\begin{aligned} |\cos[k(l_2 + l_3)]| &= \frac{P_{\text{ак}}}{2P_{m \text{ пад}}}, \\ l_2 + l_3 &= \frac{\lambda}{2\pi} \arccos\left[\frac{P_{\text{ак}}}{2P_{m \text{ пад}}}\right] + n \frac{\lambda}{2}, \quad n = \overline{0, N}, \\ l_2 &= \frac{\lambda}{2} \left(\frac{1}{\pi} \arccos\left[\frac{P_{\text{ак}}}{2P_{m \text{ пад}}}\right] + n \right) - l_3, \quad n = \overline{0, N}. \end{aligned} \quad (2)$$

Аналогичным образом

$$l_3 = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{1}{\pi} \arccos\left[\frac{P_{\text{ак}}}{2P_{m \text{ пад}}}\right] + n \right) - l_2, \quad n = \overline{0, N}. \quad (3)$$

Анализ уравнений (2) и (3) показывает, что условиями образования узла стоячей волны являются следующие соотношения:

$$\begin{aligned} l_2 &= \left[\frac{\lambda}{4} - l_3 \right] + n \frac{\lambda}{2}, \quad n = \overline{0, N}; \\ l_3 &= \left[\frac{\lambda}{4} - l_2 \right] + n \frac{\lambda}{2}, \quad n = \overline{0, N}. \end{aligned} \quad (4)$$

Согласно графикам, представленным на рис. 2, построенным по зависимости (1) с учетом условий (4), к увеличению давления $P_{\text{ак}}$ и, следовательно, частоты f , при любых l_3 из диапазона $0,1\lambda \leq l_3 \leq 0,25\lambda$ приводит увеличение l_2 в диапазоне

$$\left[\frac{\lambda}{4} - l_3 \right] + n \frac{\lambda}{2} \leq l_2 \leq \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2}, \quad n = \overline{0, N}.$$

Анализ выражения (1) показывает, что максимальное акустическое давление, соответствующее пучности стоячей волны, а, следовательно, и наибольшее значение частоты, может быть получено при условии

$$\cos \left[\frac{2\pi}{\lambda} (l_2 + l_3) \right] = 1,$$

откуда

$$l_2 + l_3 = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = \overline{0 \dots N}.$$

Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке элементов настройки выходного сигнала на заданную частоту принципиально новых струйно-акустических средств измерения плотности и температуры газа в потоке.

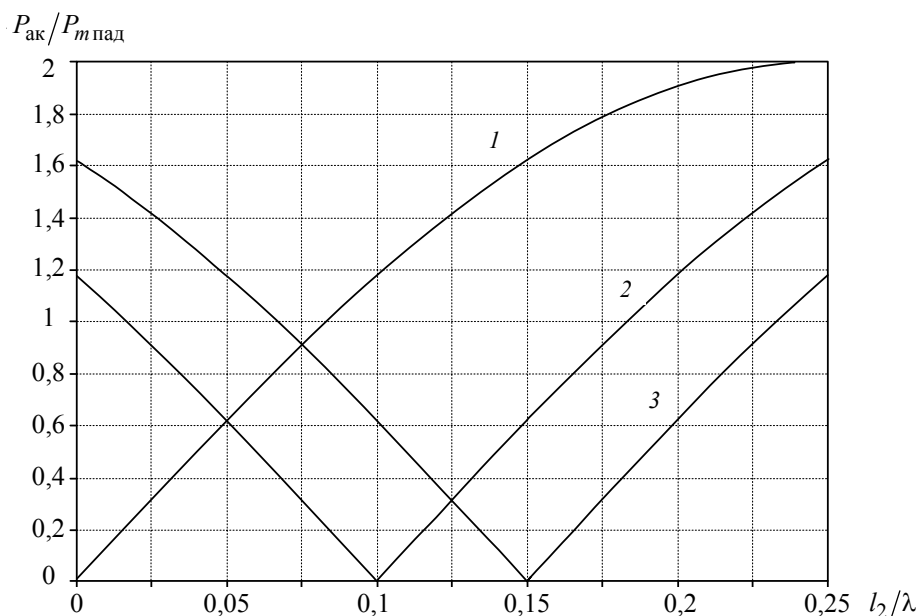


Рис. 2. Изменение звукового давления в режиме стоячих волн в линии с акустической емкостью размера l_3 в зависимости от длины l_2 этой линии:

$$1 - l_3 = 0,25\lambda; \quad 2 - l_3 = 0,15\lambda; \quad 3 - l_3 = 0,1\lambda$$

Список литературы

1. Мордасов, Д.М. Пневмодинамические методы и устройства контроля плотности жидкостей и сыпучих материалов : дис. ... д-ра техн. наук : 05.11.13 : защищена 05.10.2006 : утв. 13.04.2007 / Мордасов Денис Михайлович. – Тамбов, 2006. – 257 с.
2. Мордасов, Д.М. Струйно-акустические эффекты в методах неразрушающего контроля веществ : монография / Д.М. Мордасов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 75 с.
3. Мордасов, Д.М. Аэродинамическое звукообразование при прохождении газовой струи через диафрагму / Д.М. Мордасов, М.В. Дмитриев, М.М. Мордасов // Труды ТГТУ. – Тамбов, 1997. – С. 223–228.
4. Мордасов, Д.М. Физические основы генерации струйно-акустических колебаний / Д.М. Мордасов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2001. – Т. 7, № 2. – С. 283–293.
5. Мордасов, Д.М. Струйно-акустическая генерация и ее стабильность / Д.М. Мордасов // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. 14-й Междунар. науч. конф. / Смоленский филиал моск. энгет. ин-та. – Смоленск, 2001. – С. 55.
6. Мордасов, Д.М. Струйно-акустические генераторы диафрагмового типа / Д.М. Мордасов, С.А. Онищенко // Материалы и технологии XXI века : сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф. / Пенз. гос. технол. акад. – Пенза, 2004. – С. 156–157.

Influence of Design Parameters of Jet Acoustic Generator on Frequency of Occurring Fluctuations

M.M. Mordasov, D.M. Mordasov, A.A. Ivantsov

*Department “Automated Systems and Devices” TSTU (1);
Tambov High Military Aviation Engineering College of Radio-Electronics
(Military Institute) THMAECRE (MI) (2); a_ivantsov@mail.ru*

Key words and phrases: design parameters; frequency alteration; jet acoustics; jet acoustic signals generators.

Abstract: The paper is devoted to the investigation of physical grounds of occurrence of sound frequency fluctuations at the output of jet acoustic generator. The regularities of fluctuation frequency alteration under changing design parameters of the generator are revealed.

References

1. Mordasov, D.M. Pneumo-dynamic methods and control units of density of liquids and loose materials : dis. ... d-ra techn. nauk. : 05.11.13 : zashh. 05.10.2006 : utv. 13.04.2007 / Mordasov Denis Mixaylovich. – Tambov, 2006. – 257 p.
2. Mordasov, D.M. Stream-acoustic effects in the methods of non-destructive matters control: monograph / D.M. Mordasov. – Tambov : Izd-vo Tamb. gos. techn. un-ta, 2006. – P. 75.
3. Mordasov, D.M. Aerodynamic sound appearance at passing of gas stream through a diaphragm / D.M. Mordasov, M.V. Dmitriev, M.M. Mordasov // Transactions TSTU. – Tambov, 1997. – P. 223–228.

4. Mordasov, D.M. Physical bases of generation of stream-acoustic vibrations / D.M. Mordasov // Transactions TSTU. – 2001. – Vol. 7, № 2. – P. 283–293.

5. Mordasov, D.M. Stream-acoustic generation and its stability / D.M. Mordasov // The Mathematical methods in a technique and technologies : The 14-th International scientific conference collection of works. – Smolensk, 2001. – P. 55.

6. Mordasov, D.M. Stream-acoustic generators of diaphragm type / D.M. Mordasov, S.A. Onischenko // XXI-th age materials and technologies : The II-th International scientific technical conference collection of works. – Penza, 2004. – P. 156–157.

Einwirkung der konstruktiven Parameter des strahlakustischen Generators auf die Frequenz der entstehenden Schwankungen

Zusammenfassung: Der Artikel ist dem Erlernen der physikalischen Grundlagen der Entstehung der Schwankungen der Schallfrequenz auf der Ausgang des strahlakustischen Generators gewidmet. Es sind die Gesetzmäßigkeiten der Veränderung der Schwankungsfrequenz bei der Veränderung der konstruktiven Parameter des Generators festgestellt.

Influence des paramètres constructifs du générateur acoustique de jet sur la fréquence des oscillations apparues

Résumé: L'article est consacré à l'étude des bases physiques de l'apparition des oscillations de la fréquence sonore à la sortie du générateur acoustique de jet. Sont montrées les régularités des changements de la fréquence des oscillations lors du changement des paramètres constructifs du générateur.

Авторы: *Мордасов Михаил Михайлович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные системы и приборы»; *Мордасов Денис Михайлович* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные системы и приборы», ГОУ ВПО «ТГТУ»; *Иванцов Андрей Алексеевич* – начальник смены ОИТ, ТВВАИУРЭ.

Рецензент *Пономарев Сергей Васильевич* – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, заместитель заведующего кафедрой «Автоматизированные системы и приборы» ГОУ ВПО «ТГТУ».
