УДК 697.94

В.К. Овчаров, *канд.техн.наук*
(Волгоград.инж.–строит.ин–т)
Е.С. Луговская, *канд.техн.наук*
(НПИ)

О ДВИЖЕНИИ ВОЗДУХА В ПОРИСТОЙ ТРУБЕ С ПОПУТНОЙ УТЕЧКОЙ

Рассмотрим одномерную задачу о движении осесимметричного потока воздуха в пористой цилиндрической трубе с попутной утечкой (рис. 1). При движении нагнетаемый воздух, пронизывая пористую стенку трубы, поступает в окружающее пространство. Положим, что составляющая скорости, направленная перпендикулярно к стене трубы, пренебрежительно мала по сравнению с осевой скоростью.

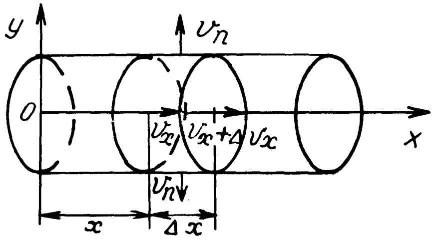

Рис. 1. Схема к выводу уравнений движения воздуха в пористой трубе.

Обозначим: v_o – начальная средняя скорость потока; v_x – средняя скорость в сечении на расстоянии x; $v_п$ – составляющая скорости, направленная перпендикулярно к стенке трубы; p_x – удельная энергия потока в сечении на расстоянии x; $p_п$ – удельная энергия потока, перпендикулярного к стенке трубы; d – диаметр трубы; l – длина трубы.

Выделим элементарный объем $\frac{\pi d^2}{4}\Delta x$, ограниченный стенками трубы и сечениями на расстояниях x и x+Δx.

Расход воздуха через сечение на расстоянии x

$$L_1 = \frac{\pi d^2}{4} v_x. \tag{1}$$

Расход воздуха через сечение на расстоянии x+Δx

$$L_2 = \frac{\pi d^2}{4}(v_x + \Delta v_x). \tag{2}$$

Расход воздуха через боковую поверхность трубы на длине ее Δx

$$L_3 = \pi d \Delta x v_п b, \tag{3}$$

где b – коэффициент газопроницаемости пористой стенки.

Для элементарного выделенного объема уравнение материального баланса будет

$$L_1 = L_2 + L_3$$

или с учетом выражений (1), (2) и (3) получаем

$$\frac{\pi d^2}{4} v_x = \frac{\pi d^2}{4}(v_x + \Delta v_x) + \pi d \Delta x v_п b.$$

Отсюда

$$\frac{\pi d^2}{4} \Delta v_x + \pi d \Delta x v_п b = 0. \qquad (4)$$

Разделим выражение (4) на приращение времени Δt и перейдем к пределам

$$\frac{\pi d^2}{4} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} + \pi d v_п b \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = 0.$$

Тогда

$$\frac{\pi d^2}{4} \frac{dv_x}{dt} + \pi d v_п b \frac{dx}{dt} = 0. \qquad (5)$$

Допустим, что

$$v_п = K v_x, \qquad (6)$$

где K – коэффициент пропорциональности ($v_п$ мало).

Тогда уравнение (5) примет вид

$$\frac{dv_x}{dt} + b_1 v_x^2 = 0,$$

где

$$b_1 = \frac{4Kb}{d}. \qquad (7)$$

Отсюда имеем

$$\frac{dv_x}{v_x^2} = -b_1 dt.$$

После интегрирования получим

$$v_x = \frac{1}{b_1 t + C}.$$

Значение постоянной C определим из начальных условий: при $t=0$ соответственно $v_x = v_o$.

Тогда

$$C = \frac{1}{V_o}.$$

Поэтому

$$v_x = \frac{v_o}{1 + b_1 v_o t}. \qquad (8)$$

На основании уравнения (4) установим зависимость изменения средней скорости вдоль оси x пористой трубы.

Разделим уравнение (4) на Δx, перейдем к пределу

$$\frac{\pi d^2}{4} \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta x} + \pi d v_п b = 0.$$

Откуда

$$\frac{\pi d^2}{4} \frac{dv_x}{dx} + \pi d v_п b = 0. \qquad (9)$$

Разделим уравнение (9) на $\frac{\pi d^2}{4}$ и обозначим $a=\frac{4b}{d}$. Тогда будем иметь

$$\frac{dv_x}{dx} + a v_п = 0. \qquad (10)$$

Учитывая (6) и (7), получим

$$\frac{dv_x}{v_x} = -b_1 dx.$$

Интегрируя последнее уравнение, находим

$$v_x = C_1 e^{-b_1 x}$$

Постоянную C_1 определяем из начальных условий: при $x=0$ соответственно $v_x=v_o$.

Следовательно,

$$C_1 = v_o$$

и

$$v_x=v_o e^{-b_1 x} \quad . \qquad (11)$$

Далее определим падение давления по длине пористой трубы диаметром d.

Из [1] известно, что распределение скорости в цилиндрической трубе определяется по формуле

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4\mu l} (R^2 - r^2),$$

где p_1 и p_2 – давление в двух различных точках на расстоянии l вдоль оси трубы; μ – коэффициент вязкости воздуха; R – радиус трубы; r – расстояние от оси трубы до произвольной точки в данном ее сечении.

Наибольшая скорость в трубе равна

$$v_{max} = \frac{p_1 - p_2}{16 \mu l} d^2.$$

Количество воздуха, протекающее в единицу времени через поперечное сечение трубы,

$$L=\int_0^R 2\pi r v dr = \frac{2\pi(p_1-p_2)}{4\mu l}\int_0^R r(R^2-r^2)\,dr=\frac{\pi(p_1-p_2)}{2\mu l}\frac{R^4}{4}. \qquad (12)$$

Разделив выражение (12) на πR^2, найдем среднюю скорость движения воздуха

$$v_{cp}=\frac{L}{\pi R^2}=\frac{R^2(p_1-p_2)}{8\mu l}. \qquad (13)$$

Для ламинарного режима движения

$$v_{cp}=\frac{1}{2}v_{max}. \qquad (14)$$

Из уравнения (13) с учетом (14) найдем падение давления p_1-p_2 вдоль оси x

$$p_1-p_2=\frac{16\mu l v_{max}}{d^2}. \qquad (15)$$

Энергия потока в сечении на расстоянии x

$$p_1=\frac{\pi d^2}{4}v_x p_x. \qquad (16)$$

Энергия потока в сечении на расстоянии x+Δx

$$p_2=\frac{\pi d^2}{4}(v_x+\Delta v_x)(p_x+\Delta p_x).$$

Энергия потока, перпендикулярного к стенке трубы, на длине Δx

$$p_3=b\,\pi d v_п\,p_п\,\Delta x.$$

Для элементарного объема уравнение баланса энергии будет

$$p_1=p_2+p_3$$

или

$$\frac{\pi d^2}{4}v_x p_x=\frac{\pi d^2}{4}(v_x+\Delta v_x)(p_x+\Delta p_x)+b\pi d v_п p_п\Delta x.$$

После некоторых преобразований имеем

$$\Delta v_x p_x+v_x\Delta p_x+\Delta v_x\Delta p_x+a v_п\,p_п\,\Delta x=0.$$

Разделим это уравнение на Δx и перейдем к пределам

$$p_x\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta v_x}{\Delta x}+v_x\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta p_x}{\Delta x}+\Delta v_x\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta p_x}{\Delta x}+a v_п p_п=0.$$

Имея в виду, что при $\Delta x\to 0$ $\lim\Delta v_x=0$ в силу непрерывности функции $v_x=f(x)$, можно записать

$$p_x\frac{dv_x}{dx}+v_x\frac{dp_x}{dx}+a v_п p_п=0$$

или

$$\frac{d(v_x p_x)}{dx} + a v_п p_п = 0.$$

Присоединяя уравнение (10), получим систему

$$\begin{cases} \dfrac{dv_x}{dx} + a v_п = 0; \\ \dfrac{d(v_x p_x)}{dx} + a v_п p_п = 0. \end{cases}$$

Подставим из первого уравнения $a v_п = -\dfrac{dv_x}{dx}$ во второе, тогда получим

$$\frac{d(v_x p_x)}{dx} = p_п \frac{dv_x}{dx}$$

или

$$d(v_x p_x) = p_п dv_x .$$

Интегрирование дает

$$v_x p_x = p_п v_x + c. \quad (17)$$

Так как в начальный момент $v_x = v_o$; $p_x = p_o$; $p_п = 0$, то

$$c = v_o p_o .$$

С учетом полученного значения постоянной интегрирования уравнение (17) примет вид

$$v_x p_x = p_п v_x + v_o p_o .$$

Отсюда

$$p_x = p_п + \frac{v_o p_o}{v_x} . \quad (18)$$

Тогда, согласно (16), энергия потока в сечении на расстоянии x будет

$$p_1 = \frac{\pi d^2}{4} v_x \left(p_п + \frac{v_o p_o}{v_x}\right),$$

или

$$p_1 = \frac{\pi d^2}{4} (v_x p_п + v_o p_o).$$

Подставим сюда значение v_x из выражения (8), тогда

$$p_1 = \frac{\pi d^2 v_o}{4} \left(\frac{p_п}{1 + b_1 v_o t} + p_o\right). \quad (19)$$

Затем, используя уравнения (8) и (11), установим зависимости p_1 от расстояния x

$$p_1 = \frac{\pi d^2 v_o}{4} (p_o + p_п e^{-b_1 x}). \quad (20)$$

Полученные уравнения (11), (12) и (20) позволяют вести расчет пористых фильтров цилиндрической формы.

Литература

1. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. – М., 1963, ч. II, с. 727. 2. Талиев В.А. Аэродинамика вентиляции. – М., 1963, с. 340.

УДК 697.34

Н.К. Зайцева, Г.И. Базыленко, *канд–ты техн.наук*
(БПИ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЙОНА НА РАСХОД СЕТЕВОЙ ВОДЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ГРАФИКАХ

Структура теплового потребления претерпевает значительные изменения в связи с увеличением доли нагрузки горячего водоснабжения, резко отличающейся по суточному и годовому графикам расхода от отопительно-вентиляционных нагрузок. Для ориентировочных расчетов тепловых нагрузок вновь застраиваемых районов используются укрупненные показатели [1].

В данном исследовании в расчетах использовались удельные расходы тепла и сетевой воды, приходящейся на 1 жителя в зависимости от нормы жилой площади f и нормы водопотребления a на горячее водоснабжение для климатической полосы средней Европейской части СССР ($t_{н.о} = -25^{o}C$). Доля тепловой нагрузки на горячее водоснабжение от расчетной отопительной нагрузки представляет собой тепловую характеристику района и определяется [2]

$$a = \frac{Q_{г.в}^{ср}}{Q_о}, \qquad a' = \frac{Q_{г.в}^{max}}{Q_о}.$$

Оптимальное значение a выбирается на основе технико-экономического расчета с учетом реальной структуры тепловой нагрузки потребителя [3]. Исходя из расчетов построен график зависимости тепловой характеристики района a от нормы жилой площади f и нормы водопотребления a, приходящейся на 1 человека (рис. 1).

Ввиду неравномерности тепловой нагрузки на горячее водоснабжение исследовалось влияние коэффициента часовой неравномерности теплопотребления $\beta = \frac{Q_{г.в}^{max}}{Q_{г.в}^{ср}}$ на величину тепловой характеристики района a'.

На рис . 2 представлена зависимость β от a' для различных норм жилой площади f и нормы водопотребления a, приходящиеся на 1 человека.