

УДК 697.(107)697.03:5(107)

Валиуллин М.А. – кандидат технических наук, профессорE-mail: posohin@kgasu.ru**Давыдов А.П.** – кандидат технических наук, профессор**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

К расчету кольцевых, равномерно-всасывающих воздухоприемников**Аннотация**

На авиационных промышленных предприятиях широко используется технологическое оборудование, имеющее в плане круглую форму. Для улавливания вредных выделений, от указанного оборудования, используются кольцевые воздухоприемники.

Эффективность работы таких устройств зависит от равномерности всасывания по длине воздухоприемника при наименьших энергетических затратах.

Равномерность всасывания с наименьшими энергетическими затратами предлагается осуществить изменением коэффициента расхода по длине всасывающей щели (ряду отверстий) путем установки внутреннего экрана.

Ключевые слова: кольцевой воздухоприемник, равномерное всасывание, внутренний экран, коэффициент расхода.

Во многих отраслях промышленности применяется технологическое оборудование, имеющее в плане круглую форму, такие как: шахтные печи, индукционные печи, различные ванны в гальванических цехах и т.п., с поверхности которых происходит поступление потоков вредных веществ.

Для улавливания вредных выделений от указанного оборудования применяются кольцевые отсосы, представляющие собой замкнутые воздухоприемники, расположенные по периметру технологического оборудования или незамкнутые воздухоприемники с различными углами охвата оборудования.

Эффективное улавливание вредных веществ, поступающих с поверхности ванн и печей в рабочую зону помещений, можно осуществить, имея кольцевое воздухоприемное устройство, обеспечивающее не только заданный объем удаляемого воздуха, но и равномерное по длине всасывающей щели (ряду отверстий) удаление воздуха.

Равномерность всасывания воздуха по длине щели кольцевого воздухоприемника обеспечивалось малыми значениями относительной площади всасывания \bar{F} [1, 2, 3] (\bar{F} – отношение площади всасывающей щели f (суммарная площадь отверстий $\sum_{i=1}^n f_i$), к площади поперечного сечения воздухоприемника F), т.е. увеличением коэффициента местного сопротивления (кмс) на вход воздуха во всасывающую щель. Это приводит к увеличению общего сопротивления воздухоприемника. Стремление уменьшить общее сопротивление воздухоприемника диктует увеличение параметра \bar{F} . С другой стороны, для предотвращения прорыва вредностей в рабочую зону, при наличии неравномерности всасывания ($\bar{F} > 0,25$), увеличивают общий объем удаляемого воздуха. Это приводит к излишним энергетическим затратам на работу воздухоприемника.

Расчетная схема равномерно-всасывающего кольцевого воздухоприемника приведена на рис. 1. Обеспечить равномерность всасывания по длине воздухоприемника, при наименьших энергетических затратах на работу устройства, возможно с помощью сплошного экрана над щелью установленного со смещением.

Расчет кольцевых воздухоприемников основывается на известном уравнении (1) [4, 5], изменении статистического давления по пути движения воздуха переменной массы в кольцевых равномерно-всасывающих воздухоприемниках постоянного поперечного сечения:

$$P_q = P_0 + \sqrt{2} r b W_k^2 \frac{\alpha q}{\epsilon q_k} \frac{\ddot{o}^2}{\varnothing} + r \frac{l}{d} \frac{W_k^2}{6} \frac{p}{180} r_{cp} \frac{q^3}{q_k^2} +$$

$$+ \frac{\sqrt{2}}{4} r b \frac{p}{360} W_k^2 \frac{\alpha q}{\epsilon q_k} \frac{\ddot{o}^2}{\varnothing} \pm r b \sqrt{V_{ex}^2} \frac{q_i}{\varnothing} \text{osg} \frac{df}{F}, \quad (1)$$

где P_θ – давление воздуха по длине воздухоприемника, Па; P_0 – давление воздуха в начале воздухоприемника, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; β – коэффициент Буссенеска; W_k – конечная скорость воздуха внутри воздухоприемника; λ – коэффициент сопротивления трения, d – диаметр воздухопровода, м; θ – угол охвата источника вредностей, град; $V_{вх}$ – скорость воздуха во всасывающей щели (отверстии) м/с; r – радиус воздухоприемника, м.

Рассмотрим расчет кольцевого равномерно-всасывающего воздухоприемника с щелью постоянной высоты и внутренним экраном.

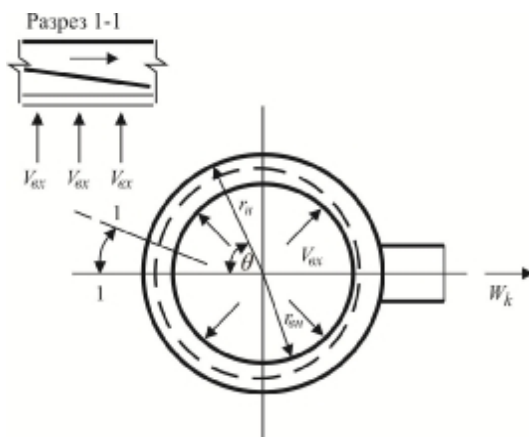


Рис. 1. Расчетная схема

Постоянный расход воздуха по длине всасывающего устройства наиболее эффективно можно осуществить изменением коэффициента расхода всасывающей щели. Изменять коэффициент расхода предлагается установкой внутреннего экрана над всасывающей щелью с эксцентриситетом, где высота установки экрана непрерывно уменьшается по мере приближения к подсоединяющему патрубку (рис. 1).

В этом случае входящий поток воздуха присоединяется к потоку воздуха внутри воздухопровода под углом близким к 90°. Таким образом, допуская, что входящий поток не вносит составляющей количества движения уравнение изменения статического давления по пути движения воздуха в воздухопроводе можно описать выражением (2):

$$P_q = P_0 + \sqrt{2} \gamma b W_k^2 \frac{\alpha \eta}{\epsilon \zeta q_k} \frac{\delta^2}{\varnothing} + \gamma \frac{l}{d} \frac{W_k^2}{6} \frac{\rho}{180} r_{cp} \frac{q^3}{q_k^2} + \frac{\sqrt{2}}{4} \gamma b \frac{\rho}{360} W_k^2 \frac{\alpha \eta}{\epsilon \zeta q_k} \frac{\delta^2}{\varnothing} \quad (2)$$

При установке внутреннего экрана над всасывающей щелью важно знать, как изменяется коэффициент расхода всасывающей щели от высоты установки экрана.

С этой целью рассмотрим течение жидкости переменной массы при входе воздуха во всасывающую щель, над которой установлен плоский экран (рис. 2).

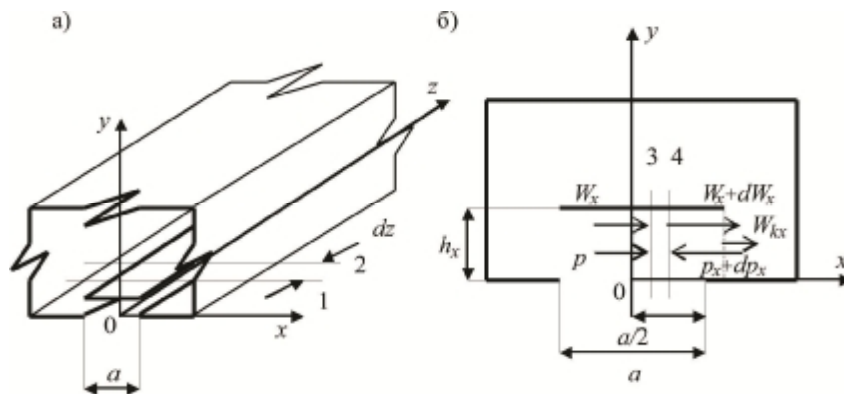


Рис. 2. Расчетная схема определения коэффициента расхода всасывающей щели с плоским экраном: а) участок кольцевого воздухопровода; б) расчетное сечение

Выделим два контрольных сечения 1 и 2 на расстоянии $dz \equiv d\theta$ друг от друга.

Течение в пространстве, заключенном под экраном можно рассматривать как плоское течение во всасывающем воздухоприемнике постоянной высоты h , шириной dz и длиной $a/2$. Так как течение воздуха в под экранном пространстве симметрично относительно оси «у», то представляется достаточным рассмотреть течение воздуха в половине пространства заключенного между плоскостью всасывания и плоскостью внутреннего экрана.

Допустим, что воздух поступает в под экранное пространство со скоростью V_{ex} . Выделим два контрольных сечения 3 и 4 на расстоянии x и $x+dx$. Примем, что давление в плоскости перпендикулярной оси X постоянно. Для выделенного объема запишем уравнение изменения количества движения и приравняем к импульсу внешних сил:

$$\frac{d(mW_x)}{dt} = X. \quad (3)$$

Рассмотрим составляющие уравнения (3) в отдельности:

1. Изменение количества движения системы между сечениями 3 и 4.

Количество движения для сечения 3:

$$\oint_F W_x W_x dF' = r b W_x^2 F'. \quad (4)$$

Количество движения для сечения 4:

$$\oint (W_x + dW_x)(W_x + dW_x) dF' = r b W_x^2 F' + 2r b F' W_x dW_x. \quad (5)$$

Количество движения для входящего потока между сечениями 3 и 4 составит:

$$r V_{ex} V_{ex} \cos \gamma df' = r b V_{ex}^2 \cos \gamma df', \quad (6)$$

где γ – угол между направлением средней составляющей скорости входящего потока и направлением средней составляющей скорости внутри воздухоприемника длиной $a/2$, шириной dz и высотой h .

2. Импульс внешних сил, действующих на выделенный объем между сечениями 3 и 4.

Импульс сил движения, действующих на выделенный объем за время dt :

$$[-(p_x + dp_x)F' + p_x F'] dt = - dp_x F' dt. \quad (7)$$

Импульс сил трения на выделенный объем за время dt :

$$- \frac{1}{d} r \frac{W_x^2}{2} F' dx dt. \quad (8)$$

В дифференциальном виде, с учетом всех составляющих, уравнение (3) изменения количества движения для объема заключенного между сечениями 3 и 4 запишется:

$$(2b_x r F' W_x dW_x - b' r V_{ex}^2 \cos \gamma df') dt = - F' dp_x dt - \frac{1}{d} r \frac{W_x^2}{2} F' dx dt. \quad (9)$$

После преобразований:

$$dp_x = - 2b_x r F' W_x dW_x - b' r V_{ex}^2 \cos \gamma \frac{df'}{F'} - \frac{1}{d} r \frac{W_x^2}{2} dx. \quad (10)$$

Выразим среднюю скорость W_x через конечную среднюю скорость W_{xk} в конце воздухоприемника длиной $a/2$ [3]:

$$W_x = W_{xk} \frac{a^2 x \ddot{\theta}}{a \dot{\theta}} \quad (11)$$

Тогда можно записать уравнение (10) как:

$$dp_x = - 2b_x r \frac{4W_{xk}^2}{a^2} x dx - b' r V_{ex}^2 \cos \gamma \frac{df'}{F'} - \frac{1}{d} r \frac{4W_{xk}^2}{2a^2} x^2 dx. \quad (12)$$

Проинтегрируем уравнение (12) в пределах от 0 до $a/2$:

$$\int_{-p_0}^{-p_x} dp_x = - \int_0^{a/2} 2b_x r \frac{4W_{xk}^2}{a^2} x dx - \int_0^{a/2} b' r V_{ex}^2 \cos \gamma \frac{df'}{F'} - \int_0^{a/2} \frac{1}{d} r \frac{2W_{xk}^2}{a^2} x^2 dx. \quad (13)$$

Допуская, что входящий поток присоединяется к потоку внутри воздухоприемника высотой h и длиной $a/2$ под углом близким к 90° , как для линейных равномерно-всасывающих воздухоприемников, поправочный коэффициент на количество движения $\beta_x = \beta \approx 1,0$ и пренебрегая, ввиду малости расстояния, потерями на трение, после интегрирования уравнения (13) и преобразований получим:

$$- p_{xk} + p_0 = - r W_{xk}^2, \quad (14)$$

или

$$P_{\text{хк}} = P_0 + r W_{\text{хк}}^2 \quad (15)$$

где P_0 – давление в плоскости «у» воздухоприемника высотой h и длиной $a/2$.

Записывая:

$$P_0 = \frac{V_{\text{ex}}^2}{2m_0^2} r \quad (16)$$

где μ_0 – коэффициент расхода всасывающей щели в начале воздухоприемника высотой h и длиной $a/2$, будем иметь:

$$P_{\text{хк}} = \frac{V_{\text{ex}}^2}{2m_0^2} r + r W_{\text{хк}}^2 \quad (17)$$

Подставляя полученное уравнение (16) статистического давления в конце воздухоприемника под экранного пространства в известную формулу [3] для определения коэффициента расхода, получим:

$$m_q = \frac{V_{\text{ex,к}}}{\sqrt{2 \frac{\alpha V_{\text{ex}}^2}{\xi} + W_{\text{хк}}^2}} \quad (18)$$

Используя уравнение неразрывности [3] можно записать:

$$\frac{a}{2} V_{\text{ex}} dz = h_x W_{\text{хк}} dz \quad (19)$$

Отсюда имеем:

$$W_{\text{хк}} = \frac{a V_{\text{ex}}}{2 h_x} \quad (20)$$

Подставив (20) в уравнение (18) получим:

$$m_q = \frac{V_{\text{ex}}}{\sqrt{\frac{V_{\text{ex}}^2}{m_{\text{ex}}^2} + 2 \frac{\alpha a}{\xi} \frac{\delta^2}{2 h_x} V_{\text{ex}}^2}} \quad (21)$$

После преобразований:

$$m_q = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{m_{\text{ex}}^2} + \frac{1}{2} \frac{\alpha a}{\xi} \frac{\delta^2}{h_x}}} \quad (22)$$

Решая уравнение (22) относительно h , можно определить высоту установки экрана над плоскостью всасывающей щели:

$$h_x = \frac{a}{\sqrt{2 \frac{\alpha}{\xi} \frac{1}{m_q^2} - \frac{1}{m_{\text{ex}}^2}}} \quad (23)$$

Учитывая, что изменение коэффициента расхода по пути движения [1] определяется выражением $m_q = m_0 \sqrt{\frac{P_0}{P_q}}$ и принимая во внимание уравнения (2), (23) окончательно получим:

$$h_q = \frac{a}{\frac{W_k q}{V_{\text{ex}} q_k} \sqrt{5,65 + \frac{1}{3d} \frac{p}{90} r_{\text{cp}} q + \sqrt{2} \frac{p}{360}}} \quad (24)$$

Общее гидравлическое сопротивление воздухоприемника с щелью постоянной высоты и внутренним экраном, установленным над плоскостью всасывающей щели [6, 9], с учетом сделанных выше допущений, представляется возможным определить из уравнения:

$$V = \frac{\alpha V_0}{\xi W_k} \frac{\delta^2}{\mu_0^2} + 1,82 \quad (25)$$

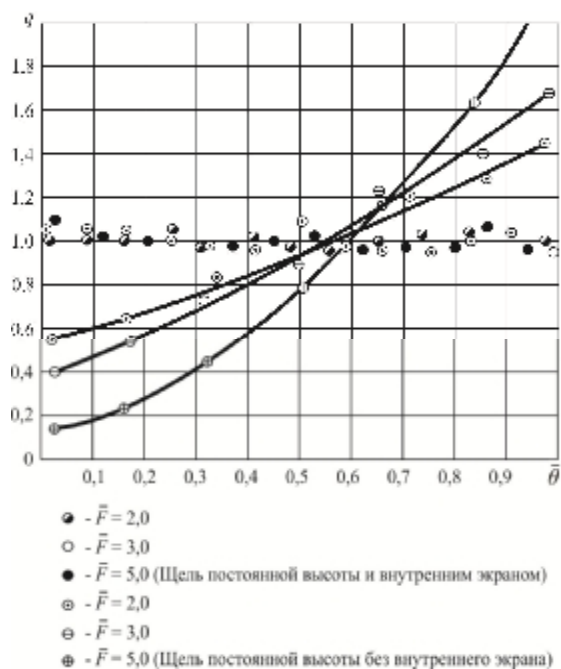


Рис. 3. Распределение удельного расхода по длине кольцевого воздухоприемника

С целью проверки полученных зависимостей для расчета кольцевого воздухоприемника были проведены экспериментальные исследования на аэродинамическом стенде. В ходе экспериментов получены высокая равномерность всасывания по длине кольцевых воздухоприемников, что говорит о правильности сделанных допущений. Максимальное отклонение удельного расхода не превышает 8-10 % (рис. 3).

Выводы:

Для кольцевых воздухоприемников со щелью постоянной высоты и внутренним экраном установленным с эксцентриситетом наиболее оптимальной высотой экрана является высота в 1,4-1,6 раз больше высоты всасывающей щели.

При использовании кольцевых воздухоприемников с рядом близко расположенных отверстий одинаковой площади и внутренними экранами, максимальное расстояние между ними следует принимать равным одному гидравлическому диаметру отверстия.

Наиболее совершенной конструкцией являются кольцевые воздухоприемники с отверстиями одинаковой площади и внутренними экранами установленными под углом к плоскости всасывающего отверстия. Такие конструкции позволяют значительно снизить энергетические затраты на их работу.

Список библиографических ссылок

1. Давыдов А.П. Теоретические и экспериментальные исследования всасывающих воздухопроводов с внутренними экранами. / авт. реф. дис. канд.техн.наук. – Л., 1976. – 181 с.
2. Гримитилин М.И, Тимофеева О.Н., Эльтерман В.М., Эльтерман Е.М., Эльянов Л.С. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов. – М.: Машиностроение, 1978. – 272 с.
3. Талиев В.Н., Аэродинамика вентиляции. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
4. Валиулин М.А., Давыдов А.П. Уравнение движения воздуха в кольцевом равномерно-всасывающем воздухопроводе переменного сечения. // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 142-146.
5. Давыдов А.П., Валиуллин М.А., Габдрафиков Р.Р. К вопросу влияния неравномерности всасывания воздуха на объем удаляемого воздуха. // Известия КГАСУ, 2013, № 4 (26). – С. 170-174.

6. А.с. 1008584 (СССР). Устройство для удаления газообразных вредностей. / А.М. Валиуллин, В.М. Гусев, А.П. Давыдов. Оpubл. в Б.И., 1983, № 12.
7. А.с. 991976 (СССР). Устройство для сушки колбасных изделий / А.В. Брайловский, А.П. Давыдов, М.А. Валиуллин. Оpubл. в Б.И., 1983, № 4.
8. Золотов С.С. Аэродинамики судовой вентиляции. – Л.: Судостроение, 1967. – 311 с.
9. Идельчик И.Е. Гидравлические сопротивления. – М.- Л.: Госэнергоиздат, 1954. – 316 с.
10. Посохин В.Н, Маклаков Д.В. О влиянии архимедовых сил на развитие турбулентных струй. // Известия Вузов, Авиационная техника, 2007, № 3. – 16 с.
11. Усманов Р.А., Давыдов А.П., Валиуллин М.А. Расчет воздухопроводов равномерной раздачи и всасывания с внутренними экранами, установленными под углом // Вестник КТУ, 2014. – 134 с.

Valiullin M.A. – candidate of technical sciences, professor

E-mail: posohin@kgasu.ru

Davydov A.P. – candidate of technical sciences, professor

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

On the calculations of circular-slotted uniform-suction exhaust hoods

Resume

On the aviation industry are widely used technological-mechanical equipment, in terms of having a circular shape. To trap harmful Mark-tions from the specified equipment, used circular air intakes.

The efficiency of such devices depends on the uniformity along the length of the suction air inlet at the lowest energy costs.

Uniformity of suction at the lowest energy consumption, is offering to carry out the change of coefficient of discharge along the length of the suction slot (number of holes) by setting the internal screen.

Experimental studies on an aerodynamic stand were conducted in the article. The results obtained during the experiments confirmed the correctness of made assumptions. The maximum deviation of the specific consumption does not exceed 8-10 %.

Keywords: air inlet ring, uniform absorption, internal screen, flow coefficient.

References list

1. Davydov A.P. Theoretical and experimental studies of the suction of air from the internal screen. / Auth. Ref. dis. Candidate of Science. – L., 1976. – 181 p.
2. Grimitilin M.I., Timofeev O.N., Elterman V.M., Elterman E.M., Elyanov L.S. Ventilation and heating shop of engineering plants. – M.: Engineering, 1978. – 272 p.
3. Taliev V.N., Aerodynamics ventilation. – M.: Stroyizdat, 1979. – 295 p.
4. Valiulin M.A., Davydov A.P. The equation of motion of air in the ring evenly-intake air duct of variable section // Izvestiia KGASU, 2011, № 2 (16). – P. 142-146.
5. Davydov A.P., Valiullin M.A., Gabdrafikov R.R. On the question of the effect of non-uniformity of the air intake on the amount of exhaust air // Izvestiia KGASU, 2013, № 4 (26). – P. 170-174.
6. AS 1008584 (USSR). A device for removing gaseous hazards / A.M. Valiullin, V.M. Gusev, A.P. Davydov. Publ. in B.I., 1983, № 12.
7. AS 991976 (USSR). Device for drying sausages / A.V. Braylovsky, A.P. Davydov, M.A. Valiullin. Publ. in B.I., 1983, № 4.
8. Zolotov S.S. Aerodynamics of the ship's ventilation. – L.: Shipbuilding, 1967. – 311 p.
9. Idelchik I.E. Hydraulic resistance. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1954. – 316 p.
10. Posohin V.N, Maklakov D.V. On influence of buoyancy forces on the development of turbo-equivalent jets. Proceedings of Higher Education, Aviation equipment, 2007, № 3. – P. 16-21.
11. Usmanov R.A., Davydov A.P., Valiullin M.A. Calculation of the air ducts still – dimensional distribution and absorption of internal screens installed at an angle // Bulletin KТУ, 2014. – 134 p.