

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ВНОСИМОГО ЗАТУХАНИЯ ПРИ НЕУЧЕТЕ РАСПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ ГАСИТЕЛЯ КОЛЕБАНИЙ

Прокофьев А.Б., Шестаков Г.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одним из эффективных средств борьбы с пульсациями давления рабочей жидкости гидромеханических систем двигателей летательных аппаратов, а также с порождаемыми этими пульсациями вибрациями трубопроводной арматуры, является применение гасителей колебаний.

Вопросам их расчета, проектирования и конструирования посвящены работы многих отечественных ученых [1, 2, 3]. Практика использования гасителей колебаний показала их высокую эффективность при решении проблемы снижения вынужденных пульсаций рабочей среды. Широкое внедрение гасителей колебаний в инженерную практику сдерживает сложность методик расчета их характеристик. Наиболее часто расчет характеристик ведут в сосредоточенных параметрах. Это существенно сокращает объем и сложность математических выкладок, но с другой стороны, вносит определенные погрешности в расчет. Целью данной работы является оценка подобных погрешностей, определение диапазонов частот и соотношений граничных импедансов, в которых неучет распределенности параметров приведет к погрешностям не более заданной величины.

Наиболее объективным критерием, оценивающим эффективность снижения пульсаций, является коэффициент вносимого затухания $K_{вн}$, представляющий собой отношение амплитуды пульсаций давления в некотором сечении участка трубопроводной системы до установки в него гасителя колебаний и после установки [1]. Выражение для коэффициента вносимого затухания при гармоническом сигнале можно записать в виде [1]:

$$K_{вн} = K_c \left| \frac{Z_g}{\sqrt{Z_{c1} Z_{c2}}} \frac{(Z_{c1} + Z_u)(Z_{c2} + Z_u) - e^{-j2\theta} (Z_u - Z_{c1})(Z_u - Z_{c2}) \frac{1}{K_c^2}}{(Z_g + Z_u)(Z_g + Z_u) - e^{-j\frac{2\omega l}{a}} (Z_u - Z_g)(Z_u - Z_g)} \right| \quad (1)$$

В последнем выражении обозначено:

Z_g – волновое сопротивление трубопровода;

Z_{c1} – волновое сопротивление гасителя колебания со стороны входа;

Z_{c2} – волновое сопротивление гасителя колебаний со стороны выхода;

Z_u – импеданс источника;

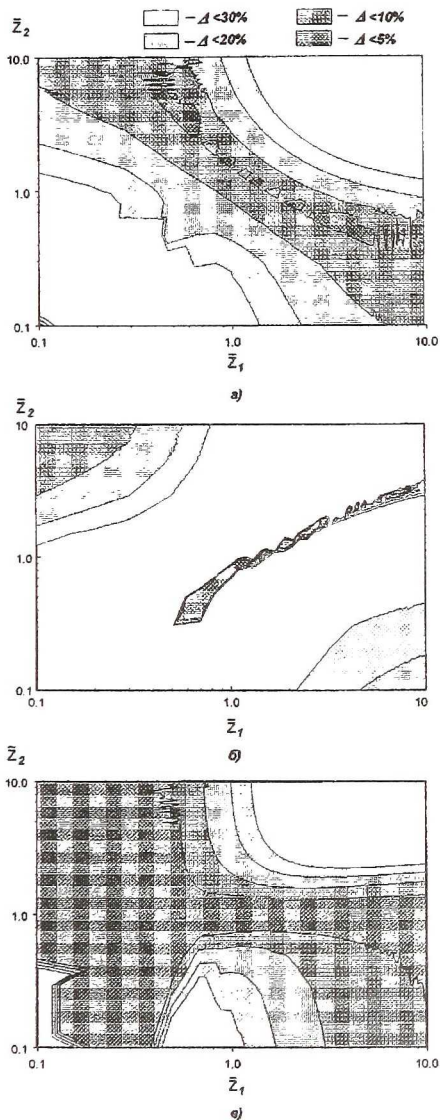


Рис. 1. Погрешности определения $K_{ан}$ при неучете распределенности параметров гасителя колебаний для различных характеров граничных импедансов:

- а) Z_1 и Z_2 – емкостной характер;
- б) Z_1 – емкостной характер, Z_2 – индуктивный характер;
- в) Z_1 – емкостной характер, Z_2 – активный характер

Z_n - импеданс нагрузки;

ω - круговая частота колебаний;

l - длина гасителя;

a - скорость звука в рабочей среде;

$\varphi = \arg(\sqrt{AD} + \sqrt{BC})$; $K_c = |\sqrt{AD} + \sqrt{BC}|$ - коэффициент собственного затухания;

A, B, C, D - частотно-зависимые коэффициенты матрицы передачи гасителя колебаний, представленного в виде пассивного четырехполюсника.

Приведем выражение (1) к безразмерному виду, выразив входящие в него величины через волновое сопротивление трубопровода:

$$\bar{Z}_i = \frac{Z_i}{Z_0}$$

Перейдем также к безразмерной частоте:

$$\bar{\omega} = \frac{\omega l}{a}$$

Тогда можно записать:

$$K_{en} = \frac{K_c}{\sqrt{\bar{Z}_{c1}\bar{Z}_{c2}}} \left| \frac{(\bar{Z}_{c1} + \bar{Z}_u)(\bar{Z}_{c2} + \bar{Z}_n) - e^{-j2\varphi}(\bar{Z}_u - \bar{Z}_{c1})(\bar{Z}_n - \bar{Z}_{c2}) \frac{1}{K_c^2}}{(1 + \bar{Z}_u)(1 + \bar{Z}_n) - e^{-j2\bar{\omega}}(\bar{Z}_u - 1)(\bar{Z}_n - 1)} \right| \quad (2)$$

В выражение (2) в неявном виде входит длина гасителя, оказывающая определенное влияние на величину K_{en} . В то же время расчет в сосредоточенных параметрах требует отказа от рассмотрения значения величины $\bar{\omega}$ (полагается лишь, что $\bar{\omega} < \frac{\pi}{8} \dots \frac{\pi}{4}$). Оценим влияние не

учета величины $\bar{\omega}$ на K_{en} . Проведем некоторые преобразования знаменателя второй дроби выражения (2). Получим:

$$K_{en} = \frac{K_c}{\sqrt{\bar{Z}_{c1}\bar{Z}_{c2}}} \left| \frac{(\bar{Z}_{c1} + \bar{Z}_u)(\bar{Z}_{c2} + \bar{Z}_n) - e^{-j2\varphi}(\bar{Z}_u - \bar{Z}_{c1})(\bar{Z}_n - \bar{Z}_{c2}) \frac{1}{K_c^2}}{(1 + \bar{Z}_u\bar{Z}_n)(1 - e^{-j2\bar{\omega}}) + (\bar{Z}_u + \bar{Z}_n)(1 + e^{-j2\bar{\omega}})} \right|$$

Полагая $\bar{\omega} \ll 1$, можно записать:

$$K_{\text{вн}} = \frac{K_c}{\sqrt{|\bar{Z}_{c1}\bar{Z}_{c2}|}} \left| \frac{(\bar{Z}_{c1} + \bar{Z}_u)(\bar{Z}_{c2} + \bar{Z}_n) - e^{-j2\varphi}(\bar{Z}_u - \bar{Z}_{c1})(\bar{Z}_n - \bar{Z}_{c2})}{2(\bar{Z}_u + \bar{Z}_n)} \frac{1}{K_c^2} \right| \quad (3)$$

Погрешность определения величины коэффициента вносимого затухания $K_{\text{вн}}$ по выражению (3) можно определить после несложных преобразований:

$$\Delta = \left| \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right|,$$

где $M_1 = 2|\bar{Z}_u + \bar{Z}_n|$, (4)

$$M_2 = \left| (1 + \bar{Z}_u)(1 + \bar{Z}_n) - e^{-j2\bar{\omega}}(\bar{Z}_u - 1)(\bar{Z}_n - 1) \right|. \quad (5)$$

Рассмотрение последних выражений позволяет сделать вывод, что погрешность определения $K_{\text{вн}}$ при неучете длины гасителя колебаний не зависит от собственных характеристик гасителя (K_c , Z_{c1} и Z_{c2}) и определяется лишь соотношением импедансов источника колебаний, присоединенной цепи и волнового сопротивления трубопровода. Следует также отметить симметричность выражений (4) и (5) относительно входящих в

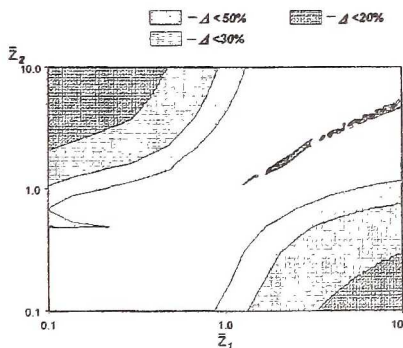


Рис. 2. Погрешность определения $K_{\text{вн}}$ при характере граничных импедансов, соответствующем рис. 16 и при $\bar{\omega} = \pi/4$

них значений импедансов Z_i : при перемене \bar{Z}_u и \bar{Z}_n местами выражения не изменятся.

Таким образом, можно записать:

$$M_1 = 2|\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2|;$$

$$M_2 = \left| (1 + \bar{Z}_1)(1 + \bar{Z}_2) - e^{-j2\bar{\omega}}(\bar{Z}_1 - 1)(\bar{Z}_2 - 1) \right|.$$

На рис. 1 представлены в графическом виде результаты расчета погрешности определения $K_{\text{вн}}$ при не учете распределенности параметров гасителя колебаний для различных характеров граничных импедансов – сопротивлений \bar{Z}_1 и \bar{Z}_2 . При расчетах полагалось $\bar{\omega} = \frac{\pi}{8}$.

На рис.2 представлены результаты расчета погрешности определения $K_{\text{вн}}$ для характера граничных импедансов, соответствующего рис.1б.

Но в данном случае полагалось, что $\bar{\omega} = \frac{\pi}{4}$. Как и следовало ожидать, увеличение безразмерной частоты приводит к сужению зон малых погрешностей.

Таким образом, в работе представлена методика расчета погрешности определения коэффициента вносимого затухания от неучета распределенности его параметров. Приведены графические зависимости, позволяющие оценить указанную погрешность при различных характерах и численных соотношениях граничных импедансов.

Список литературы

1. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. – М.: Машиностроение, 1980. – 156 с.
2. Головин А.Н., Шестаков Г.В. Расчетные модели гасителей для автоматизированного проектирования // Динамические процессы в силовых и энергетических установках летательных аппаратов. – Куйбышев, 1990. – С. 27-37.
3. Шорин В.П. Проектирование гасителей колебаний типа акустического фильтра низких частот // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. – Куйбышев, 1972. – Вып. 51. – С. 161-169.