

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
В УЗЛАХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ И СЛИЯНИЙ ПОТОКОВ**

Известно, что коэффициенты местных сопротивлений в узлах разветвленных и слияний потоков при неизменных геометрических параметрах самого такого узла не остаются постоянными, как это имеет место для других видов местных сопротивлений (отводов, шиберных заслонок, задвижек и т.д.). Это происходит потому, что в этих местных сопротивлениях не столько геометрические параметры такого узла воздействуют на структуру проходящего потока, сколько сами потоки в отдельных ветвях узла являются источником местных сопротивлений, подобно тому как воздушные завесы являются своеобразными шиберами на входе в здание. Поэтому при определении местных сопротивлений такого рода узловых соединений учитывают не только конфигурацию узла, не только его геометрические параметры, но и скорости потоков или расходы в отдельных ветвях узла, вернее – соотношение скоростей (или соотношение расходов) в ветвях узла. Но ведь скорости (расходы) в ветвях узлового соединения определяются сопротивлениями самих этих ветвей. Например, если мы рассматриваем тройниковое соединение при слиянии (или разветвлении) потоков, то давление в узле будет общим как для ветви прямого прохода, так и для ветви бокового ответвления, а давление в конце этих участков будет равно атмосферному. Поэтому расходы в этих ветвях, как ветвях параллельного соединения, обратно пропорциональны корню квадратному из характеристик полных сопротивлений этих ветвей, если мы рассматриваем квадратичный режим движения потока.

Исходя из этого, нами предлагается при нахождении коэффициентов местных сопротивлений в узлах потоков принимать за определяющий параметр не соотношение скоростей (или соотношение расходов), а соотношение характеристик сопротивлений ветвей таких узлов [1], т.е. предлагается зависимость вида

$$\xi = \varphi \left( \frac{r_1}{r_2} \right), \quad (1)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  – характеристики сопротивлений параллельных ветвей соединения до рассматриваемого узла.

Для установления зависимости (1) в узле тройникового соединения нами была построена аэродинамическая модель, показанная на рис. 1. Модель изготавливалась из белой жести и представляла собой тройниковое соединение воздуховодов квадратного сечения (25 x 25 мм), каждая из ветвей которого имеет сопряжение бокового ответвления под углом  $90^\circ$ . Во внутрен-

нюю часть модели впаивались пневмометрические трубки для замера с помощью микроманометра статического, полного и скоростного давлений.

Исследования проводились для условий: в одном эксперименте – тройники с разветвлением потока, в другом – слияние потоков. Причем исследования проводились, когда общий поток проходил в одном случае по центральному участку (участок 0–3 на рис. 1), в другом – на участке прямого прохода (участок 1–0).

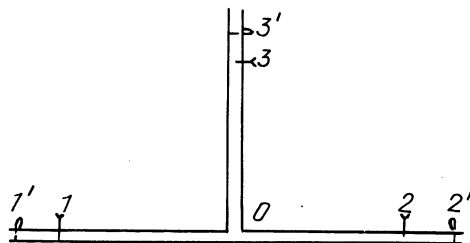


Рис. 1. Схема модели тройникового воздуховода.

В ходе исследований определялись следующие коэффициенты местных сопротивлений. При слиянии потоков на участках 0–2 и 0–3 в общий поток участка 0–1: коэффициент местного сопротивления прямого прохода при слиянии потоков  $\xi_{1-2}^C$  и коэффициент местного сопротивления бокового подсоединения при слиянии потоков  $\xi_{3-1}^C$ . При разделении потока на участок прямого прохода (0–2) и участок бокового ответвления (0–3): коэффициент местного сопротивления прямого прохода при разделении потока  $\xi_{1-2}^P$  и коэффициент местного сопротивления бокового ответвления  $\xi_{1-3}^P$ . При слиянии двух потоков на участках 1–0 и 2–0 в общий поток 0–3 определялся коэффициент местного сопротивления слияния в противотоке  $\xi_{1-3}^{P-C}$ . При разделении потока, проходящего на участке 3–0, на два противоточка (участки 0–1 и 0–2) коэффициент местного сопротивления противоточно-разделения потока  $\xi_{3-2}^{P-C}$ .

Целью исследования было установить зависимости коэффициентов местных сопротивлений тройникового узла от соотношения характеристик сопротивлений параллельных ветвей узла, т.е. раскрыть зависимость вида (1). Поскольку в ходе исследований было обнаружено, что при зависимости (1) график получается очень растянутым, было решено эти зависимости заменить другими – вида  $\xi = f(\mathcal{E}_1/\mathcal{E}_2)$ , где  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$  – эквивалентные отверстия параллельных ветвей тройникового узла.

При конструировании моделей обращалось внимание на правильный выбор начального, рабочего и выходного участка модели. С этой целью длина экспериментального (рабочего) участка модели выбиралась так, чтобы этот участок включал полностью деформированную местным сопротивлением тройника часть потока. Поэтому одна замерная точка устанавливалась до местного сопротивления (по ходу потока на расстоянии не менее  $5d$ , а дру-

гая – за местным сопротивлением на расстоянии не менее  $25d$ , где  $d$  – эквивалентный диаметр трубопровода. Начальный участок предназначен для того, чтобы изолировать местное сопротивление тройника от искажающего его величину влияния сопротивления входа в модель, а выходной участок – сопротивления выхода из модели. Длина входного участка составляла не менее  $25d$ , а выходного – не менее  $5d$ , как это рекомендуется и другими исследователями [2,3].

При исследовании коэффициентов  $\xi_{1-2}^p$  и  $\xi_{1-3}^p$  длины участков модели были следующие: входной участок ( $1^1-1$ ) – 700 мм; рабочие участки ( $1-0$ ) – 150 мм, ( $0-2$  и  $0-3$ ) – 680 мм каждый; выходной участок на прямом проходе ( $2-2'$ ) – 150 мм, на боковом ответвлении ( $3-3'$ ) – 150 мм. При определении коэффициентов  $\xi_{1-2}^c$  и  $\xi_{1-3}^c$  оба входные участка ( $2-2'$  и  $3-3'$ ) имели длину 680 мм; рабочие участки  $0-3$  и  $0-2$  имели длину 150 мм каждый, а  $0-1$  равнялся 680 мм. При исследовании на модели разветвления на противоток входной участок  $3^1-3$  составлял 700 мм; рабочие участки  $0-1$  и  $0-2$  – каждый 680 мм, а  $0-3$  равнялся 150 мм; выходные участки  $1-1^1$  и  $2-2^1$  имели длину 150 мм каждый. При исследовании модели на противоток со слиянием потоков длина каждого входного участка ( $1^1-1$  и  $2^1-2$ ) равнялась 700 мм; рабочие участки  $0-1$  и  $0-2$  имели длину 150 мм каждый, а участок  $0-3$  – 700 мм; длина выходного участка ( $3-3^1$ ) составляла 150 мм.

Потеря давления в местном сопротивлении определялась по формуле

$$P_M = P_{\text{Общ}} - P_{\text{Тр}}, \quad (2)$$

где  $P_{\text{Общ}}$  – общая потеря давления на рабочем участке модели;  $P_{\text{Тр}}$  – потеря давления на рабочем участке на трение.

Для того чтобы знать величину  $P_{\text{Тр}}$ , исследовался прямолинейный воздухопровод такого же поперечного сечения и из такого же материала, как и тройниковые модели. Исследование проводилось на предмет установления зависимости вида  $P_{\text{Тр}} = f(p_{\text{СК}})$ , где  $p_{\text{СК}}$  – скоростное давление в воздуховоде. По полученным в ходе этого эксперимента данным была построена кривая зависимости  $P_{\text{Тр}} = f(p_{\text{СК}})$ , которая затем использовалась для определения  $P_{\text{Тр}}$  на участках тройникового соединения в зависимости от  $p_{\text{СК}}$  на этих участках.

Значения коэффициентов местного сопротивления для различных соотношений  $\Delta_1/\Delta_2$  определялись по формуле

$$\xi = p_M/p_{\text{СК}}, \quad (3)$$

где  $p_{\text{СК}}$  – скоростное давление на участке общего потока.

Величина эквивалентных отверстий параллельных ветвей тройникового узла  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  изменялась с помощью шиберов, установленных на концах этих ветвей, а сами значения  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  определялись по формуле

$$\Delta_i = 0,99G_i / \sqrt{p_i}, \quad (4)$$

где  $G_i$  – расход воздуха в  $i$ -й ветви, кг/с;  $p_i$  – потеря давления  $i$ -й ветви без учета потерь в тройнике, Па.

Из формулы (4) можно определить потерю давления  $p_i$  в  $i$ -й ветви (без местной потери давления в тройнике), Па:

$$p_i = 0,98 G_i^2 / \vartheta_1^2. \quad (5)$$

Эту же потерю давления можно определить с помощью характеристики сопротивления  $r_i$  ветви:

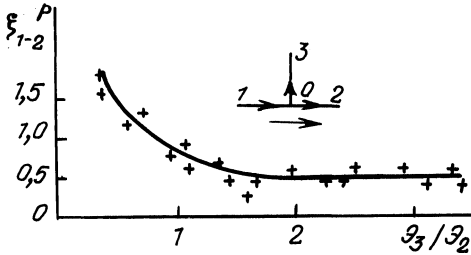


Рис. 2. Зависимость  $\xi_{1-2}^p = f_1(\vartheta_3/\vartheta_2)$ .

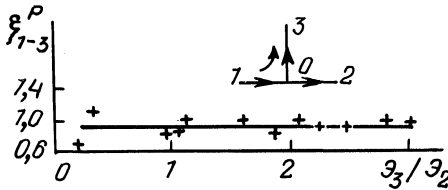


Рис. 3. Зависимость  $\xi_{1-3}^p = f_2(\vartheta_3/\vartheta_2)$ .

$$p_i = 9,81 r_i G_i^2 / \rho^2 = 6,82 r_i G_i^2, \quad (6)$$

или же с помощью геометрических и гидравлических параметров ветви

$$p_i = 9,81 \left( \frac{\lambda}{d} - 1 + \Sigma \xi \right) \frac{v_1^2}{2} \rho, \quad (7)$$

или, если выразить скорость через весовой расход:

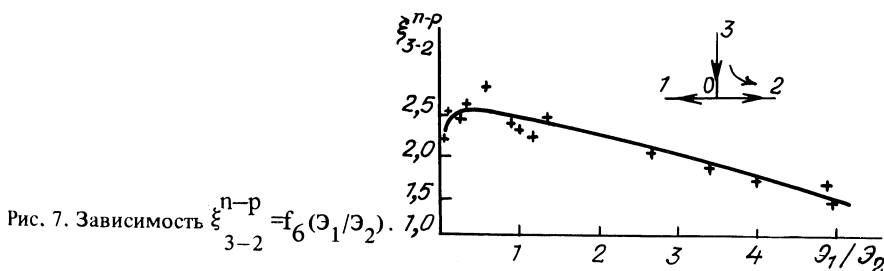
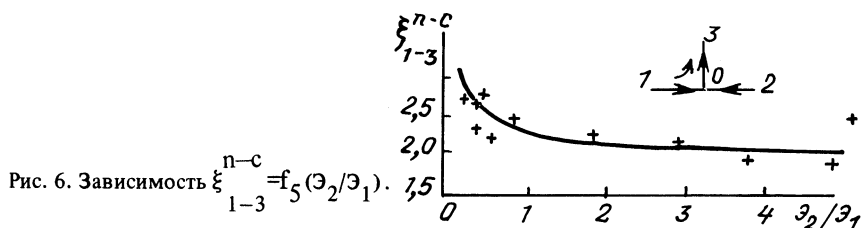
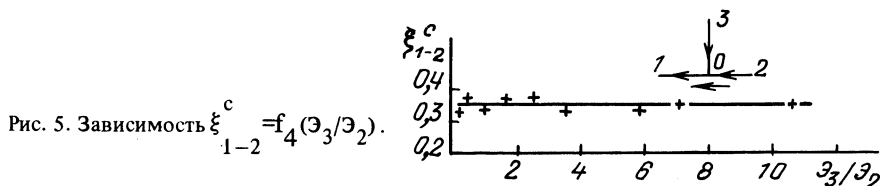
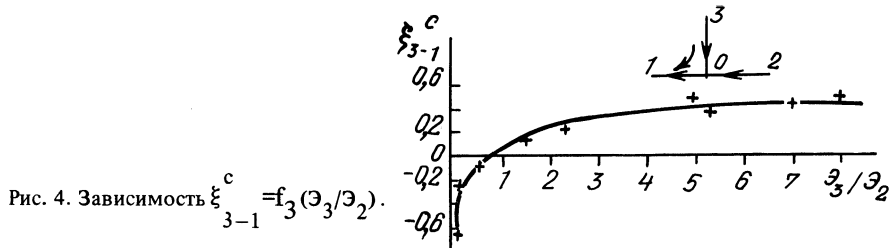
$$p_i = \frac{6,622}{d^4} \left( \frac{\lambda}{d} - 1 + \Sigma \xi \right) G_i^2, \quad (8)$$

где  $\Sigma \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений  $i$ -й ветви за пределами тройника.

На основании формул (5), (6) и (8) можно установить связь между эквивалентным отверстием и другими параметрами сопротивления ветви:

$$r = \frac{0,144}{\vartheta^2} = \frac{0,973}{d^4} \left( \frac{\lambda}{d} - 1 + \Sigma \xi \right). \quad (9)$$

Раскрытие зависимости  $\xi = f(\alpha_1/\alpha_2)$  в результате исследований представлено графиками на рисунках 2, 3, 4, 5, 6 и 7. Полученные зависимости позволяют более эффективно использовать метод эквивалентных отверстий или метод характеристик сопротивлений для гидравлического расчета сетей.



## Л и т е р а т у р а

1. Бевз Т.Д., Луговская Е.С. Параметры, определяющие местные сопротивления на разветвлениях потока. — В сб.: Инженерные методы решения практических задач в санитарной технике. Волгоград, 1977, вып. IX, с. 122. 2. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. — М., 1975. — 327 с. 3. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.—Л., 1960. — 464 с.