

Р. А. Усманов, А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин

**РАСЧЕТ ВОЗДУХОПРОВОДОВ РАВНОМЕРНОЙ РАЗДАЧИ И ВСАСЫВАНИЯ  
С ВНУТРЕННИМИ ЭКРАНАМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ ПОД УГЛОМ**

*Ключевые слова: воздухопровод, внутренний экран, коэффициент расхода, экономия электроэнергии.*

*Экономия электроэнергии, связанная с работой вентиляционных систем работающих как на удаление, так и на подачу воздуха, является актуальной задачей. В статье приводится обоснование методики расчета воздухопроводов равномерного всасывания и раздачи с внутренними экранами, установленными под углом к плоскости отверстия. Такие воздухопроводы позволяют снизить энергетические потери в воздухопроводах. Полученные зависимости подтверждены экспериментальными данными.*

*Keywords: air duct, the inner screen, flow coefficient, energy saving.*

*Energy savings associated with the operation of ventilation systems working as removal, and the air supply is an urgent task. The article outlines the rationale uniform methodology for calculating air ducts suction and discharge with internal screens, set at an angle to the plane of the opening. These air ducts can reduce energy loss in air ducts. The dependences obtained are confirmed by experimental data.*

Экономия электроэнергии, затрачиваемой на работу систем вентиляции, стала весьма актуальной задачей.

В этой связи нашло достаточно широкое применение во всасывающих и раздающих воздухопроводах пластин, установленных под углом к плоскости отверстия. Установка пластин позволяет значительно снизить энергетические потери в воздухопроводе. Однако до настоящего времени отсутствует достаточно простая и точная методика расчета таких воздухопроводов, позволяющая также исключить дальнейшую наладку после монтажа.

В статье приводятся обоснования методики расчета равномерно-всасывающих и раздающих воздухопроводов с экранами, установленными под углом к плоскости отверстия.

Рассмотрим воздухопровод с внутренними экранами (рис.1). Допустим, что воздух входит или выходит непрерывно через щель или ряд близко расположенных отверстий.

Основная задача – рассчитать воздухопровод таким образом, чтобы удельные расходы воздуха, забираемые или выходящие через отверстия, были бы равны, т.е., чтобы

$$g_0 = g_1 = g_2 = g_3 = \dots = g_x = \dots = g_k. \quad (1)$$

Предположим, что уравнение изменения давления по длине воздухопровода задано функцией  $P_x = f\left(\frac{x}{L}\right)$

$$P_x = f\left(\frac{x}{L}\right)$$

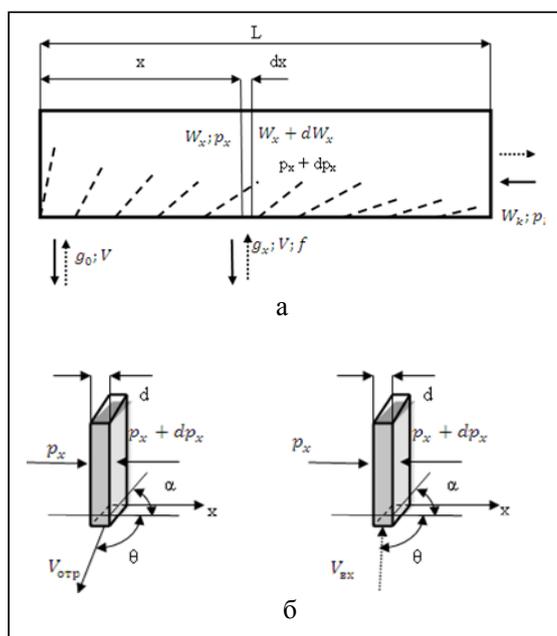
Примем условия, что ширина щели или площадь отверстий, через которые проходит воздух, постоянна.

$$f_0 = f_1 = f_2 = f_3 = \dots = f_x = \dots = f_k. \quad (2)$$

Очевидно, что

$$V_0 = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = v_x = \dots = V_k. \quad (3)$$

Скорость прохода воздуха через любое отверстие можно определить по величине статического давления в зоне отверстия [1]



**Рис. 1 - Гипотетическая модель воздухопровода с внутренними экранами: а) расчетная схема для воздухораспределителя, б) расчетная схема для воздухоотборника**

$$V_x = \sqrt{\frac{2p_x}{(x' + \zeta_x)\rho}}. \quad (4)$$

Опираясь на предположение о равенстве расходов в отверстиях, можно записать:

$$\sqrt{\frac{2p_0}{(x'_0 + \zeta_0)\rho}} = \sqrt{\frac{2p_x}{(x'_x + \zeta_x)\rho}}. \quad (5)$$

Но

$$\frac{1}{\sqrt{x'_0 + \zeta_0}} = \mu_0, \quad \frac{1}{\sqrt{x'_x + \zeta_x}} = \mu_x.$$

Подставляя значения коэффициентов расхода в уравнение (5) и преобразуя его соответствующим образом, получим:

$$\mu_x = \mu_0 \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_x}}. \quad (6)$$

Уравнение (6) дает возможность определить необходимый коэффициент расхода для любого отверстия, если известен закон изменения давления по длине воздухопровода, а также зависимость коэффициента расхода для отверстия от угла наклона экрана [2].

Для упрощения математического описания аэродинамических процессов, проходящих в равномерно-всасывающем или равномерно-раздающем воздухопроводах с экранами, установленными под углом, рассмотрим некоторую гипотетическую модель (рис. 1).

### Вывод уравнения изменения статического давления по длине равномерно-всасывающего воздухоборника с наклонными экранами

Пусть воздух поступает непрерывно через щель постоянной ширины и присоединяется к основному потоку воздуха внутри воздухоборника под углом  $\alpha_1$ .

Угол  $\alpha_1$  непрерывно изменяется (направление движения воздуха показано пунктирной линией, рис. 1.б.).

Установим начало координат XYZ у заглушенного торца воздухопровода.

Примем, что давление в плоскости перпендикулярной оси X постоянно и распределение давления подчиняется гидростатическому закону.

Выделим два контрольных сечения I и II соответственно на расстоянии x и dx. Подсчитаем для секундного расхода изменения проекции количества движения и приравняем их к сумме проекций импульсов внешних сил для выделенного объема.

$$\begin{aligned} 2\beta\rho FW_x dW_x + \rho\beta'_x V_{пр,x} V \cos\theta df = \\ = Fdp_x - F \frac{\lambda}{d} \frac{W_x^2}{2} \rho dx. \end{aligned} \quad (7)$$

После преобразований уравнение (7) примет вид:

$$\begin{aligned} dp_x = 2\beta_x \rho W_x dW_x - \rho\beta'_x \frac{V}{F} V_{пр,x} \cos\alpha df + \\ + \frac{\lambda}{d} \frac{W_x^2}{2} \rho dx. \end{aligned} \quad (8)$$

Проинтегрируем уравнение (8) от 0 до  $x_1$ .  
Имеем

$$\int_0^{x_1} dp_x = \int_0^{x_1} 2\beta_x \rho W_x dW_x - \int_0^{x_1} \rho\beta'_x \frac{V}{F} V_{пр,x} \cos\alpha df +$$

$$+ \int_0^{x_1} \frac{\lambda}{d} \frac{W_x^2}{2} \rho dx. \quad (9)$$

Допуская здесь  $\lambda = \text{const}$ ,  $\beta_x \approx \beta'_x \approx 1,0$  и  $W_x = V_{пр}$ , что соответствует оптимальной работе воздухоприемника, выражая одновременно  $W_x = W_k \left(\frac{x}{L}\right)$ , а  $df = \alpha dx$ , уравнение (9) примет после преобразования вид

$$\begin{aligned} p_x = p_0 + \rho W_k^2 \left(\frac{x_1}{L}\right)^2 + \\ \frac{\lambda}{d} \frac{W_k^2}{6} \rho \frac{x^3}{L^3} - \frac{W_k^2}{L^2 F} \rho \int_0^{x_1} \cos\alpha x dx. \end{aligned} \quad (10)$$

### Вывод уравнения изменения статического давления по длине воздухораспределителя с наклонными экранами

Гипотетическая модель воздухораспределителя дана на рис. 1а (направление движения воздуха показано сплошной линией).

Пусть воздух выходит непрерывно через щель постоянной ширины. Отделение выходящих воздушных потоков от основного происходит под изменяющимся углом  $\alpha$ .

Принимая аналогичные допущения, что и для воздухоприемника, можем записать уравнения количества движения для выделенного между сечениями объема воздуха.

Получим

$$\begin{aligned} 2\beta\rho FW_x dW_x - \beta'_x \rho V X V_{отр} \cos\alpha df = \\ = Fdp_x + F \frac{\lambda}{d} \frac{W_x^2}{2} \rho dx. \end{aligned} \quad (11)$$

После преобразований уравнение (11) примет вид

$$\begin{aligned} dp_x = 2\beta\rho W_x dW_x - \beta'_x \rho V X V_{отр} \frac{1}{F} \cos\alpha df + \\ + \frac{\lambda}{d} \frac{W_x^2}{2} \rho dx. \end{aligned} \quad (12)$$

Проинтегрируем уравнение (12) от 0 до  $x_1$ , допуская также, что  $\lambda = \text{const}$ ,  $\beta_x \approx \beta'_x \approx 1,0$ , принимая  $W_x = V_{отр}$  и выражая  $W_x = W_k \left(\frac{x}{L}\right)^2$ .

После интегрирования имеем:

$$\begin{aligned} p_x = p_0 + \rho W_k^2 \left(\frac{x_1}{L}\right)^2 + \rho \frac{\lambda}{d} \frac{W_k^2}{2} \frac{x_1^2}{L^2} - \\ - \rho \frac{W_k^2}{L^2} \int_0^{x_1} \cos\alpha x dx. \end{aligned} \quad (13)$$

Сравнивая уравнения (10) и (13) можно сделать вывод об их идентичности.

Зная зависимость изменения коэффициента расхода от угла наклона экрана для автомоделной области течения [2]:

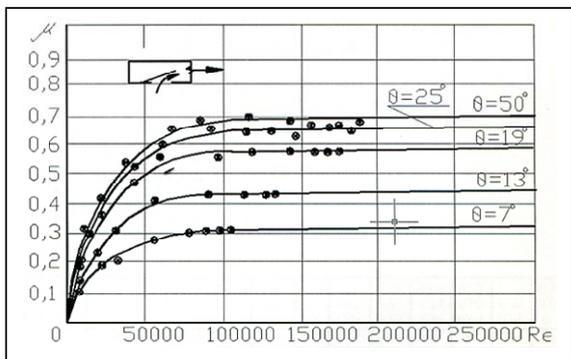
$$\mu_i = \mu_0(1 - e^{-n\alpha}). \quad (14)$$

Подставим ее в уравнение в (6) и, решая полученное выражение относительно  $\alpha$ , получим

$$\alpha_{x_i} = \frac{\left[ 1 - \left( \frac{p_0}{p_{x_i}} \right)^{0.5} \right]}{-n}. \quad (15)$$

Совместное решение системы уравнений (10) или (13) и (15) позволяет получить значения углов наклона экранов по длине воздухопровода с внутренними экранами, установленными под углом.

На рис. 2 представлена зависимость коэф-

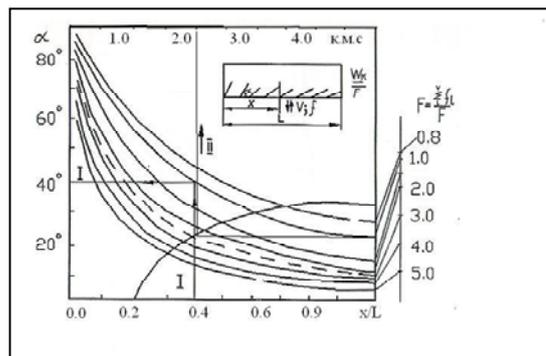


**Рис. 2 - Зависимость коэффициента расхода квадратного отверстия с наклонным экраном от численных значений критерия Re**

фициента расхода квадратного отверстия с наклонным экраном от численных значений критерия Re.

При совместном решении уравнений (14) (15), для конкретных параметров воздухопроводов, была получена расчетная номограмма (рис. 3).

С целью проверки полученных зависимостей была проведена серия экспериментов на воздухопроводе с отверстиями, оборудованными наклон-



**Рис. 3 - Номограмма для расчета воздухопроводов с наклонными внутренними экранами над квадратными отверстиями для автомоделной области течения**

ными пластинами. Результаты экспериментов подтвердили правильность сделанных допущений и приемлемость использования на практике полученных зависимостей.

#### Литература

1. Авт. свид. СССР 1.105.868 (1984).
2. А.П. Давыдов, В сб. науч. тр. ЛИСИ (110), Ленинград, 1975. С. 135-139.
3. А.П. Давыдов, М.А. Валиуллин, *Известия КГАСУ*, 2 (16), 142-146 (2011).
4. А.П. Давыдов, А.Е. Ланцов, *Известия КГАСУ*, 2 (16), 147-151 (2011).
5. А.П. Давыдов, М.А. Валиуллин, *Известия КГАСУ*, 3 (17), 85-89 (2011).
6. Р.Р. Галямов, В.В. Кузьмин, А.В. Чупаев, А.А. Гайнуллина, *Вестн. Казан. гос. технол. ун-т*, 16, 1, 76-78 (2013).
7. С.В. Анаников, *Вестн. Казан. гос. технол. ун-т*, 16, 2, 52-55 (2013).

© Р. А. Усманов – ст. преп. каф. машиноведения КНИТУ, lashkov\_dm@kstu.ru, А. П. Давыдов – к.т.н., проф. КГАСУ, М. А. Валиуллин – к.т.н., проф. КГАСУ.

© R. A. Usmanov – senior lecturer Department of Mechanical Engineering, Kazan National Research Technological University, lashkov\_dm@kstu.ru, A. P. Davydov – c.t.s., professor Kazan State University of Architecture and Civil Engineering (KSUACE), M. A. Valiullin – c.t.s., professor KSUACE.