

УДК 697.922.563+532.525.2

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

E-mail: [amziganshin@kgasu.ru](mailto:amziganshin@kgasu.ru)

**Гимадиева Г.А.** – студент

E-mail: [guzelya30@yandex.ru](mailto:guzelya30@yandex.ru)

**Батрова К.Э.** – студент

E-mail: [kbatrova96@mail.ru](mailto:kbatrova96@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **Потери давления и характеристики струи, выходящей через среднее боковое отверстие**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* В работе приведены результаты численного исследования течения в канале с боковым отверстием, а также струи истекающей из такого отверстия. Несмотря на то, что такая ситуация часто встречается при конструировании воздуховодов систем вентиляции и кондиционирования, данные о потерях давления в таком отверстии и в канале при проходе мимо него весьма скудны. Также не достаточно изучен вопрос о распространении такой струи.

*Результаты.* С использованием вычислительного комплекса *Fluent* получены закономерности изменения коэффициента местного сопротивления при выходе из среднего отверстия, а также при проходе мимо него от соотношения расходов воздуха. Найдены длины зон влияния вверх и вниз по потоку в канале. Определены все основные характеристики изотермической струи – кинематический коэффициент отверстия, угол наклона оси струи и аналитическое описание профиля продольной скорости в ее поперечных сечениях.

*Выводы.* Использование полученных закономерностей позволяет уточнить существующие методики расчета воздухораспределения, а также аэродинамического расчета систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

**Ключевые слова:** численное моделирование, среднее боковое отверстие, коэффициент местного сопротивления, угол истечения струи, профиль скорости, кинематический коэффициент отверстия, зона влияния.

Исследованию течений в каналах с отверстиями, а также закономерностей струй, выходящих из отверстий, посвящено много работ – справочники, использующиеся в проектировании в нашей стране [1, 2] и за рубежом<sup>1</sup>, научные монографии [3, 4], статьи [5]. Чаще всего они посвящены исследованию отверстий, расположенных в торце канала. Например в [2] представлены в основном экспериментальные данные о коэффициенте местного сопротивления (КМС) такого отверстия, а в работе [5] методом цифровой лазерной визуализации (*PIV, Particle Image Velocimetry*) определены профили скоростей, изменение осевой скорости в струе, истекающей из торца канала, показано хорошее согласование результатов с известными данными.

Лишь в немногих работах, например, в [4], авторы рассматривают вариант расположения выходного отверстия на боковой стенке канала, что очень распространено при организации воздухораспределения в помещениях. Здесь экспериментально определены КМС при проходе воздуха мимо среднего отверстия и при выходе струи через него. В [6] также экспериментально определяются характеристики течения при выходе струи через отверстия из канала со свободной поверхностью. Кроме экспериментальных, имеются работы, посвященные численным исследованиям различных струйных течений [7], где приведены характеристики прямой и слабо закрученной струй, истекающих из торцевого отверстия, а также работы, посвященные воздухораспределению в помещениях в целом (например, [8]). В более ранней работе авторов [9] численно исследуется истечение из бокового отверстия с разделением общего потока на две струйки – проходящую мимо

<sup>1</sup>Ashrae Handbook – Fundamentals (SI edition). 2005.

среднего отверстия и выходящую из него. Результаты численных расчетов по определению КМС приведены в виде доли энергии (полного давления), теряемой каждой из рассматриваемых струек, к энергии (динамическому давлению) соответствующей струйки. Такая запись более понятна физически, однако для удобства использования в проектировании КМС обычно представляются в виде отношения теряемого полного давления на участке, содержащем возмущающий элемент (ВЭ), к динамическому давлению общего потока без разделения на струйки. Кроме того важным является вопрос о длинах зон влияния (ЗВ) – расстояниях вверх и вниз по потоку от ВЭ, на котором из-за присутствия фасонной детали происходит возмущение потока воздуха.

Работа является продолжением исследований представленных в статье [9]. Кроме определения КМС, находятся характеристики истекающих из таких отверстий струй – угол наклона оси струи, кинематический коэффициент отверстия, профили продольной скорости в поперечных сечениях струи; определяются зоны влияния ВЭ.

Задача решается численно в двумерной постановке при помощи вычислительного комплекса *Fluent*. Геометрия расчетной области приведена на рис. 1а, там же показаны характерные профили продольной скорости и линии тока в струе при отношении расхода воздуха, выходящего из бокового отверстия  $G_{отв}$ , к суммарному расходу в канале  $G_{вх}$ ,  $G_{отв}/G_{вх} = 0,896$ . Размеры расчетной области  $2 \times 4$  м, ширина канала  $H = 0,1$  м, размер бокового отверстия  $h = 0,032$  м ( $\bar{h} = h/H = 0,32$ ). Граничные условия: *ABCDE* свободные проницаемые границы с избыточным давлением равным нулю; *AF*, *EI* и *GK* – твердые стенки. Входная граница – *AG*:  $G_{вх} = 1$  кг/с·м ( $Re = 8,2 \cdot 10^4$ ). Граница *IK* – выход потока из канала, который моделируется при помощи граничного условия с постоянным избыточным давлением. Изменением избыточного давления на границе *IK* создается необходимое соотношение расходов воздуха  $G_{отв}/G_{вх}$  в интервале от 0,1 до 0,9. На рис. 1б показано распределение безразмерного статического давления  $\bar{p}_c = 2 \cdot p / \rho \cdot u_{омв}^2$  ( $\rho = 1,225$  кг/м<sup>3</sup>); безразмерный компонент скорости в выходном отверстии  $\bar{u}_x = u_x / u_{отв}$  и  $\bar{u}_y = u_y / u_{отв}$  (здесь  $u_{омв} = G_{отв} / \rho \cdot h$  – среднерасходная скорость на истечении из отверстия).

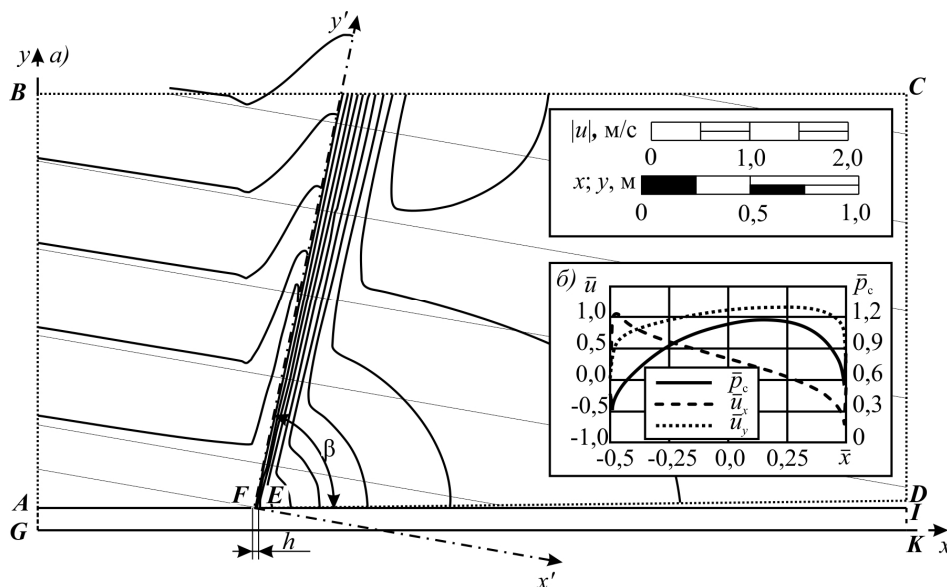


Рис. 1. Течение из среднего бокового отверстия:  
а) геометрия расчетной области и профили скорости  
в поперечных сечениях струи при  $G_{отв}/G_{вх} = 0,896$ ;  
б) распределение давления и компонент скорости в отверстии

Для замыкания системы уравнений движения жидкости используется «стандартная»  $k$ - $\epsilon$  модель турбулентности, как наиболее подходящая при моделировании течения в канале и свободных струй [10]. Кроме модели турбулентности, необходимо выбрать наиболее подходящую пристеночную модель – «стандартные» пристеночные функции (*Standard Wall Functions* – *SWF*) или расширенное пристеночное моделирование

(*Enhanced Wall Treatments – EWT*). Одновременно производится и устранение «сеточной зависимости» путем адаптации расчетной сетки, то есть ее последовательное измельчение для предотвращения влияния размеров ячеек сетки на решение. Первые этапы измельчения сетки проводятся во всей расчетной области, а затем в пристеночных слоях и исследуемом боковом отверстии. В качестве параметра, характеризующего качество расчетной сетки в пристеночном слое, используются безразмерные расстояния  $y^*$  и  $y^+$  (для *SWF* и *EWT*, соответственно) [11]. В качестве контрольного параметра выбраны коэффициенты местного сопротивления (КМС) при истечении воздуха через боковое отверстие  $\zeta_{\text{отв}}$  и при проходе по каналу мимо отверстия  $\zeta_{\text{пр}}$ , которые определялись по, полученному из численного решения, распределению полного давления по длине канала с использованием соотношений:

$$\zeta_{\text{отв}} = \frac{P_{\text{вх}}^{\text{п}} - R_{\text{вх}} \cdot l_{\text{вх}}}{P_{\text{вх}}^{\text{л}}}; \quad (1)$$

$$\zeta_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{вх}}^{\text{п}} - P_{\text{вых}}^{\text{п}} - R_{\text{вх}} \cdot l_{\text{вх}} - R_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}}}{P_{\text{вх}}^{\text{л}}}, \quad (2)$$

здесь  $P_{\text{вх}}^{\text{п}}$  и  $P_{\text{вых}}^{\text{п}}$  – полные давления на входе в канал (граница *AG*) и на выходе из него (граница *IK*), Па;  $R_{\text{вх}}$  и  $R_{\text{пр}}$  – удельные потери давления на трение в канале до (на участке длиной  $l_{\text{вх}}$ ) и после ( $l_{\text{пр}}$ ) отверстия соответственно, Па/м;  $P_{\text{вх}}^{\text{л}} = \rho \cdot u_{\text{вх}}^2 / 2$  – динамическое давление потока на входе в канал, Па;  $u_{\text{вх}} = G_{\text{вх}} / \rho \cdot H$  – среднерасходная скорость воздуха на входе в канал, м/с.

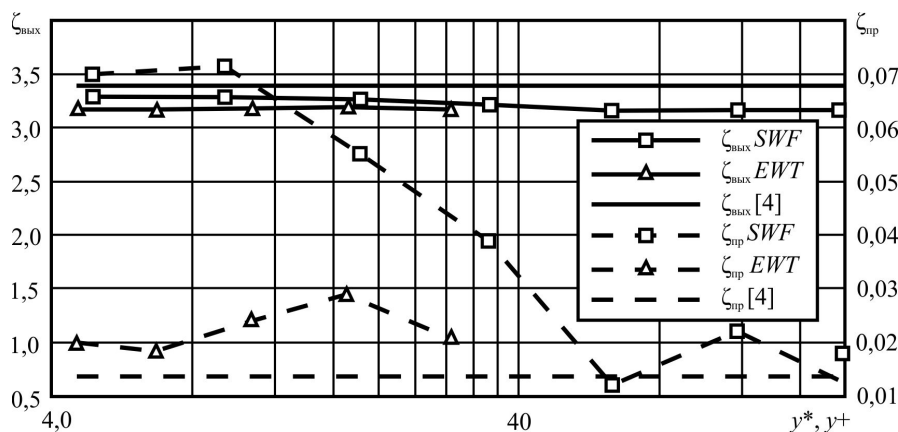


Рис. 2. Изменение  $\zeta_{\text{отв}}$  и  $\zeta_{\text{пр}}$  при измельчении сетки ( $y^*$  и  $y^+$ ) и при использовании разных способов пристеночного моделирования (*SWF* и *EWT*) для  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} = 0,263$

На рис. 2 показано изменение  $\zeta_{\text{отв}}$  и  $\zeta_{\text{пр}}$  в зависимости от параметров  $y^*$  и  $y^+$ . Здесь же нанесены результаты эксперимента [4]. Видно, что на значение сопротивления, при истечении из бокового отверстия  $\zeta_{\text{отв}}$ , используемая пристеночная модель и размер пристеночных ячеек расчетной сетки особого влияния не оказывают – отличие между численными и экспериментальными значениями не превышает 6,5 %. Значение КМС на проход мимо среднего отверстия  $\zeta_{\text{пр}}$  при использовании «стандартных» пристеночных функций (*SWF*) существенно зависит от размеров пристеночных ячеек, и дает результат, сравнимый с экспериментальными данными, при  $y^* > 60$ , тогда как при использовании расширенного пристеночного моделирования (*EWT*) воспроизводимые и удовлетворительно сравнимые с экспериментальными данными (отличие около 30 %) результаты получаются на всем исследованном диапазоне значений  $4 < y^+ < 30$ . Таким образом, эта модель позволяет использовать более мелкую сетку, что важно при моделировании истечения струи из небольшого отверстия.

Далее с использованием верифицированной выше компьютерной модели («стандартная» *k-ε* модель турбулентности в сочетании с расширенным пристеночным

моделированием (*EWT*) и расчетной сеткой с такими размерами ячеек, что  $y+\sim 4$ ) проводится численное определение зависимости  $\zeta_{\text{отв}}$  и  $\zeta_{\text{пр}}$  от отношения расхода воздуха, истекающего из отверстия  $G_{\text{отв}}$ , к общему расходу воздуха, проходящему по каналу  $G_{\text{вх}}$ . Результаты расчетов для  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} = 0,159; 0,263; 0,54; 0,652$  и  $0,896$  приведены на рис. 3. Для сравнения здесь также нанесены данные для бокового отверстия размером  $\bar{h}=0,32$  по результатам экспериментальных исследований [4] и из справочника, которым обычно пользуются при проектировании систем вентиляции [2].

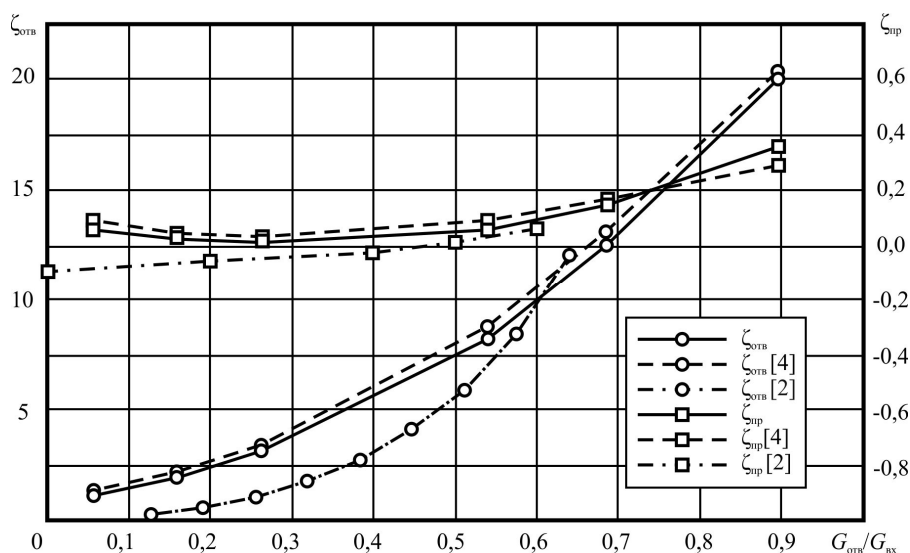


Рис. 3. Сравнение зависимости  $\zeta_{\text{отв}}$  и  $\zeta_{\text{пр}}$  от  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$ , найденной численно, с данными В.Н. Талиева [4] и справочника проектировщика [2]

Видно хорошее совпадение результатов численного исследования с подробным экспериментом В.Н. Талиева, что говорит об адекватности используемой компьютерной модели и возможности ее использования для дальнейших исследований, в том числе параметров истекающей из отверстия струи. Имеется также удовлетворительное сходство с данными из справочника проектировщика, но здесь нужно отметить, что данные [2] представлены в виде отношения скоростей, и при пересчете отношений расходов на исследованный размер отверстия ограничены диапазоном  $0,1 < G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} < 0,6$ .

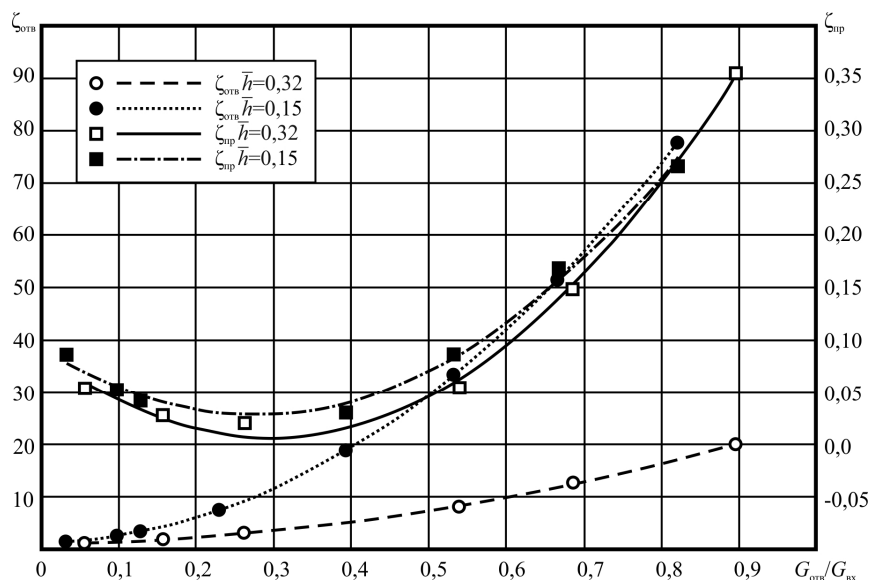


Рис. 4. Зависимости  $\zeta_{\text{отв}}$  и  $\zeta_{\text{пр}}$  от  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$  для  $\bar{h}=0,15; 0,32$

На рис. 4 представлены результаты данного исследования и пересчет результатов работы [9] по формулам (1)-(2) для отверстия размером  $\bar{h}=0,15$ , а также их аппроксимация для удобства использования. Точками представлены результаты расчетов, а линиями – аппроксимации, для отверстия  $\bar{h}=0,15$  по формулам:

$$\zeta_{\text{пр}}=0,8274 \cdot (G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}})^2 - 0,4585 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 0,0918,$$

$$\zeta_{\text{отв}}=113,1 \cdot (G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}})^2 - 0,5482 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 1,4631,$$

и для отверстия  $\bar{h}=0,32$  – по формулам:

$$\zeta_{\text{пр}}=0,963 \cdot (G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}})^2 - 0,5734 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 0,0914,$$

$$\zeta_{\text{отв}}=21,574 \cdot (G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}})^2 + 1,7413 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 1,0979.$$

При проектировании важен и корректный учет взаимного влияния фасонных деталей как возмущающих элементов (ВЭ) сети. В частности, это касается вопроса определения КМС фасонных деталей, расположенных друг за другом. Очевидно, что каждый ВЭ имеет «зону влияния» (ЗВ) некоторого размера, за пределами которой их взаимное влияние не существенно, и КМС нескольких ВЭ может вычисляться сложением КМС каждого из них. Знание размеров ЗВ важно и при выборе мест размещения измерительной аппаратуры. Однако информация о длинах ЗВ довольно скудна.

К примеру, в ГОСТ 12.3.018-79 ССБТ<sup>2</sup>, регламентирующем методы аэродинамических испытаний вентиляционных систем, места размещения мерных сечений указываются весьма приблизительно: на расстоянии не менее двух калибров перед местом возмущения потока и не менее шести калибров за ним.

В [1] приведены коэффициенты для учета взаимовлияния на КМС для некоторых фасонных деталей при различных сочетаниях, взаимной ориентации и относительном расстоянии между ними. В то же время результаты численного моделирования позволяют подробнее изучить течение, в том числе и на наличие возмущения потока перед фасонной деталью и после нее. При этом наиболее корректно оно определяется по распределению полного давления по длине канала с ВЭ [12, 13].

На рис. 5 приведена, найденная по результатам обработки численных расчетов, графическая зависимость размеров ЗВ до среднего бокового отверстия ( $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{Д}} = l_{3\text{В}}^{\text{Д}}/h$ ) и после него ( $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{П}} = l_{3\text{В}}^{\text{П}}/h$ ) от отношения расходов  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$ .

Можно видеть, что  $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{П}}$  примерно в 3 раза больше чем  $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{Д}}$ . Кроме того, обе длины увеличиваются при увеличении  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$ , что можно объяснить увеличением возмущения, вносимого потоком, вытекающим из отверстия. Зависимости практически линейны и могут быть аппроксимированы (с погрешностью не более 18 %) следующими формулами:

$$\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{Д}} = 0,951 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 0,3339 \text{ и } \bar{l}_{3\text{В}}^{\text{П}} = 3,309 \cdot G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}} + 0,4217.$$

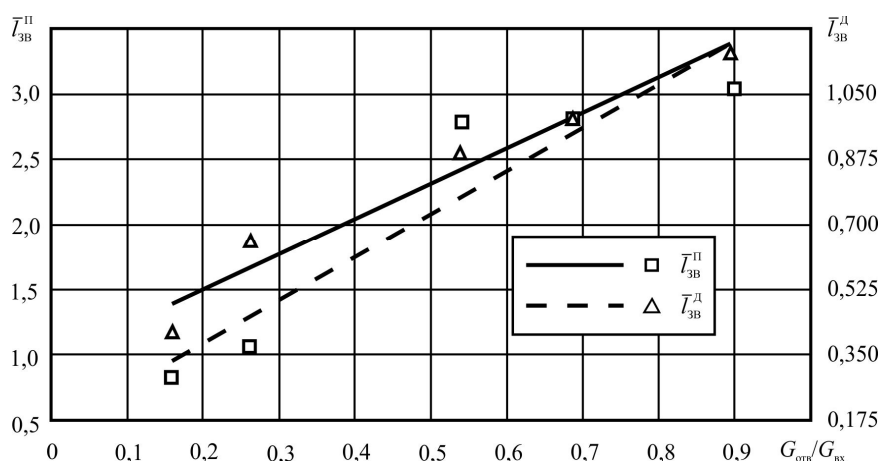


Рис. 5. Зависимость  $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{Д}}$  и  $\bar{l}_{3\text{В}}^{\text{П}}$  от отношения расходов  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$

<sup>2</sup>ГОСТ 12.3.018-79 ССБТ. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний. Постановление Госстандарта СССР от 05.09.1979.

Кроме течения в канале, были исследованы и характеристики струи истекающей из среднего бокового отверстия. Ось струи на начальном участке ( $y' < 0,9$ ) несколько искривлена, а далее на основном участке практически прямолинейна. Зависимость угла ее наклона от  $G_{отв}/G_{вх}$  на основном участке приведена на рис. 6. Там же нанесены значения углов наклона струи, определенные численно для отверстия  $\bar{h}=0,15$  в [9], и по результатам эксперимента [4]. Наблюдается согласие результатов численных и экспериментальных исследований.

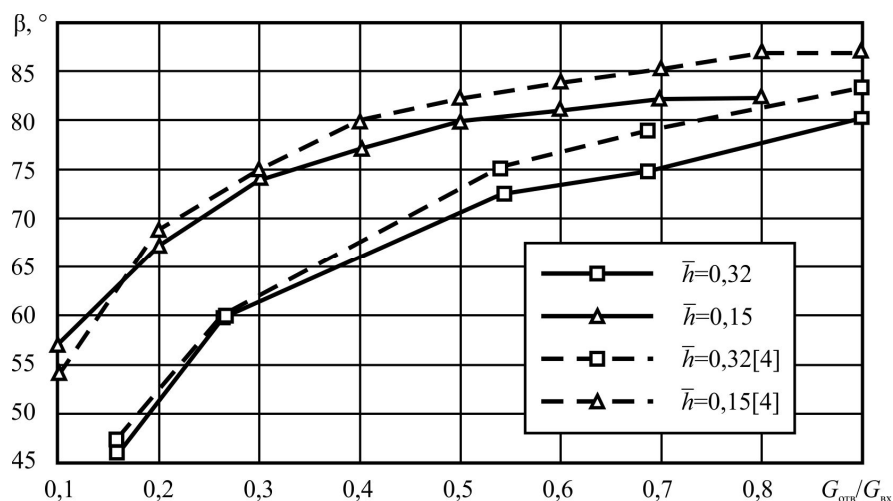


Рис. 6. Зависимость угла наклона оси струи от соотношения расходов  $G_{отв}/G_{вх}$

На рис. 7 приведены профили относительной продольной скорости  $u_y/u_{oc}$  для  $G_{отв}/G_{вх} = 0,236$ , где  $u_{oc}$  – значение продольной скорости на оси в данном поперечном сечении струи,  $y'$  – координата, направленная вдоль оси струи, а  $x'$  – поперек (рис. 1) для разных поперечных сечений в струе.

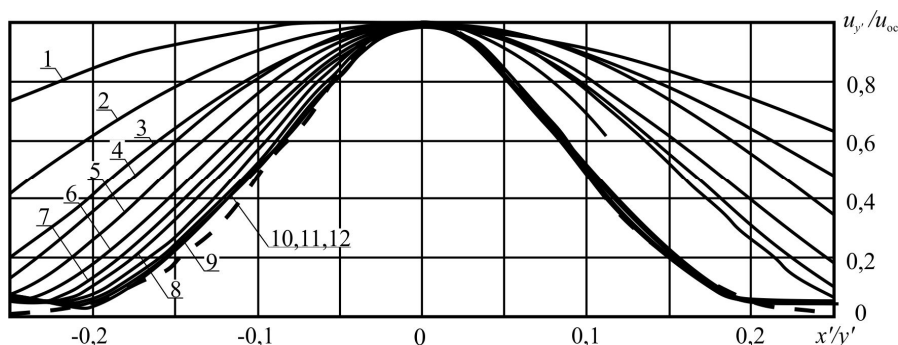


Рис. 7. Профили относительной скорости в поперечных сечениях струи при  $G_{отв}/G_{вх}=0,263$ :

1 –  $\bar{y}'=y'/h=3$ ; 2 –  $\bar{y}'=6$ ; 3 –  $\bar{y}'=9$ ; 4 –  $\bar{y}'=12$ ; 5 –  $\bar{y}'=16$ ; 6 –  $\bar{y}'=19$ ;  
7 –  $\bar{y}'=25$ ; 8 –  $\bar{y}'=31$ ; 9 –  $\bar{y}'=44$ ; 10 –  $\bar{y}'=47$ ; 11 –  $\bar{y}'=56$ ; 12 –  $\bar{y}'=59$

Здесь же (штриховой линией) показан экспоненциальный профиль  $u_y/u_{oc} = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x'}{c \cdot y'}\right)^2}$  при значении экспериментальной константы  $c = 0,082$ , характерной для свободных турбулентных струй, истекающих из торцевых отверстий. Можно заметить некоторую несимметричность профилей, а также отсутствие подобия на участке  $\bar{y}' < 40$ , хотя профили достаточно хорошо описываются экспоненциальной зависимостью. Далее относительные профили становятся подобными.

На рис. 8 показан график изменения коэффициента  $c$  по длине струи. Его значение непостоянно по длине и изменяется в основном участке ( $25 < y'/h < 60$ ) в пределах  $0,115 < c < 0,087$ . Там же показано изменение относительной осевой скорости  $\bar{u}_{oc}=u_{oc}/u_0$  и

коэффициента  $m$ , характеризующего кинематические свойства струи, истекающей из отверстия, и зависящего от условий выхода и определяется по формуле:

$$m = \bar{u}_{oc} \sqrt{\frac{y'}{h}}, \quad (3)$$

где  $u_0 = G_{отв}/\rho \cdot h$  – среднерасходная скорость на истечении при данном соотношении расходов;  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха.

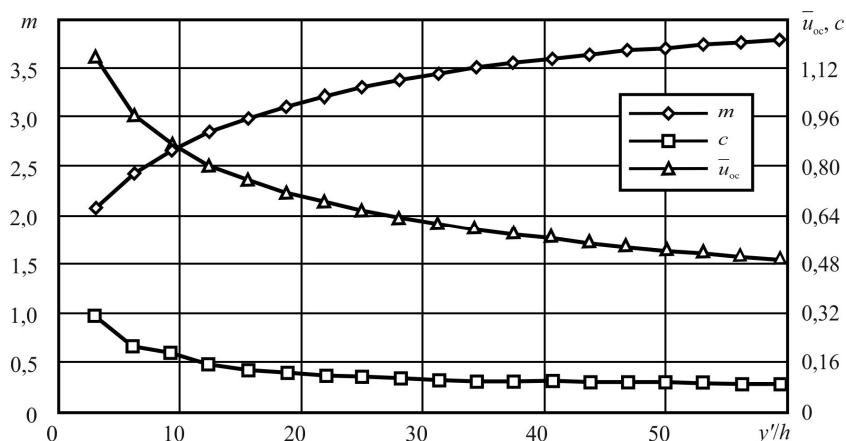


Рис. 8. Изменение безразмерной осевой скорости и коэффициентов  $m$  и  $c$  по длине струи при  $G_{отв}/G_{вх} = 0,263$

Среднее значение коэффициента  $m = 3,58$  (отклонение от среднего не более 5 %) было определено по основному участку, на котором его значения практически постоянны. Значение коэффициента  $m = 2,5$ , приведенное в [2] для прямоугольного щелевого отверстия при ненастилающей струе, свидетельствует, что характеристики струи, истекающей из бокового отверстия, существенно различаются между собой.

На графике рис. 9 приведены результаты аналогичных вычислений, которые были проведены и для других соотношений расходов  $G_{отв}/G_{вх}$ . Видно, что коэффициент  $c$  не зависит от отношения расходов и имеет практически постоянное значение 0,095, а изменение кинематического коэффициента приточного насадка от отношения расходов можно описать линейной зависимостью:

$$m = -1,0425 \cdot G_{отв}/G_{вх} + 3,7769.$$

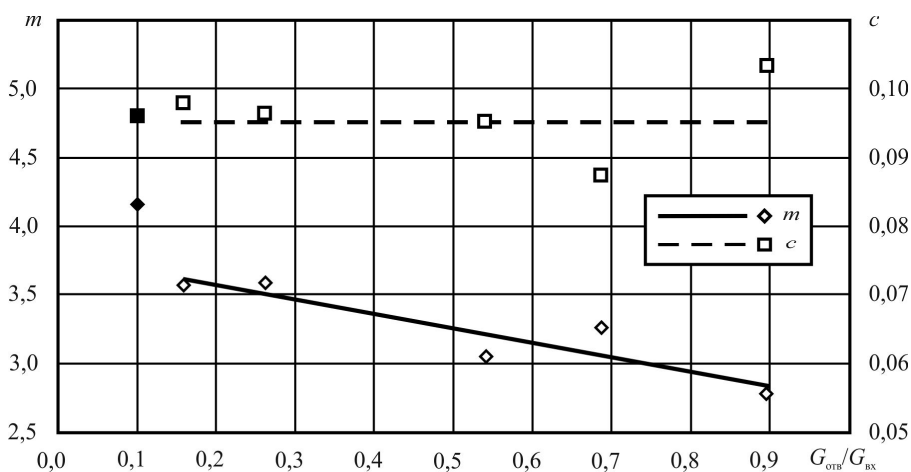


Рис. 9. Зависимость коэффициентов  $m$  и  $c$  от соотношения расходов

Здесь точками с зачернением показаны значения коэффициентов  $c$  и  $m$  для отверстия  $\bar{h} = 0,15$  [9].

### Заключение

Численно исследована компьютерная модель канала со средним боковым отверстием, которая хорошо описывает как течение внутри канала, так и истекающую в окружающее пространство струю. Полученные закономерности изменения сопротивления истечению из такого отверстия и течению мимо него по каналу хорошо согласуются с известными экспериментальными данными и предыдущими численными расчетами. Получены новые закономерности зон влияния возмущающего элемента в виде среднего бокового отверстия от отношения расходов  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$ , которые могут использоваться при проектировании систем вентиляции.

Постоянство коэффициента  $c$ , характеризующего профили продольной скорости в поперечных сечениях струи, говорит об их подобии, что характерно для турбулентных струй, а его несколько большее значение показывает, что такая струя чуть шире струи, истекающей из торцевого отверстия. Большее значение кинематического коэффициента  $m$  говорит о более медленном затухании такой струи, а его зависимость от  $G_{\text{отв}}/G_{\text{вх}}$  хорошо описывается линейным уравнением.

### Список библиографических ссылок

1. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
2. Баркалов Б. В., Павлов Н. Н., Амирджанов С. С. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2. М.: Стройиздат, 1992. 416 с.
3. Bradshaw P., Woods W. A. An Introduction to Turbulence and Its Measurement: Thermodynamics and Fluid Mechanics Series. 2<sup>nd</sup> ed. : Pergamon, 2013. 211 p.
4. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1954. 288 с.
5. Gori F., Petracci I., Angelino M. Flow evolution of a turbulent submerged two-dimensional rectangular free jet of air. Average Particle Image Velocimetry (PIV) visualizations and measurements // Int. J. Heat Fluid Flow. Elsevier Inc., 2013. Vol. 44. P. 764–775.
6. Hussain A., Ahmad Z., Asawa G.. Flow Through Side Square Orifices in Open Channels // ISH J. Hydraul. Eng. 2011. Vol. 17. P. 37–41.
7. Miltner M., Jordan C., Harasek M. CFD simulation of straight and slightly swirling turbulent free jets using different RANS-turbulence models // Appl. Therm. Eng. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 89. P. 1117–1126.
8. Chen H. et al. Numerical investigation of ventilation performance of different air supply devices in an office environment // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 90. P. 37–50.
9. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Варсегова Е. В. К расчету потерь давления в местных сопротивлениях. Сообщение 3 // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 6. С. 58–65.
10. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Варсегова Е. В. О численном определении характеристик приточного насадка // Известия КГАСУ. 2017. № 1 (39). С. 173–179.
11. Near-Wall Mesh Guidelines // Ansys Fluent 6.3 Documentation. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node518.htm#sec-guidelines-wf> (дата обращения: 12.07.2017).
12. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Мударисов Д. И. О протяженности зон влияния возмущающих элементов трубопроводных систем // Известия КГАСУ. 2014. № 2 (28). С. 121–126.
13. Посохин В. Н., Зиганшин А. М., Баталова А. В. К определению коэффициентов местных сопротивлений возмущающих элементов трубопроводных систем // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. № 9. С. 108–112.



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

E-mail: [amziganshin@kgasu.ru](mailto:amziganshin@kgasu.ru)

**Gimadieva G.A.** – student

E-mail: [guzelya30@yandex.ru](mailto:guzelya30@yandex.ru)

**Batrova K.E.** – student

E-mail: [kbatrova96@mail.ru](mailto:kbatrova96@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **The pressure losses and the characteristics of the jet flowing through the middle lateral outlet**

#### **Abstract**

**Problem statement.** The paper presents the results of a numerical study of the flow in a channel with a middle lateral supply outlet, and a jet flowing out of this orifice. Despite the fact that this situation is often encountered in the construction of ducts for ventilation and air conditioning systems, data on pressure losses in such orifice and in the channel when air passing it are very scarce. The question of distribution of such jet is also not sufficiently studied.

**Results.** With the use of the Fluent CFD software, the dependence of local resistance coefficient change at the exit from the lateral orifice, and when passing by it from the airflow ratio are obtained. The lengths of the upstream and downstream influence zones in the channel are found. All the main characteristics of an isothermal jet are determined: the kinematic coefficient of the supply outlet, the angle of inclination of the jet axis, and the analytical description of the longitudinal velocity profile in its cross sections.

**Conclusions.** The use of the obtained dependences allows to clarify the existing methods for calculating air distribution, as well as aerodynamic calculation of ventilation and air conditioning systems.

**Keywords:** numerical simulation, middle lateral supply outlet, local resistance coefficient, jet flow angle, velocity profile, kinematic coefficient of the supply outlet, impact zone.

#### **References**

1. Idelchik I. E. Handbook of hydraulic resistance. M. : Mashinostroenie, 1992. 672 p.
2. Barkalov B. V., Pavlov N. N., Amirjanov S. S. Internal sanitary equipment. Vol. 3. Ventilation and air conditioning. Book. 2. M. : Stroyizdat, 1992. 416 p.
3. Bradshaw, P., Woods W.A. An Introduction to Turbulence and Its Measurement: Thermodynamics and Fluid Mechanics Series. 2<sup>nd</sup> ed. : Pergamon, 2013. 211 p.
4. Taliev V. N. Aerodynamics of ventilation. M. : Stroyizdat, 1954. 288 p.
5. Gori F., Petracci I., Angelino M. Flow evolution of a turbulent submerged two-dimensional rectangular free jet of air. Average Particle Image Velocimetry (PIV) visualizations and measurements // Int. J. Heat Fluid Flow. Elsevier Inc., 2013. Vol. 44. P. 764–775.
6. Hussain A., Ahmad Z., Asawa G. Flow Through Side Square Orifices in Open Channels // ISH J. Hydraul. Eng. 2011. Vol. 17. P. 37–41.
7. Miltner M., Jordan C., Harasek M. CFD Simulation of straight and slightly swirling turbulent free jets using different RANS-turbulence models // Appl. Therm. Eng. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 89. P. 1117–1126.
8. Chen H. Numerical investigation of the ventilation performance of different air supply devices in an office environment // Build. Environ. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 90. P. 37–50.
9. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Varsegova E. V. To calculate the pressure loss in local resistances. Report 3 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2016. № 6. P. 58–65.
10. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Varsegova E. V. On the numerical definition of the characteristics of the inlet nozzle // Izvestiya KGASU. 2017. № 1 (39). P. 173–179.
11. Near-Wall Mesh Guidelines // Ansys Fluent 6.3 Documentation. URL: <https://www.sharcnet.ca/Software/Fluent6/html/ug/node518.htm#sec-guidelines-wf> (reference date: 12.07.2017).
12. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Mudarisov D. I. On the extent of zones of influence of disturbing elements of pipeline systems, Izvestiya KGASU. 2014. № 2 (28). P. 121–126.
13. Posokhin V. N., Ziganshin A. M., Batalova A. V. To the determination of coefficients of local resistances of perturbing elements of pipeline systems // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2012. № 9. P. 108–112.