

УДК 697 (107) 697.03:5(107)

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

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

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

**Димиева А.И.** – инженер

E-mail: [a.dimieva@bk.ru](mailto:a.dimieva@bk.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Технические способы изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Целью работы является разработка технических способов изменения коэффициента расхода всасывающих отверстий различной конфигурации.

*Результаты.* Высокая эффективность работа всасывающих устройств зависит от точности их расчета, обеспечивающих заданный объем удаляемого воздуха. Регулирование расхода воздуха по площади воздухоприемника осуществляется изменением коэффициента расхода всасывающих отверстий. Получены точные значения коэффициентов расхода всасывающих отверстий различной конфигурации.

*Выводы.* Значимость для строительной отрасли заключается в том, что полученные значения коэффициентов расхода всасывающих отверстий различной конфигурации позволяют рассчитать воздухоприемное устройство любой геометрии и назначения.

**Ключевые слова:** всасывающий воздухопровод, отверстие, внутренний экран, коэффициент расхода.

При удалении вредных выделений от специального технологического оборудования используются воздухоприемники различной конструкции [1, 2].

Конструкция местных отсосов от технологического оборудования, как правило, определяется геометрическими параметрами оборудования.

Это могут быть протяженные линейные воздухоприемники, кольцевые воздухоприемники или панели всасывания, предназначенные для улавливания вредных выделений с площадей.

Для достижения высокой эффективности работы таких устройств используются отверстия различной конфигурации – квадратные, прямоугольные, круглые, щелевидные отверстия, отверстия с внутренними экранами. Внутренние экраны предназначены для регулирования расхода воздуха через всасывающие отверстия или щели [3-5]. Расход воздуха может регулироваться также изменением площади самих отверстий [5].

Закономерности работы отверстий и насадков при истечении из них жидкостей или газов достаточно хорошо изучены и освещены в литературе [6, 7]. Эти исследования находят применение при расчете струй различного характера. При этом рассматривается истечение из какого-либо ограниченного пространства (резервуар, воздухораспределитель, отверстие в воздухопроводе) в достаточно большое пространство.

Характеристики всасывающих отверстий, отверстий с внутренними экранами с различными способами их установки изучены и освещены в литературе значительно меньше. Эта задача относится к процессам входа воздуха в весьма ограниченное пространство, соизмеримое с размерами самого отверстия, через которое происходит течение. Несомненный интерес при этом представляют исследования влияния различного рода экранов, устанавливаемых над всасывающими отверстиями.

В настоящей статье приводятся данные экспериментального исследования течения во всасывающем отверстии с внутренним экраном и без него. Исследования ставили своей целью экспериментальное определение изменения коэффициента расхода отверстия  $\mu$  в зависимости от значений числа  $Re$ , а также от относительной высоты поднятия экрана –  $\bar{h}$  или угла его установки  $\theta$ .

Изучение закономерностей работы всасывающих отверстий различной конфигурации с вариантами установки экранов проводилось на аэродинамическом стенде, а также с использованием математического моделирования процессов течения программой «Fluent». Исследования закономерностей изменения коэффициента расхода от указанных выше зависимостей проводились, как для квадратных прямоугольных, так и для круглых отверстий.

Экспериментально изучались четыре случая: 1 – параллельное перемещение экрана над всасывающим отверстием с различными соотношениями сторон; 2 – перемещение экрана под углом к плоскости всасывающего отверстия; 3 – параллельное перемещение экрана с загнутым концом; 4 – круглое отверстие без экрана (табл. 1).

Таблица 1

Узел	A	B	C	D	E	F	G	H
X	110	120	107,5	122,5	10	10	220	220
Y	10	10	–	–	10	30	30	10

Коэффициент расхода  $\mu$  для всасывающего отверстия определялся по (1):

$$m = V_{\text{омв}} \sqrt{\frac{r}{2p}} \quad (1)$$

Численное значение критерия Рейнольдса определялось по выражению –  $Re = \frac{Vd_{\text{экв}}}{\nu}$ .

На рис. 1-2 приведены картины течения воздуха в квадратное всасывающее отверстие с внутренним экраном, установленным параллельно к плоскости всасывающего отверстия (рис. 1) и отверстие с закругленным экраном (рис. 2) полученные с использованием программы «Gambit» и «Fluent» при различных значениях относительной высоты поднятия экрана.



Рис. 1. Контуры функции тока скорости воздушного потока при  $Re=100000$  (а)  $\bar{h}=0,1$ ,  $Re=100000$  (б), относительная высота  $\bar{h}=0,1$  экран установлен параллельно плоскости всасывающего отверстия



Рис. 2. Контуры функции тока скорости воздушного потока при  $Re=100000$  (а)  $\bar{h}=0,1$  и  $Re=100000$   $\bar{h}=0,1$  (б), закругленный экран

В постановке задачи течения потока воздуха рассматривался квадратный воздуховод со сторонами  $0,2 \times 0,2$  м, внизу которого имеется квадратное отверстие, с установленной над ним экраном соответствующей геометрии. Поток воздуха входит через нижнее отверстие в сторону торцевого выхода.

Схема расчетного варианта воздуховода приведена на рис. 3.

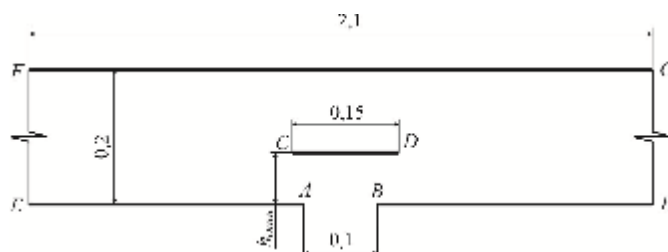


Рис. 3. Схема воздуховода для построения расчетной сетки в препроцессоре «Gambit»

Координаты профиля исследуемого воздуховода для создания расчетной сетки приведены в табл. 1.

Координаты  $Y$  точек  $C$  и  $D$  изменялись в зависимости от значения величины  $-\bar{h}$ . Задача решалась как двухмерная модель (2D).

Параметры решаемой задачи: Размеры квадратного отверстия –  $a=0,1$  м;  $b=0,1$  м; Размеры экрана –  $a^*=0,15$  м;  $b^*=0,15$  м; Относительная высота –  $\bar{h}=0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 1,0$ ; Число  $Re=1000, 5000, 10000, 20000, 50000, 100000$ . Температура воздуха принималась равной  $20$  °С. Размер сетки 200000 клеток. После итерационного процесса получены контуры функции тока скорости воздушного потока. Контур функции тока скорости воздушного потока представлены на рис. 1-2.

На приведенных рисунках хорошо просматриваются зоны вихревых образований. Зависимости, полученные в ходе математического моделирования соответствуют данным полученным в ходе исследований на аэродинамическом стенде в пределах значений  $Re$  выше  $60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$ .

Коэффициент расхода отверстий с внутренним экраном при перемещении последнего меняется от нуля до коэффициента расхода отверстия, соответствующего случаю, когда экран отсутствует.

Коэффициент расхода отверстия в значительной мере зависит от числа Рейнольдса и растет с его увеличением.

В области  $Re=Re_{\text{авт}}$  коэффициент расхода отверстия при отсутствии экрана в определенной мере зависит от отношения площади отверстия к площади поперечного сечения воздухопровода.

На рис. 4-6 приведены зависимости коэффициентов расхода отверстий от высоты поднятия или угла наклона экрана и численных значений критерия Рейнольдса при использовании программы «Fluent» и полученные на аэродинамическом стенде. Как видно из графиков, приведенных на рис. 4-6 наблюдается явная зависимость коэффициента расхода рассматриваемого отверстия от численных значений критерия Рейнольдса вплоть до значений  $\approx 60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$ . Существенное влияние на величину коэффициента расхода оказывает высота поднятия экрана над всасывающим воздух отверстием.

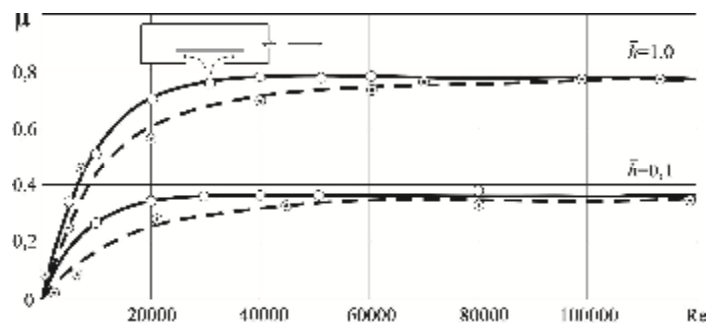


Рис. 4. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от высоты поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

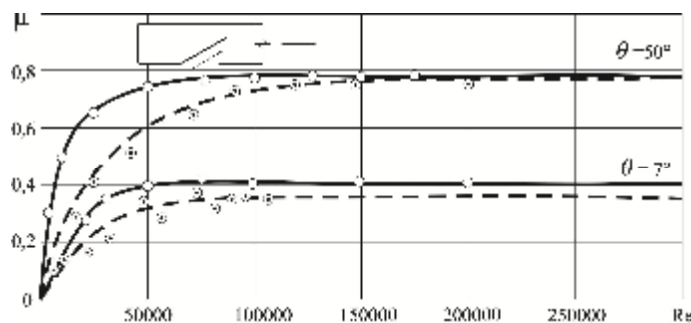


Рис. 5. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от угла поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

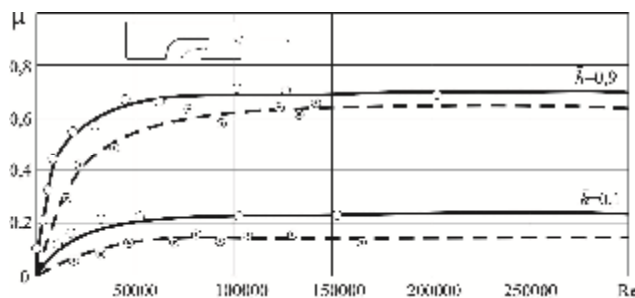


Рис. 6. Зависимости коэффициента расхода отверстия с соотношением сторон 1:1 от высоты поднятия экрана и численных значений критерия Рейнольдса (— «Fluent»; - - - данные эксперимента)

Следует отметить что зависимости, полученные в ходе математического моделирования (рис. 4-6) полностью соответствуют данным полученным в ходе исследований, полученных на аэродинамическом стенде в пределах значений Re выше  $60 \times 10^3$ . При рассмотрении течений пределах чисел Re от  $60 \times 10^3$  и ниже расхождение полученных данных составляет значительные величины хотя повторяют характер изменений.

В результате обработки полученных данных предлагаются эмпирические зависимости. В общем виде эмпирическая зависимость, характеризующая изменения коэффициента расхода отверстия всасывающего отверстий с внутренним экраном от числа Re, относительно высоты поднятия экрана –  $\bar{h}$  и относительной площади –  $\bar{F}$ , выражается зависимостью (2):

$$\mu = (e^{0,62\bar{F}} - 0,15) \cdot (1 - e^{-mRe}) \cdot (1 - e^{-n\bar{h}}). \tag{2}$$

Эмпирическая зависимость, связывающая значения коэффициента расхода круглого отверстия и числа Рейнольдса выражается соотношением (3).

$$\mu = nRe^2 + mRe + k. \tag{3}$$

Геометрические характеристики отверстий и экранов приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Геометрические характеристики отверстий и экранов**

Параллельная установка экрана плоскости отверстия	Под углом к плоскости отверстия	Экран с закругленной кромкой	Круглое отверстие без экрана
1	2	3	4
Отношение сторон отверстия 1:1	Отношение сторон отверстия 1:1	Отношение сторон отверстия 1:2	Круглое отверстие
Значения $Re < 30000$	Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$	Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$	Значения $Re \geq 200 - 15 \times 10^2$
$0,2 < \bar{h} \leq 0,3$	$m = 45,0 \times 10^6;$ $n = 0,08$	$m = 44,5 \times 10^6;$ $n = 1,3$	$n = 4 \times 10^{-8}; m = 8 \times 10^{-5}; k = -0,0034$
$m = 55,0 \times 10^6;$ $n = 4,75$	Отношение сторон отверстия 1:2	Отношение сторон отверстия 1:3	Значения $Re \geq 5 \times 10^2 - 4 \times 10^3$
$0,1 < \bar{h} \leq 0,2$	Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$	Значения $Re \geq 1,5 \times 10^4$	$n = -3 \times 10^{-8}; m = 3 \times 10^{-4}; k = -0,0119$
$m = 55,0 \times 10^6;$ $n = 5,85$	$m = 38,5 \times 10^6;$ $n = 0,046$	$m = 32,0 \times 10^6;$ $n = 1,5$	Значения $Re \geq 10 \times 10^3 - 6 \times 10^3$

Для параллельной установки экрана над плоскостью отверстия значения коэффициентов  $m$  и  $n$  при  $Re \geq 30 \cdot 10^3$  и  $\bar{h} \geq 0,3$   $m=55 \times 10^6$ ,  $n=4,27$ ; при  $Re \leq 1,5 \times 10^4$   $m=37,8 \times 10^6$ ,  $n=6,9$ ; при  $Re > 1,5 \times 10^4$   $m=37,8$ ,  $n=6,15$ . При отношении сторон отверстия 1:2 для  $Re > 4 \times 10^4$   $m=37,8 \times 10^4$ ,  $n=5,4$ , для отношения сторон отверстия 1:3  $Re \geq 1,5 \times 10^4$ ,  $m=34,2 \times 10^6$ ,  $n=6,72$ .

Рассматривая указанные зависимости можно заключить о возможности широкого использования всасывающих отверстий с внутренними экранами для регулирования расхода воздуха в широком диапазоне.

По результатам экспериментов можно заключить:

1. Получена эмпирическая зависимость, характеризующая изменения коэффициента расхода всасывающего отверстия с внутренним экраном от числа  $Re$ , относительно высоты поднятия или угла наклона экрана –  $\bar{h}(\theta)$  и относительной площади  $\bar{F}$ .

2. Зависимости, полученные в ходе математического моделирования (рис. 4-6) соответствуют данным полученным в ходе исследований на аэродинамическом стенде в пределах значений  $Re$  выше  $60 \times 10^3 \div 100 \times 10^3$ . При рассмотрении течений пределах чисел  $Re$  от  $Re$  от  $60 \times 10^3$  и ниже расхождение полученных данных составляет значительную величину.

3. Коэффициент расхода отверстий с внутренним экраном при перемещении последнего меняется от нуля до коэффициента расхода отверстия, соответствующего случаю, когда экран отсутствует.

4. Коэффициент расхода отверстия в значительной мере зависит от числа Рейнольдса и растет с его увеличением.

5. В области  $Re = Re_{атм}$  коэффициент расхода отверстия при отсутствии экрана в определенной мере зависит от отношения площади отверстия к площади поперечного сечения воздухопровода.

6. Значения коэффициента расхода круглого отверстия в пределах чисел  $Re$  от 20000 до 60000 изменяется в широких пределах от 0,2 до 0,8, что необходимо учитывать при расчетах воздухопроводов.

### Условные обозначения

$V$  – скорость воздуха во всасывающем отверстии, м/с;

$F$  – площадь воздухопровода, м;

$f$  – площадь отверстия;

$h$  – высота поднятия экрана, м;

$\bar{h} = h/d_{экв}$  – относительная высота поднятия экрана;

$a$  – ширина отверстия, м;  $b$  – длина отверстия, м;

$\bar{F} = f/F$  – относительная площадь;

$m, n, \kappa$  – эмпирические коэффициенты (табл. 1);

$Re = \frac{Vd_{экв}}{\nu}$  – критерий Рейнольдса;

$\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2 \cdot c^{-1}$ ;

$\rho$  – плотность  $kg/m^3$ ;

$d_{экв}$  – эквивалентный диаметр отверстия, м.

### Индексы

$вх$  – входящий;

$экр$  – экран;

$отв$  – отверстие;

$воз$  – воздухоприемник.

**Список библиографических ссылок**

1. Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Уравнение движения воздуха в кольцевом равномерно-всасывающем воздухопроводе переменного сечения // Известия КГАСУ. 2011. № 2 (16). С. 142–146.
2. Давыдов А. П., Ланцов А. Е., Ахмерова Г. М. Работа равномерно-всасывающей панели с отверстиями круглого сечения. Казань : ООО «Скрипта», 2013. С. 461–465.
3. Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Коэффициент расхода всасывающей щели с внутренним экраном // Известия КГАСУ. 2011. № 3 (17). С. 85–89.
4. Давыдов А. П., Ланцов А. Е., Ахмерова Г. М. Зависимость коэффициента расхода всасывающего отверстия круглого сечения от числа  $Re$  : сб. докладов международной научно-технической конф. «Теоретические основы расчета систем ТГВ» / МГСУ. М. : 2013. С. 201–204.
5. Усманов Р. А., Давыдов А. П., Валиуллин М. А. Расчет воздухопроводов равномерной раздачи и всасывания с внутренними экранами, установленными под углом // Вестник КТУ. 2014. № 12. С. 138–140.
6. Альштуль А. Д. Гидравлические сопротивления. М. : Недра, 1970. 248 с.
7. Альштуль А. Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. М. : Гостоптехиздат, 1962. 341 с.
8. Abou Al-Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream // Inter. J. Heat Mass Transfer. 2008. P. 1313–1324.
9. Kumada T., Hirota T., Tamura N., Ishiguro R. Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream // Letters in Heat and Mass Transfer. 2012. Vol. 9, № 1. P. 1–9
10. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer features on permeable surfaces // Inter. J. Heat Mass Transfer. 2013. P. 755–760.

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

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

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

**Dimieva A.I.** – engineer

E-mail: [a.dimieva@bk.ru](mailto:a.dimieva@bk.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

**Technical methods of changing the consumption coefficient  
of suction holes of various configurations****Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the work is to develop technical methods for changing the consumption coefficient of suction holes of various configurations.

*Results.* The high efficiency of the suction devices depends on the accuracy of their calculation, which ensures a given volume of air being removed. The air flow rate is regulated by the air intake area by changing the consumption coefficient of the suction holes. Accurate values of the consumption coefficients of suction holes of various configurations are obtained.

*Conclusions.* Significance for the construction industry lies in the fact that the obtained values of coefficients of flow of suction holes of different shapes allow you to calculate the air receiver device of any geometry and purpose.

**Keywords:** suction air line, hole, internal screen, flow coefficient.

### References

1. Davydov A. P., Valiullin M. A. The equation of motion of air in the ring evenly – suction air duct of variable cross section // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 2 (16). P. 142–146.
2. Davydov A. P., Lantsov A. E., Akhmerova G. M. Work evenly – the suction plate with the holes of circular cross section. Kazan : ООО «Scripta», 2013. P. 461–465.
3. Davydov A. P., Valiullin M. A. Flow coefficient suction slot with inner screen // *Izvestiya KGASU*. 2011. № 3 (17). P. 85-89.
4. Davydov A. P., Lantsov A. E., Akhmerova G. M. Dependence of the flow coefficient of the flow through the holes of circular cross section of the number Re : *Proceedings of the International / MGSU. M.*, 2013. P. 201–204.
5. 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 // *Herald KTU*. 2014. № 12. P. 138–140.
6. Alshul A. D. Hydraulic resistance. M. : Nedra, 1970. 248 p.
7. Alshul A. D., The local hydraulic resistance during the motion of viscous fluids. M. : Gostoptekhizdat, 1962. 341 p.
8. Abou Al-Sood M. M., Birouk M. Droplet heat and mass transfer in a turbulent hot airstream // *Inter. J. Heat Mass Transfer*. 2008. P. 1313–1324.
9. Kumada T., Hirota T., Tamura N., Ishiguro R. Heat and mass transfer with liquid evaporation into a turbulent air stream // *Letters in Heat and Mass Transfer*. 2012. P. 1–9.
10. Volchkov E. P. Concerning the heat and mass transfer features on permeable surfaces // *Inter. J. Heat Mass Transfer*. 2013. P. 755–760.