

УДК 697.1(107), 697.03:5(107)

**Валиуллин М.А.** – кандидат технических наук, доцент

**Давыдов А.П.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [ap\\_Davidov@mail.ru](mailto:ap_Davidov@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА В КОЛЬЦЕВОМ РАВНОМЕРНО-ВСАСЫВАЮЩЕМ ВОЗДУХОПРОВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ**

### **АННОТАЦИЯ**

Технологическое оборудование различного назначения, имеющее в плане круглую форму, выделяет вредные вещества, которые поступают в зону дыхания рабочего. Для улавливания этих веществ используют кольцевые воздухопроводы.

Эффективность улавливания зависит от конструкции воздухопровода и точности методики их расчета. В статье приводится вывод уравнения движения воздуха в кольцевом равномерно-всасывающем воздухопроводе переменного поперечного сечения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** технологическое оборудование, вредные вещества, кольцевой воздухопровод, переменное поперечное сечение, методика расчета.

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

**Davidov A.P.** – candidate of technical sciences, associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **THE EQUATION MOTION OF AIR IN THE RING UNIFORMLY SUCKING IN AIR DUCT OF VARIABLE CROSS-SECTION**

### **ABSTRACT**

Technological equipment for different purposes and in terms of having a round shape release harmful substances enter in breathing zone of worker. For capture these substances are used circular air inlet.

Catching efficiency depending of the design air inlet and accuracy of methods then calculating. In this paper we are derive the equations of motion of air in the ring uniformly sucking air ducts of variable cross-section.

**KEYWORDS:** technological equipment, harmful substances, the annular air inlet, the variable cross-section, method of calculation.

Расчет воздухопроводов для улавливания вредных веществ основан на определении закономерностей распределения давления по пути движения воздуха. Зная закономерность распределения давления, представляется возможным рассчитать высоту всасывающей щели.

Удельный расход воздуха по длине кольцевого всасывающего воздухопровода переменного поперечного сечения наиболее эффективно обеспечивается изменением коэффициента расхода всасывающей щели постоянной высоты [1, 2, 3]. Для этого при расчете кольцевого равномерно-всасывающего устройства переменного поперечного сечения важно знать закон изменения статического давления по длине воздухопровода, который определяет скорость всасывания воздуха в щель.

Рассмотрим кольцевой всасывающий воздухопровод переменного поперечного сечения  $F_i$  (рис. 1).

Пусть воздух поступает непрерывно в кольцевой всасывающий воздухопровод через щель, расположенную на внутренней стороне. Всасывающий кольцевой воздухопровод имеет два отбора воздуха. Поскольку воздухопровод симметричен относительно осей  $X$ ,  $Y$ , рассмотрим движение воздуха в одной его четверти.

Выделим два сечения 1-1 и 2-2 соответственно на расстоянии, определяемом углами  $q$  и  $q + dq$ .

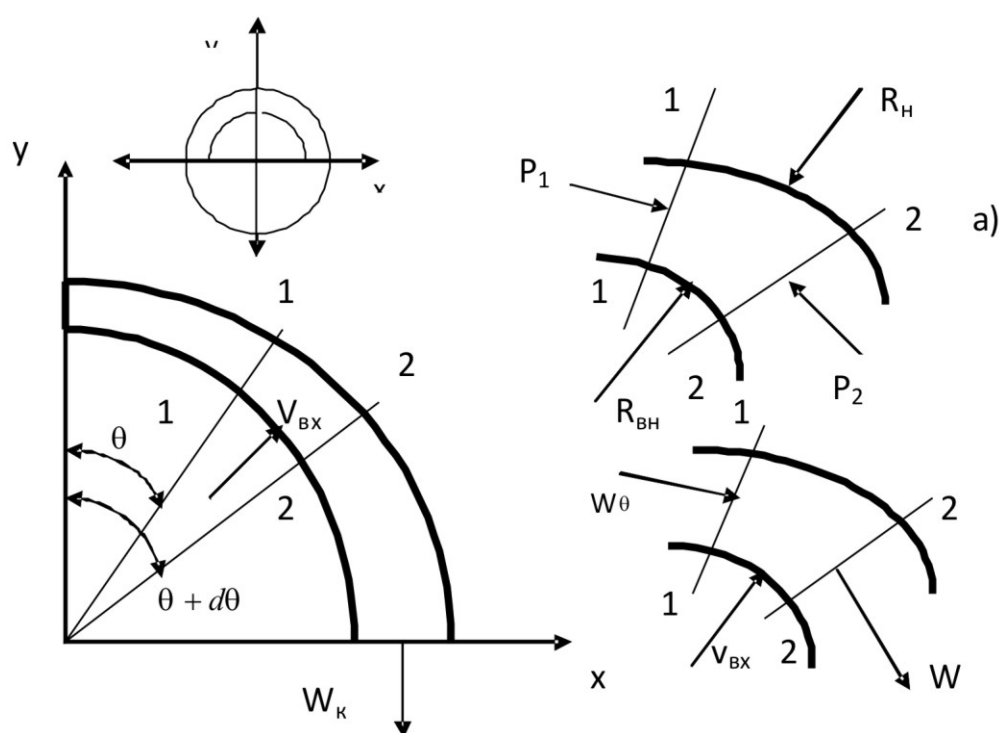


Рис. 1. Расчетная схема: а) элементарный объем между сечениями 1 и 2 (схема сил); б) элементарный объем, изменение скорости воздуха от сечения 1 до сечения 2 (в векторном виде)

Допустим, что давление в плоскостях сечений, расположенных по нормали к оси воздухопровода, постоянно. В этом случае уравнение, связывающее количество движения для выделенного объема, расположенного между сечениями 1-1 и 2-2, импульс внешних сил, приложенных к этому же объему, выразится как:

$$\frac{d(MW_q)}{dt} = R_{mp} + P + R_p \tag{1}$$

или

$$d(MW_q) = (R_{mp} + P + R_p) dt, \tag{1a}$$

где  $R_{mp}, P, R_p$  – силы трения, давления и реакций, возникающих на внешней и внутренней сторонах воздухопровода.

Рассмотрим члены уравнения (1a) в отдельности.

а) Изменение количества движения между сечениями 1-1 и 2-2

Количество движения для сечения 1-1 будет равно:

$$\int_{F_{1-1}} W_q r W_q dF = \int_{F_{1-1}} r W_q^2 dF = r b_q W_q^2 F_{1-1}$$

Для сечений 2-2 количество движений составит:

$$\int_{F_{2-2}} (W_q + dW)(W_q + dW) r dF = \int_{F_{2-2}} (W_q + dW)^2 r dF = b_{q+dq} (W_q + dW)^2 r F_{2-2}$$

Количество движения, которое вносит входящий поток воздуха, можно записать так:

$$r V_{ax} \cdot V_{ax} \cos g df = b' r V_{ax}^2 \cos g df,$$

где  $g$  – угол между направлением средней составляющей скорости входящего потока и направлением средней составляющей скорости внутри воздухопровода  $W_q$ .

Изменение количества движения при прохождении воздуха от сечения 1 до сечения 2 будет равно:  $r b_{q+dq} (W_q + dW)^2 F_{2-2} - r b_q W_q^2 F_{1-1} + r b' V_{ax} \cos g df$ .

Принимая  $b_q = b_{q+dq} = b = idem$  [1, 2, 3, 4, 5].

Ввиду малости расстояния между сечениями 1 и 2, после преобразований получим:

$$2brF_{1-1}W_q dW + brW_q^2 dF + rb'V_{ex}^2 \cos g df$$

В результате, изменения количества движения при прохождении воздуха между контрольными сечениями 1-1 и 2-2 за время  $dt$  выразятся:

$$\left[ rbF_{1-1} \left( 2W_q dW + W_q^2 \frac{dF}{F_{1-1}} + rb'V_{ex}^2 \cos g \frac{df}{F_{1-1}} \right) \right] dt$$

б) Импульс сил давления

В плоскости 1-1 на выделенный объем действует сила давления  $p_q F_{1-1}$ , а в плоскости 2-2 сила давления –  $(p_q + dp_q) F_{2-2}$ .

Импульс сил давления, действующих на выделенный объем за промежуток времени  $dt$ , составит:

$$\left[ -(F_{1-1} dp_q + p_q dF) \right] dt$$

в) Импульс сил реакции

При прохождении воздуха по кольцевому воздухопроводу возникает сила реакции со стороны внутренних стенок, определяемых радиусом  $r_{вн}$  и  $r_{н}$ . Учитывая, что давление на боковые поверхности кольцевого воздухопровода можно определить из выражения  $\frac{1}{2}(p_q + p_q + dp)$ . Для выделенного объема эта сила за промежуток времени  $dt$  может быть выражена как

$$\frac{1}{2}(p_q + p_q + dp) df' dt \text{ или } -\frac{2p}{360}(r_{н} - r_{вн}) d_{экр} p_q dq dt,$$

где  $r_{н}, r_{вн}, d_{экр}$  – соответственно наружный и внутренний диаметры закругления кольцевого воздухопровода, а также эквивалентный диаметр воздухопровода.

г) Импульс сил трения

Импульс сил трения за промежуток времени  $dt$ , действующих на выделенный объем, можно выразить так:  $-dR_{mp} dt = -t \frac{4p}{360} d_{экр.ср.} r_{ср} dq dt$ ,

где  $t, d_{экр.ср.}, r_{ср}$  – соответственно напряжение трения, средний эквивалентный диаметр воздухопровода и средний диаметр закругления кольцевого воздухопровода.

Запишем уравнение (1а) с учетом всех составляющих

$$\left[ rbF_{1-1} \left( 2W_q dW + W_q^2 \frac{dF}{F_{1-1}} + rb'V_{ex}^2 \cos g \frac{df}{F_{1-1}} \right) \right] dt = \left[ -(F_{1-1} dp_q + p_q dF) \right] dt + \left[ -\frac{2p}{360}(r_{н} - r_{вн}) d_{экр} p_q dq \right] dt + \left[ -t \frac{4p}{360} d_{экр.ср.} r_{ср} dq \right] dt \quad (2)$$

Разделив каждый член уравнения (2) на  $F$  и  $dt$ , получим:

$$\left[ rb \left( 2W_q dW + W_q^2 \frac{dF}{F} + rb'V_{ex}^2 \cos g \frac{df}{F} \right) \right] = \left[ -(dp_q + p_q \frac{dF}{F}) \right] + \left[ -\frac{2p}{360}(r_{н} - r_{вн}) d_{экр} p_q dq \frac{1}{F} \right] + \left[ -t \frac{4p}{360} d_{экр.ср.} r_{ср} dq \frac{1}{F} \right] \quad (3)$$

Решая уравнение (3) относительно  $p_q$ , представляется возможным определить разряжение в кольцевом воздухопроводе в зависимости от угла  $q$ .

Зная закон изменения давления по пути движения воздуха, можно рассчитать высоту всасывающей щели из выражения:

$$a_q = \frac{L_k}{p r_{ср} m} \sqrt{\frac{r}{2p_q}}, \quad (4)$$

где  $a_q$  – высота всасывающей щели с координатами щели  $q$ ;  $L_k$  – конечный расход воздуха;  $m$  – коэффициент расхода всасывающей щели.

Коэффициент местного сопротивления всасывающего воздухопровода переменного сечения можно определить из выражения:

$$z = \frac{2P_k}{W_k^2 r} + a_k, \quad (5)$$

где  $a_k$  – коэффициент распределения кинетической энергии.

В ходе экспериментов проверялись теоретические принципы расчета кольцевых равномерно-всасывающих воздухопроводов переменного сечения. Эксперименты проводились на воздухопроводах переменного сечения с  $\bar{F} = \frac{f_{щели}}{F_k} = 0.04$ . Экспериментальные данные после обработки сравнивались с кривыми изменения статического давления по длине кольцевого воздухопровода переменного поперечного сечения, полученными по зависимости (3).

На рис. 2 и 3 приведены данные распределения относительного статического давления в кольцевом воздухопроводе переменного сечения и значения распределения относительного расхода по длине щели.

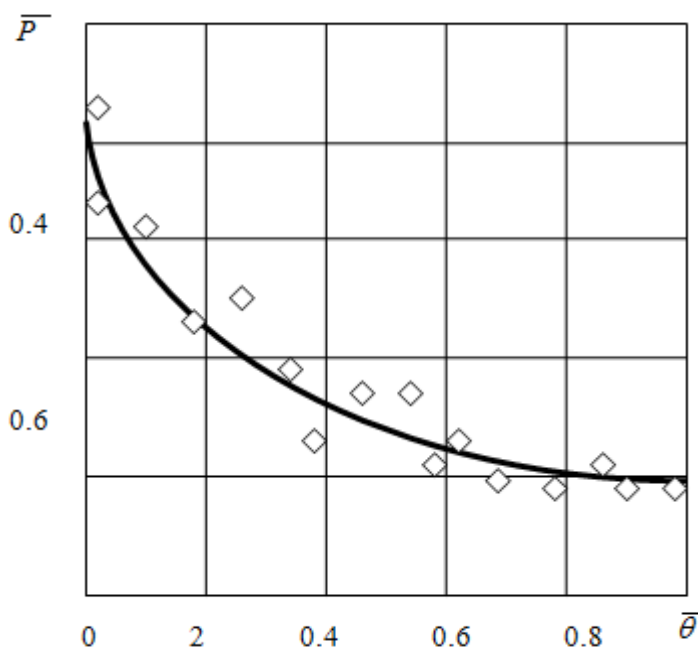


Рис. 2. Распределение относительного статического давления по длине кольцевого воздухопровода переменного сечения с всасывающей щелью

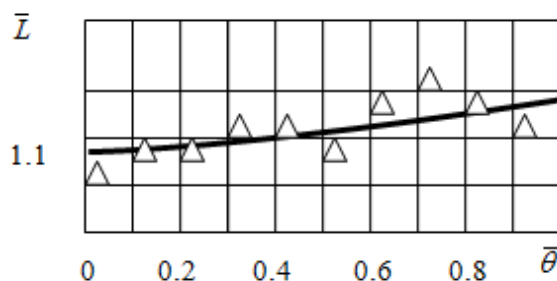


Рис. 3. Распределение относительного расхода по длине кольцевого воздухопровода переменного сечения с всасывающей щелью

Из анализа экспериментальных данных видно достаточно хорошее совпадение результатов эксперимента и теоретических расчетов. Это позволяет рекомендовать их применение на практике.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Геджакушян О.Е. Исследование равномерно-всасывающих воздухопроводов с продольными щелями в системах вентиляции. //Автореферат дис. к.т.н. – Киев, 1968. – 20 с.
2. Давыдов А.П. Теоретическое и экспериментальное исследования всасывающих воздухопроводов с внутренними экранами. Дис. к.т.н. – Л., 1976. – 181 с.
3. Валиуллин М.А. Кольцевые равномерно-всасывающие воздухоприемники. //Дис. к.т.н. – Л., 1984. – 137 с.
4. Золотов С.С. Аэродинамика судовой вентиляции. – Л.: Судостроение, 1968. – 311 с.
5. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с.
6. Дудинцев Л.М. Коэффициент расхода отверстия в стенке при потоке, направленном параллельно стенке. // Изв. вузов. Строительство и архитектура 1969, № 5. – С. 118-122.

**REFERENCES**

1. Gedzhakushyan O.E. Study of uniformly-suction air ducts with longitudinal slits in ventilation systems. AbstractDis. Ph.D. – Kiev, 1968. – 20 p.
2. Davidov A.P. Theoretical and experimental studies of suction air ducts with internal screens. //Dis. Ph.D. – L., 1976. – 181 p.
3. Valiullin M.A. Circularly uniformly suction air inlet. //Dis. Ph.D. – L., 1984. – 137 p.
4. Zolotov S.S. Aerodynamics of the ship's ventilation system. – L.: Shipbuilding, 1968. – 311 p.
5. Taliev V.N. Aerodynamics of ventilation. – M.: Stroyizdat, 1979. – 295 p.
6. Dudintsev L.M. Coefficient of discharge holes in the wall with the flow directed parallel to the wall. // Math. Universities. Construction and Architecture, 1969, № 5. – P. 118-122.