

## ЛИТЕРАТУРА

1. Уиллок Д. Ф., Бевье В. Е. Подшипники с внешним наддувом. Ч. II. Гасители колебаний. Труды амер. общества инженеров-механиков, с. 6, 1968, № 3.
2. Белоусов А. И. Основы теории пневмостатических амортизаторов. Труды КуАИ, вып. 51, Куйбышев, 1972.
3. Белоусов А. И., Несоломенов Г. Ф., Макушин А. Б. Чегодаев Д. Е. Статические характеристики пневмостатических амортизаторов двустороннего действия. Труды КуАИ, вып. 51, Куйбышев, 1972.
4. Ильинский В. С. Защита аппаратов от динамических воздействий. М., «Энергия», 1970.

А. И. Белоусов, Е. А. Изжеуров,  
С. А. Казаков, В. М. Кожевников,  
В. И. Михеев

### ДРОССЕЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ БОЛЬШОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УПРУГОГО ПОРИСТОГО МЕТАЛЛА МР

В настоящее время в пневмосистемах различного назначения широко применяются дроссельные шайбы, работающие в сверхкритическом режиме течения газа. В случае, когда необходимо получить небольшой расход рабочего тела при значительном перепаде давления, диаметр проходного сечения приходится выбирать очень маленьким, порядка  $0,1 \div 0,2$  мм. Применение дроссельных шайб с таким проходным сечением нежелательно из-за сложности изготовления и возможности засорения дросселя. В этой связи представляется целесообразным использование дросселирующих элементов, изготовленных из пористых металлов и, в частности, из МР (металлорезины).

МР представляет собой однородную пористую массу, полученную при холодном прессовании свитой в спираль и дозированной по весу проволоки [1]. Он имеет высокую активную пористость, большую удельную поверхность, хорошую стабильность структурных свойств по объему и времени, высокую демпфирующую способность. Технология изготовления МР проста и позволяет получать изделия с пористостью от 0,13 до 0,95. В зависимости от материала проволоки изделия из МР могут работать в широком диапазоне температур и в агрессивных средах. Структурные особенности материала позволяют с высокой точностью подсчитать пористость и удельную поверхность.

При теоретическом исследовании течения газов в пористом материале МР использовались методы теории подобия и размерностей. Если в качестве основных параметров выбрать перепад давления, отнесенный к единице толщины пористой стенки  $\Delta p/L$ , характерные линейный размер  $d$  и линейную скорость  $V$ , плотность  $\rho$  и коэффициент динамической вязкости  $\mu$ ,

то в общем случае зависимость между ними можно представить в виде

$$\frac{\Delta P}{L} = f(V; d; \rho; \mu). \quad (1)$$

Используя  $\pi$ -теорему, получим два безразмерных комплекса, зависимость между которыми вполне определяет течение жидкости в пористой среде. По аналогии с трубной гидравликой эти комплексы названы коэффициентом сопротивления  $\eta$  и числом Рейнольдса  $Re$

$$\eta = \frac{2\Delta p d}{LV\rho}, \quad (2)$$

$$Re = \frac{V\rho d}{\mu}. \quad (3)$$

Примем за характерный линейный размер потока гидравлический диаметр  $d_r$ . Считая, что вся внутренняя поверхность  $d_r$  пористого образца смачивается потоком жидкости и выразив его через параметры структуры материала МР — пористость  $\Pi$  и диаметр проволоки  $d_n$ , получим

$$d = d_r = \frac{4F_{ж.с.}}{\kappa} = \frac{\Pi d_n}{(1-\Pi)}, \quad (4)$$

где  $F_{ж.с.}$  — площадь живого сечения потока жидкости в пористом материале;

$\kappa$  — смоченный периметр.

За характерную линейную скорость принималась средняя скорость потока в порах, которая может быть выражена через среднерасходную скорость  $V$  и пористость  $\Pi$ ,

$$u = \frac{V}{\Pi}. \quad (5)$$

Подставив в уравнения (2) и (3) выражения для характерного линейного размера (4) и характерной линейной скорости (5), получим зависимости для подсчета  $\eta$  и  $Re$  при течении жидкостей в материале МР

$$\eta = \frac{2\Delta p \Pi^3 d_n}{L\rho V(1-\Pi)}, \quad (6)$$

$$Re = \frac{\rho V d_n}{(1-\Pi)\mu}. \quad (7)$$

Зависимость между  $\eta$  и  $Re$  находилась в форме двучлена

$$\eta = \frac{A}{Re} + B, \quad (8)$$

где  $A$  и  $B$  — постоянные пористой среды, определяемые экспериментально.

Такая форма зависимости (т. е. двучленный закон сопротивления) является физически наиболее обоснованной и осуществляется при всех режимах течения жидкостей в пористых материалах [2].

С учетом уравнений (6) ÷ (8) равенство (1), можно записать так

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{A(1-\Pi)^2}{2\Pi^3 d_n^2} \mu V + \frac{B(1-\Pi)}{2\Pi^3 d_n} \rho V^2. \quad (9)$$

При исследовании возможности создания дросселирующих элементов большого сопротивления нами использовались образцы из материала МР, выполненные в виде цилиндров диаметром 10 мм и высотой 3 мм. Для этого применялась проволока ЭИ-708А и Х18Н9Т диаметром 0,09 и 0,03 мм. Пористость исследуемых образцов изменялась в диапазоне от 0,145 до 0,35.

Конструкция исследованных дросселей приведена на рис. 1. Корпус дросселя позволял размещать в нем до шести вкладышей. Плотное прилегание вкладышей к стенкам обеспечивалось их упругостью.

Исследования проводились на пневмостенде, обеспечивающем подвод к объекту испытаний рабочего тела с параметрами  $P_{\max} = 250 \text{ кг/см}^2$ ,  $t = +20^\circ$ ,  $G_{\max} = 25 \text{ г/сек}$ . Контроль давления при продувках осуществлялся образцовыми манометрами. Для измерения температуры использовались стандартные термодпары

Т49—4 и автоматический самопишущий потенциометр ЭПП-0,9. Расход воздуха через испытуемый дроссель измерялся с помощью дроссельных шайб диаметром 0,3; 0,5; 0,7; 1,3; 1,5; и 2,0 мм, работающих в закритическом режиме, и ротаметром РТ-3А.

Методика экспериментов заключалась в следующем. На вход в испытуемый дроссель ступенчато, с интервалом  $20 \text{ кг/см}^2$  подавалось давление от 0 до  $240 \text{ кг/см}^2$ . После перехода на стационарный режим фиксировалось давление на выходе из дросселя и пе-

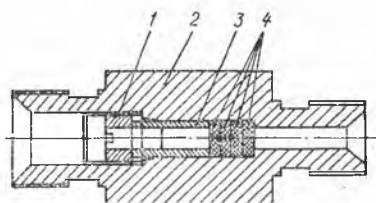


Рис. 1. Дроссель большого перепада с вкладышами из материала МР:

1 — гайка, 2 — корпус, 3 — втулка, 4 — вкладыши из материала МР

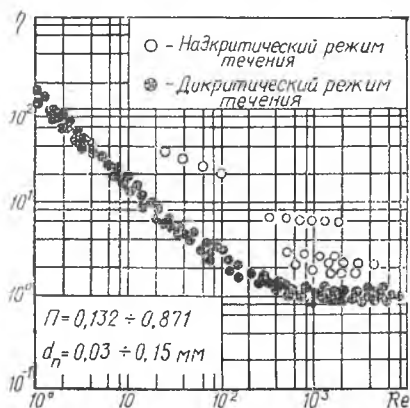


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления  $\zeta$  от числа Рейнольдса  $Re$  для образцов из материала МР

ред расходной шайбой, и регистрировалась температура у образца на входе и выходе.

Обработка результатов экспериментов сводилась к отысканию числовых значений коэффициентов  $\Lambda$  и  $B$  в уравнении (8). Значения коэффициента сопротивления  $\eta$  и числа Рейнольдса

$Re$  подсчитывались по выражениям (6) и (7). Зависимость  $\eta-Re$ , которая аппроксимировалась уравнением

$$\eta = \frac{146}{Re} + 1, \quad (10)$$

представлена в логарифмических координатах на рис. 2. Этим же уравнением аппроксимируется зависимость  $\eta-Re$ , полученная при докритических продувках образцов из материала МР с пористостью от 0,132 до 0,871, изготовленных из

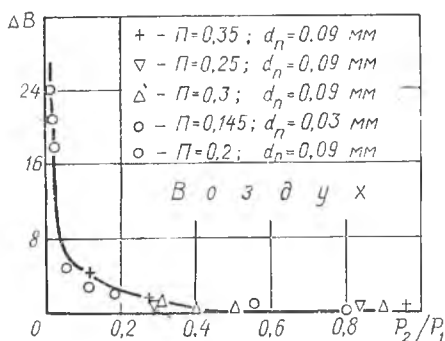


Рис. 3. Влияние отношения  $p_2/p_1$  на величину добавки  $\Delta B$  к коэффициенту сопротивления

проволоки диаметром от 0,03 до 0,15 мм.

Результаты продувок дросселей из МР показали, что при одном и том же значении числа Рейнольдса значение коэффициента сопротивления (точнее, величина коэффициента  $B$  в выражении для коэффициента сопротивления (8) существенно зависит от отношения давления  $p_2$  на выходе из дросселя к давлению  $p_1$  на входе при сверхкритическом перепаде давления. Об этом свидетельствует рассмотрение характеристик на рис. 2. При закритическом режиме течения уравнение (10) можно представить в виде

$$\eta = \frac{146}{Re} + 1 + \Delta B. \quad (11)$$

Функция величины  $\Delta B$ , зависящая от отношения  $p_2/p_1$ , показана на рис. 3. Анализ зависимости  $\Delta B$  от  $p_2/p_1$  показывает, что при  $p_2/p_1 \geq 0,528$  величина  $\Delta B=0$ . При  $p_1/p_2 \ll 0,528$  величина  $\Delta B$  существенно зависит от  $p_2/p_1$ , и ее учет в расчетах обязателен.

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработаны, испытаны и предложены для применения в агрегатах пневмосистем дроссели большого перепада с вкладышами из упругого пористого металла МР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соيفер В. М., Бузицкий В. Н., Першин В. А. Способ изготовления нетканого материала МР из металлической проволоки, а. с. № 183174.
2. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР. (1917—1967). М., «Наука», 1969.