

УДК 697 922

Посохин В.Н. – доктор технических наук, профессорE-mail: posohin@kgasu.ru**Кареева Ю.Р.** – кандидат технических наук, ассистентE-mail: jkareeva2503@gmail.com**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

О потерях давления при струйной подаче воздуха в ограниченные объемы**Аннотация**

Численным методом с помощью программного комплекса Fluent определяются потери давления и коэффициенты местных сопротивлений (кмс) для разных схем сосредоточенной подачи воздуха в ограниченные вентилируемые объемы. Значения возникающего при этом избыточного давления зависит от параметров поперечного и продольного стеснения, может быть весьма существенным и должно учитываться при аэродинамическом расчете вентиляционных систем.

Ключевые слова: стесненные струи, параметры стеснения, потери давления, коэффициент местного сопротивления, численный метод.

При сосредоточенной подаче воздуха в ограниченные объемы, в последних формируется избыточное давление, препятствующее продвижению струи. Значение противодавления зависит от параметров поперечного и продольного стеснения, взаиморасположения приточных и вытяжных отверстий. Оно может быть весьма существенным и должно учитываться при выборе нагнетателя. В этой статье на основе ранее полученных результатов определяются потери давления и соответствующие значения кмс для различных схем подачи и удаления воздуха плоскими и осесимметричными струями при изменении параметров стеснения.

Ранее авторами было проведено численное исследование стесненных струй в каналах при разном расположении приточных и вытяжных отверстий: плоский и цилиндрический тупик, плоский проточный канал, каналы с соосным и несоосным расположением приточного и вытяжного отверстий.

В результате были определены зависимости всех основных геометрических, кинематических и отчасти тепловых характеристик течений от параметров поперечного $\bar{b}_0(\bar{r}_0) = b_0/H(r_0/R)$ и продольного $\bar{l} = l/H(l/R)$ стеснения; $b_0(r_0)$ – половина высоты (радиус) приточной щели (круглого отверстия), $H(R)$ – половина высоты (радиус) плоского (цилиндрического) канала, l – длина канала.

Для замыкания системы уравнений турбулентного движения принималась «стандартная» $k - \varepsilon$ модель (k – кинетическая энергия турбулентных пульсаций, ε – скорость диссипации). При моделировании пристенных пограничных слоев использовалось расширенное пристеночное моделирование (Enhanced Wall Treatment).

Граничные условия задачи:

- приточное отверстие – скорость на истечении равномерна и направлена по нормали к границе: $\vec{u}_0 = const, \vec{u}_0 = u_n$;

- вытяжное отверстие, свободная граница – избыточное давление на границе – $\Delta p = 0$; скорость направлена по нормали к границе – $\vec{u} = u_n$; $\frac{\partial k}{\partial n} = 0, \frac{\partial \varepsilon}{\partial n} = 0$;

- твердые стенки: условие прилипания – $u = 0$; условие непроницаемости – $\frac{\partial u_n}{\partial n} = 0$;

Расчетная область покрывалась сеткой, минимальный размер ячеек в области пограничного слоя – $2,32 \times 10^{-7}$ м, максимальный размер – $6,4 \times 10^{-6}$ м.

Во всех случаях значения кмс определяются из соотношения:

$$z = \frac{P_L^{np} - P_L^e}{P_{дЛ}^{np}} = \frac{P_{сЛ}^{np} + P_{дЛ}^{np} - P_{сЛ}^e - P_{дЛ}^e}{P_{дЛ}^{np}}. \quad (1)$$

Здесь индекс L означает, что значения давлений полного P , статического P_c , динамического P_d усредняются по расходам в сечениях, где воздух подается в канал (индекс «np») и удаляется из тупика (индекс «в»).

Распределения скоростей и статических давлений в соответствующих сечениях, как уже отмечалось, ранее были найдены в работах [1-8].

Перейдем далее к анализу различных схем подачи и удаления воздуха.

Струя в тупике (рис. 1).

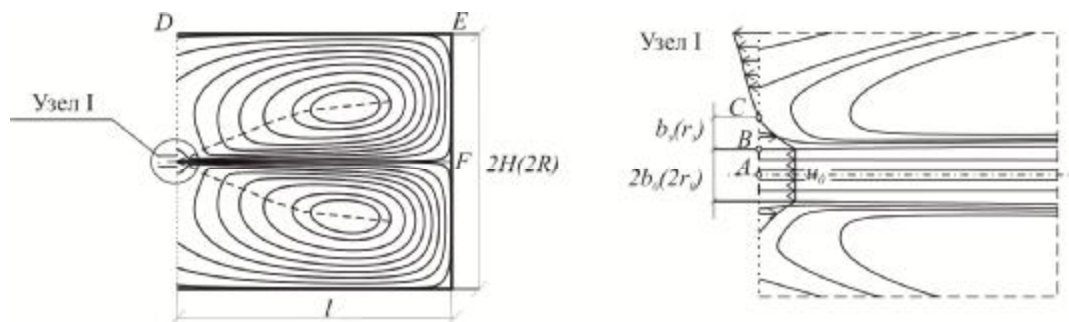


Рис. 1. Схема струйного течения в тупике: отрезок АВ – подача струи в тупик; отрезок ВС – зона, в пределах которой воздух извне эжектируется струей; CD – отрезок, где воздух вытекает из тупика

Определим расходы воздуха на соответствующих отрезках для случая плоской струи в тупике:

- приток – отрезки АВ и ВС:

$$L_{AB} = u_0 b_0; \quad L_{BC} = u_0 b_0 \int_{b_0}^{\bar{b}_0 + \bar{b}_3} \bar{u}_x d\bar{y}; \quad (2)$$

- удаление – отрезок CD:

$$L_{CD} = u_0 b_0 \int_{\bar{b}_0 + \bar{b}_3}^1 \bar{u}_x d\bar{y}. \quad (3)$$

Вычислим далее значения осредненного по расходам статического и динамического давлений на отрезках:

- отрезок АВ:

$$P_{cL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_0^{\bar{b}_0} \bar{P}_c d\bar{y}; \quad P_{dL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2}; \quad (4)$$

- отрезок ВС:

$$P_{cL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_{b_0}^{\bar{b}_0 + \bar{b}_3} \bar{P}_c \bar{u}_x d\bar{y} / \int_{b_0}^{\bar{b}_0 + \bar{b}_3} \bar{u}_x d\bar{y}; \quad \bar{P}_{dL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2} \times \frac{\int_{b_0}^{\bar{b}_0 + \bar{b}_3} \bar{u}_x^3 d\bar{y}}{\int_{b_0}^{\bar{b}_0 + \bar{b}_3} \bar{u}_x d\bar{y}}; \quad (5)$$

- отрезок CD:

$$P_{cL}^v = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_{\bar{b}_0 + \bar{b}_3}^1 \bar{P}_c \bar{u}_x d\bar{y} / \int_{\bar{b}_0 + \bar{b}_3}^1 \bar{u}_x d\bar{y}; \quad \bar{P}_{dL}^v = \frac{\gamma u_0^2}{2} \times \frac{\int_{\bar{b}_0 + \bar{b}_3}^1 \bar{u}_x^3 d\bar{y}}{\int_{\bar{b}_0 + \bar{b}_3}^1 \bar{u}_x d\bar{y}}. \quad (6)$$

В приведенных выше соотношениях u_x , b_3 – распределение продольной компоненты скорости и размер зоны эжекции, соответственно – находятся в процессе численного решения:

$$\bar{u}_x = \frac{u_x}{u_0}, \quad \bar{b}_3 = \frac{b_3}{H}, \quad \bar{H} = 1, \quad \bar{P}_c = \frac{P_c}{\gamma u_0^2 / 2}.$$

Течение в проточном канале (рис. 2).



Рис. 2. Схема струйного течения в проточном канале: отрезок АВ – подача струи в тупик; CD – отрезок, где воздух вытекает из тупика

Определим расходы воздуха на соответствующих отрезках для случая плоской струи в тупике:

- приток – отрезок АВ:

$$L_{AB} = u_0 b_0; \tag{7}$$

- удаление – отрезок CD:

$$L_{CD} = u_0 b_0 \int_0^1 \bar{u}_x d\bar{y}. \tag{8}$$

Вычислим далее значения давлений P_{cL}, P_{dL} на отрезках:

- отрезок АВ:

$$P_{cL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_0^{\bar{b}_0} \bar{P}_c d\bar{y}; \quad P_{dL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2}; \tag{9}$$

- отрезок CD:

$$P_{cL}^s = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_0^1 \bar{P}_c \bar{u}_x d\bar{y} / \int_0^1 \bar{u}_x d\bar{y}; \quad \bar{P}_{dL}^s = \frac{\gamma u_0^2}{2} \times \frac{\int_0^1 \bar{u}_x^3 d\bar{y}}{\int_0^1 \bar{u}_x d\bar{y}}. \tag{10}$$

Течение при несоосном расположении приточного и вытяжного отверстий (рис. 3).

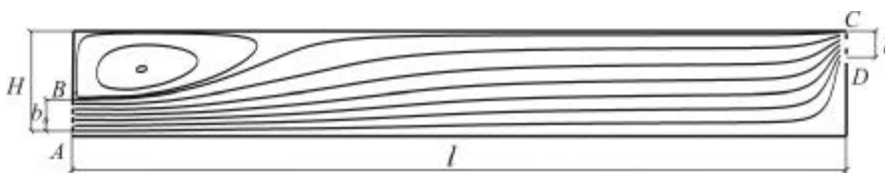


Рис. 3. Схема струйного течения в тупике с несоосным расположением приточного и вытяжного отверстий: отрезок АВ – подача струи в тупик; CD – отрезок, где воздух вытекает из тупика

Определим расходы воздуха и давления на отрезках:

- приток – отрезок АВ:

$$L_{AB} = u_0 b_0; \tag{11}$$

- удаление – отрезок CD:

$$L_{CD} = u_0 b. \tag{12}$$

Вычислим далее значения осредненного по расходам статического и динамического давлений на отрезках:

- отрезок АВ:

$$P_{cL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_0^{\bar{b}_0} \bar{P}_c d\bar{y}; \quad P_{dL}^{np} = \frac{\gamma u_0^2}{2}; \tag{13}$$

- отрезок CD:

$$P_{cL}^s = \frac{\gamma u_0^2}{2} \int_0^1 \bar{P}_c d\bar{y}; \quad \bar{P}_{dL}^s = \frac{\gamma u^2}{2}. \tag{14}$$

Осредненные по расходам значения полного давления на отрезках находятся суммированием.

На рис. 4 представлены результаты вычислений ζ по формуле (1) для плоского и осесимметричного тупика длиной $\bar{l}=14,82$ и $\bar{l}=4,82$, плоского проточного канала и тупика с несоосным расположением мест подачи и удаления воздуха в зависимости от параметра поперечного \bar{b}_0 и продольного стеснения \bar{l} .

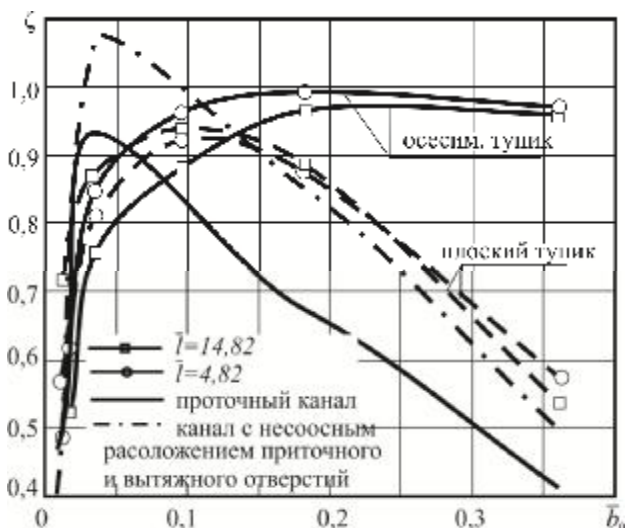


Рис. 4. Зависимость кмс от параметров стеснения

Во всех случаях плоского течения кмс быстро возрастает при увеличении \bar{b}_0 , достигая максимального значения при $\bar{b}_0 \gg 0,04, 0,1$, после чего ζ плавно уменьшается. Значение кмс для осесимметричного течения в тупике достигает максимального значения при $\bar{r}_0 > 0,18$ и далее от \bar{r}_0 зависит слабо. Параметр продольного стеснения не оказывает заметного влияния на величину кмс. Наименьшее значение величина кмс принимает при течении струи в проточном канале.

Пример. Определим противодавления в плоском и осесимметричном тупиковом и проточном канале и в канале при несоосном расположении приточного и вытяжного отверстий. Размеры канала: $H(R)=3,0$ м, $l=14,5$ м ($\bar{l}=14,5/3=4,83$). Воздуха через щель высотой $2b_0(r_0)=0,2$ м ($\bar{b}_0 = \bar{r}_0 = 0,1/3 = 0,067$) и подается со скоростью $u_0=10$ м/с.

По графику рис. 4 определим ζ и найдем противодавление:

$$\text{- плоский тупик} - \zeta = 0,89, DP = z \frac{r u_0^2}{2} = 0,89 \times \frac{1,2 \times 10^2}{2} = 53,4 \text{ Па.}$$

$$\text{- осесимметричный тупик} - \zeta = 0,93, DP = z \frac{r u_0^2}{2} = 0,93 \times \frac{1,2 \times 10^2}{2} = 55,8 \text{ Па.}$$

$$\text{- плоский проточный канал} - \zeta = 0,89, DP = z \frac{r u_0^2}{2} = 0,89 \times \frac{1,2 \times 10^2}{2} = 53,4 \text{ Па.}$$

$$\text{- плоский канал с несоосным расположением приточного и вытяжного отверстий} - \zeta = 1,05, DP = z \frac{r u_0^2}{2} = 1,05 \times \frac{1,2 \times 10^2}{2} = 63 \text{ Па.}$$

Как мы видим противодавление является существенно и оно должно учитываться при аэродинамических расчетах вентсистем. Наибольшее противодавление получается при течении струи в канале с несоосным расположением приточного и вытяжного отверстий. Для остальных случаев оно примерно одинаковое.

Список библиографических ссылок

1. Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Кареева Ю.Р. К расчету стесненной осесимметричной струи // Материалы VIII международной научной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – С. 479-482.
2. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Характеристики плоской турбулентной струи в тупиках разной длины // Материалы IX Международной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. – С. 272-276.
3. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Осесимметричная турбулентная струя в тупике // ИВУЗ. Строительство, 2011, № 3. – С. 64-70.
4. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Численное исследование плоской струи в тупиках разной длины при соосном расположении приточного и вытяжного отверстий // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 161-165.
5. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Характеристики турбулентной плоской струи в тупике при разном расположении приточного и вытяжного отверстий // ИВУЗ. Строительство, 2011, № 7. – С. 27-33.
6. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Численное исследование плоской струи, истекающей из щели конечного размера в тупик // Известия КГАСУ, 2012, № 2 (20). – С. 135-140.
7. Посохин В.Н., Сафиуллин Р.Г., Кареева Ю.Р. Численное исследование струйного течения в ограниченном пространстве // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева, 2012, № 2. – С. 30-34.
8. Посохин В.Н., Кареева Ю.Р. Плоская струя, истекающая из щели конечного размера в тупик // Материалы X Международной конференции «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. – С. 178-183.

Posohin V.N. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: posohin@kgasu.ru

Kareeva J.R. – candidate of technical sciences, assistant

E-mail: jkareeva2503@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

About pressure loss at jet flow in limited spaces

Resume

Based on previous results pressure loss and coefficients of local resistance for different schemes of inflow and outflow in ventilation spaces are defined. Jet flows in flat and cylindrical dead-end, flat flowing channel, channel with out-of-alignment inflow and outflow are considered. Values of overpressure depend on longitudinal and transversal constrained parameters. It can be essential and it has to be considered at aerodynamic calculation of ventilation systems. Calculation is carried out numerically with the help of program complex Fluent. To close the system of equations of turbulent motion «standard» $k - \epsilon$ model is accepted (k – kinetic energy of turbulent fluctuations, ϵ – dissipation rate). In the simulation, the wall boundary layers used advanced modeling parietal (Enhanced Wall Treatment).

The results show that increasing the value of the cross constrained leads to a drastic change in the value of the local resistance coefficient. Parameter longitudinal constrained on the contrary has no appreciable effect on the value of coefficient of local resistance. The smallest value of the value of coefficient of local resistance takes for the flow of the jet in the flowing channel, the largest – in the flow of the jet in the channel with the out-of-alignment inflow and outflow.

Keywords: constrained jets, constrained parameters, pressure loss, coefficient of local resistance, numerical method.

Reference list

1. Posohin V.N., Ziganshin A.M., Kareeva J.R. To calculation of axisymmetric constrained jet // Materials of the VIII international scientific conference «Quality of indoor air and environment». – Volgograd: VolgGASU, 2010. – P. 479-482.
2. Posohin V.N., Kareeva J.R. Characteristics of flat turbulent jet in dead-ends with different length // Materials of the IX international scientific conference «Quality of indoor air and environment». – Volgograd: VolgGASU, 2011. – P. 272-276.
3. Posohin V.N., Kareeva J.R. Axisymmetric turbulent jet in the dead-end // IVUZ. Stroitelstvo, 2011, № 3. – P. 64-70.
4. Posohin V.N., Kareeva J.R. Numerical research of flat jet in dead-ends with different length at coaxial location of inflow and outflow // Izvestiya KGASU, 2011, № 2 (16). – P. 161-165.
5. Posohin V.N., Kareeva J.R. Characteristics of flat turbulent jet in dead-ends at different places of inflow and outflow // IVUZ. Stroitelstvo, 2011, № 7. – P. 27-33.
6. Posohin V.N., Kareeva J.R. Numerical research of flat jet, flowing from the slit with finite size to the dead-end // Izvestiya KGASU, 2012, № 2 (20). – P. 135-140.
7. Posohin V.N., Safiullin R.G., Kareeva J.R. Numerical research of jet flow in the constrained volume // Vestnik KGTU im. A.N. Tupoleva, 2012, № 2. – P. 30-34.
8. Posohin V.N., Kareeva J.R. Flat jet, flowing from the slit with finite size to the dead-end // Materials of the X international scientific conference «Quality of indoor air and environment». – Volgograd: VolgGASU, 2012. – P. 178-183.