



УДК 697.992.564

А.П. Давыдов, Ю.И. Новиков

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАВНОМЕРНО ВСАСЫВАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ

Для улавливания вредных веществ существуют несколько конструкций всасывающих панелей, наиболее полно отвечающих требованиям по борьбе с выделяющимися вредными веществами. Широкое распространение получили наклонные и вертикальные панели всасывания [1].

К недостаткам работы таких всасывающих панелей следует отнести неравномерность всасывания воздуха по их площади. Неравномерность приводит к увеличению объема удаляемого воздуха [2], [3], способствует проходу опасных веществ через зону дыхания работающего человека и загрязнению окружающей среды.

В некоторых случаях используются нижние отсосы через решетчатую поверхность. Однако удельное количество отсасываемого воздуха для этого случая в 2–2,5 раза больше, чем в вышерассмотренных случаях. Это объясняется тем, что необходимо значительно изменить направление восходящего потока вредных веществ, и тем, что не обеспечивается достаточная равномерность распределения удельного расхода воздуха на плоскости всасывающей панели.

На рис. 1 показаны спектры скоростей всасывания в плоскости, перпендикулярной к поверхности стола и проходящей через середину всасывающей панели. Спектры сняты при равных объемах удаляемого воздуха.

Из приведенных данных можно заключить, что всасывающие панели являются наиболее эффективными устройствами для улавливания вредных выделений с больших открытых поверхностей. Эффективность сформированного всасывающего факела во многом зависит от равномерного или заранее заданного распределения расхода воздуха через поверхность всасывания.

В известных литературных источниках отсутствует методика расчета, позволяющая рассчитать равномерность или заранее заданную неравномерность расхода воздуха по поверхности всасывающей панели.

Равномерно всасывающая панель постоянного поперечного сечения с отбором воздуха по торцевой поверхности

Пусть дана всасывающая панель (рис. 1) площадью поперечного сечения $b \times c = F$ и длиной a . Установим начало координат y заглушенного конца всасывающей панели и примем направление оси x по направлению движения основного потока. Причем, воздух поступает в панель непрерывно и равномерно через плоскость

панели, заключенную между осями xoy . Пусть средняя скорость в выходном сечении панели будет ω_k , а в любом сечении - ω_x . Скорость входящего потока воздуха обозначим V , а площадь, через которую входит воздух в панель, - f .

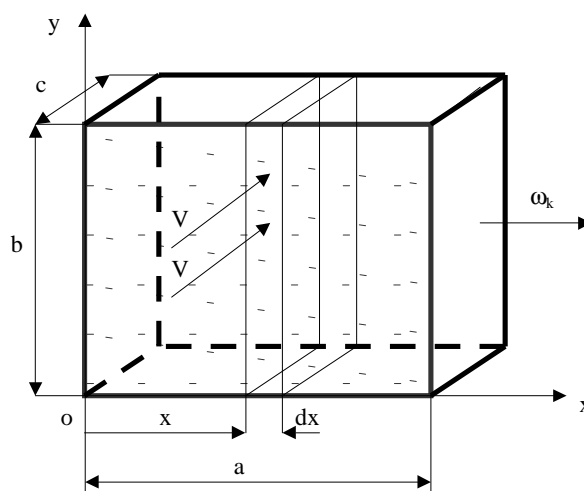


Рис.1. Расчетная схема равномерно всасывающей панели постоянного поперечного сечения с отбором воздуха по торцевой поверхности

Выделим два контрольных сечения 1 и 2 на расстоянии x и $x+dx$, соответственно, от начала координат.

Подсчитаем изменение проекции количества движения для секундного расхода воздуха и приравняем к сумме проекций импульсов внешних сил, т. е.

$$\frac{d(m\bar{\omega}_x)}{dt} = X. \quad (1)$$

Обозначая проекцию количества движения на ось x в сечении 1 через J_1 и в сечении 2 через J_2 , проекцию количества движения, вносимого входящим потоком, через di_x , силы давления через P_x и силы гидравлического сопротивления через R_x , для выделенного объема получим:

$$J_2 - J_1 \pm di_x = -(P_x + R_x)dtF. \quad (2)$$

Допуская постоянство давления в плоскостях, перпендикулярных оси X , рассмотрим подробно составляющие уравнения (далее индекс x опускается).

$$J_1 = \int_F \rho \omega^2 dF \cdot dt = \rho \beta \omega^2 F \cdot dt; \quad (3)$$



$$J_2 = \int_F \rho(\omega + d\omega)(\omega + d\omega)dF \cdot dt =$$

$$= (\rho\beta\omega^2 F + 2\rho\beta\omega Fd\omega)dt; \quad (4)$$

$$di = \rho V \cdot V \cdot \text{Cos}\theta df \cdot dt = \rho V^2 \text{Cos}\theta df \cdot dt, \quad (5)$$

где θ - угол присоединения входящего потока к транзитному потоку воздуха в панели; β - коэффициент распределения количества движения в соответствующих сечениях.

Исходя из (2-5), запишем:

$$(J_2 - J_1 \pm di)dt = (\rho\beta\omega^2 F + 2\rho\beta\omega Fd\omega -$$

$$- \rho\beta\omega^2 F \pm \rho V^2 \text{Cos}\theta df) \cdot dt. \quad (6)$$

Импульс сил трения можно определить из выражения:

$$dR = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \frac{\omega^2}{2} F dx \cdot dt. \quad (7)$$

Импульс сил давления в плоскости 1 можно записать как $F \cdot P \cdot dt$, а в плоскости 2 - как $(P+dP)F \cdot dt$.

Импульс сил давления, действующих на выделенный объем, будет выражаться как

$$[-(P + dP)F + PF]dt = -dPF \cdot dt. \quad (8)$$

Подставим (6), (7) и (8) в уравнение (2):

$$(2\rho\beta\omega \cdot d\omega \pm \rho V^2 \text{Cos}\theta df)dtF =$$

$$= \left(\frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega^2}{2} dx - dP\right)dtF, \quad (9)$$

сокращая подобные члены и преобразуя, получим

$$dP = -2\rho\beta \omega \cdot d\omega \pm \rho \frac{V^2}{F} \text{Cos}\theta df - \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega^2}{2} dx. \quad (10)$$

Здесь представляется целесообразным выразить скорость ω_x через конечную скорость ω_k в торце панели. Если принять, что расход воздуха присоединяется равномерно по всей площади оух, то нарастание скорости воздуха внутри панели можно выразить как

$$\omega_x = \omega_k \frac{x}{a}. \quad (11)$$

После подстановки (11) в (10) получим:

$$dP = -2\rho\beta\omega_k^2 \frac{1}{a^2} x dx - \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{2} \frac{1}{a} x^2 dx \pm$$

$$\pm \frac{1}{F} \rho V^2 \text{Cos}\theta df. \quad (12)$$

Принимая условие, что входящий поток

присоединяется к основному под углом, близким к 90° и $\lambda = \text{const}$, проинтегрируем уравнение (12) в пределах от 0 до X_i :

$$\int_0^{X_i} dP = -2\rho\beta \frac{\omega_k^2}{a^2} \int_0^{X_i} x dx - \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{2a^2} \int_0^{X_i} x^2 dx. \quad (13)$$

После интегрирования будем иметь

$$P_x = P_0 + \rho\beta_x \omega_k^2 \left(\frac{x_i}{a}\right)^2 + \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{6} \frac{x_i^3}{a^2}, \quad (14)$$

$$\text{где } P_0 = \frac{V^2}{\mu_0^2} \rho.$$

Зная закономерность изменения давления по пути движения воздуха внутри всасывающей панели, суммарную площадь всасывающих щелей или отверстий можно определить из выражения:

$$h_x^1 = \frac{L}{a\mu_x \sqrt{\rho \left[P_0 + \rho\beta_x \omega_k^2 \left(\frac{x_i}{a}\right)^2 + \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{6} \frac{x_i^3}{a^2} \right]}}, \quad (15)$$

где L - расход воздуха $\text{м}^3/\text{с}$; μ_x - коэффициент расхода,

$$\text{а } P_0 = \frac{V_0^2}{2\mu^2} \rho; h_x^1 - \text{суммарная площадь всасывающих}$$

щелей в соответствующем сечении.

Следует отметить, что при определении суммарной высоты всасывающей щели расчет начинают со значений $x=0$, причем необходимо стремиться к условию $h_0 \approx b$.

Принимаем число всасывающих щелей равным числу n и определяем их геометрические размеры

$$h_x = \frac{h_x^1}{n}, \quad (16)$$

где h_x — высота щелей в соответствующем сечении.

Пример:

Рассчитать размеры щелей всасывающей панели размерами $0.5 \times 0.5 \times 0.22$ м. Объем удаляемого воздуха - $1.1 \text{ м}^3/\text{с}$; скорость воздуха в корне - 10 м/с ; скорость воздуха на входе в щель вначале 0.2 м/с , $\mu_0 \approx \mu_x = 0.63$.

1. Задаемся суммарной высотой всасывающей щели в начале панели:

$$h_0^1 = 0.44 \text{ м.}$$

2. Находим значение давления в начале панели:

$$P_0 = \left(\frac{L}{h_0^1 l}\right)^2 \frac{\rho}{2\mu_0^2} = \left(\frac{1.1}{0.44 \cdot 0.5}\right)^2 \frac{1.2}{2\mu_0^2} = 37.7 \approx 38 \text{ па.}$$



3. Определяем значения суммарной площади всасывающей щели по сечениям, принимая число щелей равным 5. Полученное значение сводим в таблицу.

Таблица

$\frac{x}{a}$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
h'_x	0.44	0.35	0.31	0.27	0.23	0.2
h	0.088	0.07	0.062	0.054	0.046	0.04

Панель равномерного всасывания постоянного и поперечного сечения с боковым отбором воздуха и внутренним экраном

Пусть дана всасывающая панель (рис. 2) площадью поперечного сечения $b \times c = F$ и длиной a . Установим начало координат у заглушенного конца всасывающей панели и примем направление оси x по направлению движения основного потока внутри панели. Для обеспечения равномерного распределения давления по высоте панели установим в конце панели экран переменной высоты. Примем, что жидкость поступает в панель непрерывно и равномерно через сторону панели, совпадающую с плоскостью yox . Пусть средняя скорость воздуха перед внутренним экраном будет ω_k , а в любом сечении ω_x . Скорость входящего в панель потока воздуха будет V , площадь, через которую входит воздух в панель, - f .

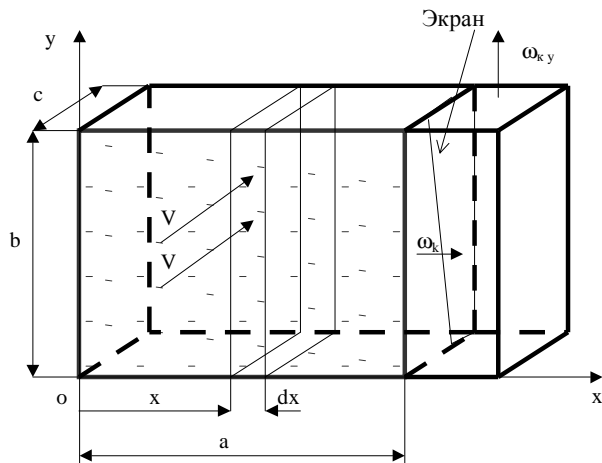


Рис.2. Расчетная схема равномерно всасывающей панели постоянного поперечного сечения с боковым отбором воздуха и внутренним экраном

Внутренний экран и стенки панели образуют пространство, течение воздуха в котором можно приравнять к течению воздуха в равномерно всасывающем воздухоприемнике постоянного

поперечного сечения с максимально возможной площадью всасывания, образованной стенкой панели и экраном.

Рассмотрим течения воздуха в указанных двух частях панели раздельно. Определим в первом распределение давления в панели до внутреннего экрана и высоту щелей, обеспечивающих равномерный забор воздуха по всей площади.

Течение воздуха во всасывающей панели до внутреннего экрана представляет собой картину, идентичную с картиной течения воздуха, разобранный в первом примере.

В этом случае, с учетом аналогичных допущений уравнения, изменение давления по данной всасывающей панели выразится:

$$P_x = P_0 + \rho \beta \omega_k^2 \frac{ax}{c} \frac{\ddot{\theta}}{\theta} + \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{6} \frac{x^3}{a^2}. \quad (17)$$

Суммарная высота всасывающих щелей панели составит:

$$h'_x = C - \frac{L}{a \mu \sqrt{\frac{V^2}{\mu^2} + 2\beta_x \omega_k \left(\frac{x^2}{a}\right) + \frac{\lambda}{d} \frac{\omega_k^2}{3} \frac{x^3}{d^2}}}. \quad (18)$$

Для части всасывающей панели, которая находится после внутреннего экрана, распределение давления описывается следующим уравнением:

$$P_y = P_{кx} + \rho \beta_y \omega_k^2 \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \frac{\lambda}{d} \rho \frac{\omega_k^2}{6} \frac{y^3}{b^2}. \quad (19)$$

Зная уравнение распределения давления в послэкранный области, представляется возможным определить высоту экрана:

$$h_{\text{экр}} = C - \frac{L}{b \mu \sqrt{\frac{\omega_k^2}{\mu^2} + 2\beta_x \omega_{ky}^2 \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \frac{\lambda}{d} \frac{\omega_{ky}^2}{3} \frac{y^3}{b^2}}}. \quad (20)$$

Литература

1. Трофимович В.В., Бондарь А.А. Местная вентиляция выбивных отливок. "ТГиВ" (Тезисы докладов) Киев: 1968.
2. Тимофеева О.С., Элтерман Е.Е., Иофилов Г.Э. Местная вытяжная вентиляция при электросварочных работах. М.: Профиздат, 1961.
3. Шедов П.П. Местный вентиляционный панельно-щелевой отсос для электросварочных работ. "Автоматическая сварка", №4, 1964.