

Г.И.Берестнев, А.Г.Гимадиев

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРОССЕЛИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗ МАТЕРИАЛА МР ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ЛАМИНАРНОМ
ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ

В настоящее время в различных типах гасителей колебаний рабочей среды для топливных, гидравлических и измерительных систем применяются дросселирующие элементы, выполненные на основе пористого материала МР [1,2]. Дроссели из МР при одинаковом с обычными дросселями сопротивлении обладают большим диапазоном изменения скоростей рабочей среды, при котором сохраняется линейный закон гидравлических потерь, и меньшей акустической индуктивностью. Эти свойства дросселей из МР позволяют создавать гасители с линейными характеристиками, разрабатывать принципиально новые конструкции устройств коррекции частотных характеристик систем.

Дроссели из МР, помимо гасителей, применяют, в гидростатических подшипниках [3], в качестве фильтроэлементов [4], а также в устройствах гидропневмоавтоматики для демпфирования колебательных процессов [5].

Для определения динамических характеристик гасителей колебаний и различных устройств, в которых применяется дроссель из МР, необходима расчетная модель дросселя при неустановившемся движении жидкости.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований коэффициента гидравлического сопротивления дросселей из МР при периодическом движении жидкости.

Установившееся движение жидкости в материале МР применительно к фильтроэлементам подробно исследовано в работе [6]. Показано, что связь между перепадом давления ΔP на фильтроэлементе и объемным расходом жидкости через него Q выражается зависимостью

$$\Delta P = \xi_{уст} \frac{\rho L (1 - \Pi)}{\pi^3 d_{np} S^2} Q^2,$$

где $\xi_{уст}$ - коэффициент гидравлического сопротивления материала МР при установившемся движении жидкости; ρ - плотность жидкости;

Π - пористость МР; L и S - длина и площадь поперечного сечения дросселирующего элемента; d_{np} - диаметр проволоки, из которой изготовлен МР.

Обработку результатов исследований автор проводил на основе известной зависимости

$$\zeta_{yem} = \frac{A}{Re_{yem}} + B, \quad (I)$$

где A и B - постоянные коэффициенты, зависящие от структуры МР; $Re_{yem} = \frac{\rho d_{np}}{(1-\Pi)S\nu}$ - число Рейнольдса для установившегося движения жидкости; ν - коэффициент кинематической вязкости жидкости.

В результате аппроксимации экспериментальных данных для фильтроэлементов получено

$A = 76$; $B = 0$ - для ламинарных режимов; $A = 66$; $B = 0,71$ - для ламинарно-турбулентного режима движения жидкости.

Дроссели из МР в отличие от фильтроэлементов обладают большим сопротивлением, отнесенным к единице площади S , т.е. большим отношением длины элемента L к его диаметру D ($L/D > 1$). Поэтому для проверки справедливости результатов работы [6] применительно к дросселям перед динамическими испытаниями были определены сопротивления дросселей при установившемся движении жидкости. Были исследованы дроссели, выполненные из проволоки ЭМ-708А ($d_{np} = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м, пористость $\Pi = 0,35$; $0,5$; $0,7$ (по три образца каждой пористости)). Длина дросселирующего элемента составляла $L = 1 \cdot 10^{-2}$ м, а отношение длины к диаметру элемента $L/D = 2,2$. Рабочая среда: масло АМГ-10 при температуре 20°C .

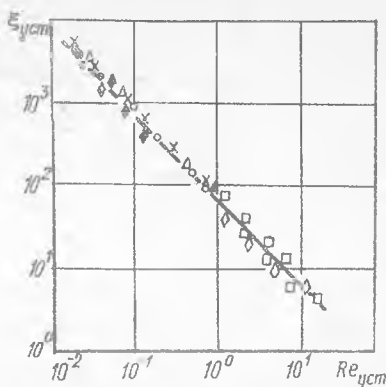
Результаты исследований представлены в виде графической зависимости $\zeta_{yem} = f(Re_{yem})$ (рис. I). После аппроксимации экспериментальных данных уравнением вида (I) для дросселей из МР получены следующие коэффициенты: $A = 72$, $B = 0$.

Полученные значения коэффициентов A и B совпадают в пределах погрешности измерений ($\pm 6,0\%$) с коэффициентами для фильтроэлементов при ламинарном движении жидкости. Поэтому в практических расчетах сопротивлений дросселей можно пользоваться данными, полученными для фильтроэлементов.

Режим турбулентного и ламинарно-турбулентного движения жидкости в данной работе не исследуется. Это связано с тем, что режим ла

миллярного движения жидкости реализуется в достаточно широком диапазоне расходов и, кроме того, задаваясь параметрами Π , D , L , всегда можно подобрать по сопротивлению такой дроссель, который будет работать в области ламинарных режимов движения жидкости.

При неустановившемся движении жидкости через дроссель из МР перепад давления затрачивается на преодоление инерционного и активного сопротивления и определяет эту зависимость



Р и с. 1. Экспериментальная зависимость коэффициента гидравлических потерь $\xi_{уст}$ материала МР от числа Рейнольдса $Re_{уст}$:

$x-1$, $\phi-2$, $\odot-3-\Pi=0,35$; $\circ-4$, $*-5$, $\Delta-6-\Pi=0,50$; $\Delta-7$, $\square-8$, $\nabla-9-\Pi=0,70$

$$\Delta p = m \frac{dQ}{dt} + \frac{A' \mu L (1-\Pi)^2}{d_{np}^2 \Pi^3 S} Q, \quad (2)$$

где m - коэффициент эффективной колеблющейся массы жидкости в объеме дросселирующего элемента; A' - коэффициент, зависящий от структуры МР и характера неустановившегося движения жидкости; μ - коэффициент динамической вязкости жидкости.

При выводе формулы (2) были приняты следующие допущения: изменение вязкости, плотности, модуля объемного сжатия в процессе колебаний малы;

геометрия дросселей неизменна.

Кроме того, дросселирующий элемент рассматривается как элемент с сосредоточенными параметрами.

При периодическом движении жидкости расход через дросселирующий элемент определяется зависимостью

$$Q = q e^{j\omega t}, \quad (3)$$

где $q = A_q e^{j\varphi_q}$ - комплексная амплитуда объемного расхода жидкости; A_q, φ_q - амплитуда и начальная фаза колебаний жидкости; ω - круговая частота; $j = \sqrt{-1}$.

При этом перепад давления колеблется с той же частотой, что и расход, и определяется в соответствии с выражениями (2) и (3)

$$\Delta p = \left[j m \omega + \frac{A' \mu L (1 - \Pi)^2}{d_{np}^2 \Pi^3 S} \right] q.$$

Расчет частотных характеристик систем, включающих дроссели, упрощается при использовании импеданса дросселя

$$\frac{\Delta p}{q} = Z(j\omega) = \operatorname{Re} Z(j\omega) + j \operatorname{Im} Z(j\omega), \quad (4)$$

где $\operatorname{Re} Z(j\omega) = \frac{A' \mu L (1 - \Pi)^2}{d_{np}^2 \Pi^3 S}$ - активная часть импеданса дросселя, характеризующая гидравлические потери, $\operatorname{Im} Z(j\omega) = m \omega$ - реактивная часть импеданса, характеризующая акустическую индуктивность дросселя из МР.

Теоретическое исследование импеданса дросселя затруднительно из-за сложности структуры материала МР, поэтому применяется экспериментальный метод. Характеристики дросселей были исследованы исходя из того, что зависимость сопротивления дросселя от числа Рейнольдса при периодическом движении жидкости аналогична зависимости (1) при установившемся движении жидкости.

Коэффициент гидравлического сопротивления дросселя при периодическом движении жидкости выражается зависимостью

$$\xi_{Hy} = \frac{A'}{Re_{Hy}},$$

где $Re_{Hy} = \frac{d_{np} A_q}{(1 - \Pi) S v}$ - число Рейнольдса при периодическом движении жидкости.

Экспериментальное определение ξ_{Hy} проводилось на основе зависимости (4). После преобразования выражения (4), учитывая

$$\operatorname{Re} Z(j\omega) = \frac{A_{\Delta p}}{A_q} \cos(\varphi_{\Delta p} - \varphi_q),$$

имеем:

$$\xi_{\text{нч}} = \frac{d_{\text{др}} \Pi^3 S^2}{\rho L (1 - \Pi)} \frac{A_{\text{др}}}{A_q^2} \cos(\varphi_{\text{др}} - \varphi_q). \quad (7)$$

Определение коэффициента m , характеризующего удельную акустическую индуктивность дросселя, проводилось на основе зависимости (5). Имея в виду, что

$$\text{Im } Z(j\omega) = \frac{A_{\text{др}}}{A_q} \sin(\varphi_{\text{др}} - \varphi_q),$$

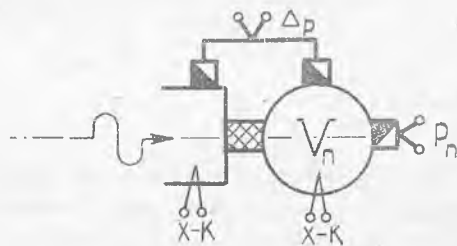
получим:

$$m = \frac{1}{\omega} \frac{A_{\text{др}}}{A_q} \sin(\varphi_{\text{др}} - \varphi_q). \quad (8)$$

Схема установки дросселирующего элемента, датчиков давления и температуры во время проведения экспериментальных исследований представлена на рис. 2.

Колебания объемного расхода через дроссель измерялись косвенным методом - по изменению давления P_n в рабочей полости

$$Q = \frac{V_n}{\rho c^2} \frac{dP_n}{dt}, \quad (9)$$



Р и с. 2. Схема установки экспериментальных исследований

где V_n - приведенный объем полости с учетом податливости стенок; c - скорость распространения звука в жидкости.

Для периодического движения жидкости зависимость (9) примет вид

$$Q = j \frac{V_n \omega}{\rho c^2} P_n,$$

где $p_n = A_{pn} e^{j\varphi_{pn}}$ - комплексная амплитуда колебаний давления в полости; $A_{pn} (\varphi_{pn})$ - амплитуда и начальная фаза колебаний давления в полости.

С учетом метода определения колебаний расхода выражения (6), (7), (8) будут следующие:

$$\zeta_{ny} = \frac{d_{np} \Pi^3 \rho c^4 s^2 A_{\Delta p}}{L (1 - \Pi) V_n^2 \omega^2} \frac{A_{\Delta p}}{A_{pn}^2} \cos(\varphi_{\Delta p} - \varphi_{pn} - \frac{\pi}{2});$$

$$m = \frac{\rho c^2}{V_n \omega^2} \frac{A_{\Delta p}}{A_{pn}} \sin(\varphi_{\Delta p} - \varphi_{pn} - \frac{\pi}{2}),$$

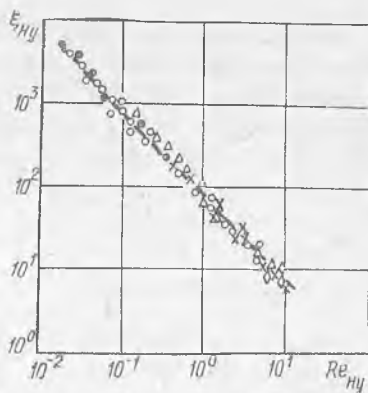
$$Re_{ny} = \frac{d_{np} V_n \omega A_{pn}}{(1 - \Pi) s \nu \rho c^2}.$$

Экспериментальные исследования характеристик дросселей из МР проведены на стенде пульсирующих давлений. Амплитуда колебаний расхода жидкости изменялась в диапазоне $0,1 \cdot 10^{-6} - 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, а частота колебаний от 4 до 400 Гц.

Давление в рабочей полости измерялось датчиком ЛХ-412/60, а перепад давления - датчиком ПЛХ-412/60, работающими в комплекте с усилительной аппаратурой ЛХ-7000. Напряжения, пропорциональные давлению и перепаду давлений, подавались с выхода ЛХ-7000 на терц-октавные анализаторы ТОА-III. С выхода ТОА-III напряжения подавались параллельно на вольтметры Ф563 и фазометр Ф2-13. Частота контролировалась частотомером ЧЗ-22. Температура рабочей среды измерялась хромель-копелевой термопарой с потенциометром ПП-63.

В результате экспериментальных исследований дросселей из МР установлено (рис. 3), что в диапазоне частот 4 - 400 Гц и при Re_{ny} равном 0,01 - 10 коэффициент сопротивления дросселей из

MP при периодическом движении жидкости не зависит от частоты колебаний и совпадает (+14% погрешности) с коэффициентом сопротивления при установившемся движении жидкости. Величина коэффициента η мала и находится в пределах погрешности измерения.



Р и с. 3. Экспериментальная зависимость коэффициента гидравлических потерь ξ_{Hy} материала от числа Рейнольдса Re_{Hy} :
 ● - 4 Гц, ○ - 25 Гц, △ - 50 Гц, λ - 100 Гц,
 ◇ - 200 Гц, ± - 400 Гц - образцы 1...9,
 $\eta = 0,35; 0,50; 0,70$

Л и т е р а т у р а

1. С а н ч у г о в В.И., Ш о р и н В.П. Об одной схеме гасителя пульсаций жидкости типа ответвленного резонатора. - Труды У Всесоюзной межотраслевой научно-технической конференции по микроэнергетике. - Куйбышев, 1975.
2. Б е р е с т н е в Г.И., Г и м а д и е в А.Г., Л а п ч у к Л.М., Ш о р и н В.П. Демпфирующее устройство для манометрических приборов. Положительное решение № 2730345/18-10 от 29.08.79.
3. Б е л о у с о в А.И., Р ж е в с к и й В.П., К а ш и н Б.М., Р у б и н ч и к Ю.Г. Дроссель для гидростатической опоры: Авт. свид. № 364773. Бюл. изобрет. № 5, 1973.
4. Б е л о у с о в А.И., И з ж е у р о в Е.А. Фильтр для очистки жидкости: Авт. свид. № 404489. Бюл. изобрет. № 44, 1973.
5. А н и с и м к и н Ю.С., С в е р б и л о в В.Я., Ш о р и н В.П. Регулятор давления. Положительное решение № 265084I/24 от 31.01.79.

6. И з ж е у р о в Е.А. Исследование гидродинамических и фильтровальных характеристик упруго пористого материала МР для систем двигателей летательных аппаратов: Дис. канд. техн. наук. - Куйбышев: КуАИ, 1973.

УДК 621.643:539.433

В.А.Борисов, Н.Д.Войтех, Г.Н.Маркушин, Ф.В.Паровай

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ НИППЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ВИБРАЦИИ

В связи с большим ресурсом современных ГТД возникает необходимость исследования длительного влияния различных видов нагружения на работоспособность элементов двигателя, например, на работоспособность многочисленных соединений трубопроводов, ресурс которых при проведении эквивалентных испытаний двигателей практически не выявляется. Это объясняется, во-первых, тем, что форсирование режимов во время испытаний двигателей мало влияет на интенсивность нагружения соединений трубопроводов, во-вторых, основной причиной отказа соединений трубопроводов является нарушение герметичности соединений, а не их прочность.

В работе определяется влияние длительного, предельно-допустимого по прочности виброн нагружения трубопровода на герметичность соединений с упругим сферическим ниппелем, выполненным по ОСТ 00764-75. Для упрощения количественной оценки герметичности в качестве испытательной среды используется воздух. Форсирование процесса испытания обеспечивается за счет увеличения частоты виброн нагружения до 500 Гц вместо 100 Гц на двигателе.

Исследуются образцы соединения $d_y = 20$ мм, состоящие из штуцера, ниппеля с отрезком трубки длиной 78 мм и накидной гайки. Трубки на конце заглушены и снабжены канавкой для крепления груза. На поверхности трубок у корня ниппеля наклеиваются тензодатчики.

Образцы монтируются на испытательном стенде в вертикальном положении (рис. 1, а). При этом штуцер образца вворачивается в стакан, закрепленный на кронштейне. Через стакан в образец поступает сжатый воздух под давлением 5 МПа (50 кгс/см²). Виброн нагружение создается динамическим возбуждением образцов при помощи электромаг-