



Влияние геометрии узла «вытяжное отверстие-колесо» на характеристики течения

Ю.Р. Кареева¹, А.М. Зиганшин¹, М.Б. Чухлова¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация: Проектирование общественных и административных зданий сложной архитектурной формы, приводит к тому, что конфигурации систем отопления, вентиляции и кондиционирования становятся более разветвленными, с большим количеством фасонных элементов, установленных в непосредственной близости друг к другу. При выполнении аэродинамического расчета таких систем коэффициенты местного сопротивления выбираются для одиночных элементов, что может привести к некорректным значениям потерь давления в системе. *Целью* исследования является выявление зависимости характеристик течения воздуха в вытяжном канале от геометрических параметров узла «вытяжное отверстие-колесо». Для достижения поставленной цели решаются *задачи*: численное исследование течения в вытяжном канале с узлом «вытяжное отверстие-колесо»; определение зависимостей вихревых зон, коэффициентов местного сопротивления от геометрического параметра узла; сравнение полученных результатов с известными данными. *Результаты* численного исследования показали, что расстояние между фасонными элементами в узле «вытяжное отверстие-отвод» оказывает значительное влияние на вихревые зоны и коэффициент местного сопротивления. Отмечено наличие двух характерных вариантов в рассматриваемой задаче: «короткие расстояния» ($l \leq 0,4$ м), где взаимное влияние фасонных элементов приводит к слиянию двух вихревых зон и «большие расстояния» ($l > 0,4$ м), когда размеры очертания вихревых зон и значения коэффициент местного сопротивления стремятся к постоянным значениям и можно считать, что два фасонных элемента в узле перестают влиять друг на друга. Кроме этого расстояние между элементами в узле влияет на характеристики течения у отверстия только в непосредственной близости к нему, на удалении - характер изменения максимальных скоростей подобен известным зависимостям. *Выводы:* Зависимости, определенные для коэффициент местного сопротивления позволят получить уточненные значения потерь давления в сети воздухопроводов, а инженерам-проектировщикам выбрать наиболее эффективные схемы трассировок систем вентиляции.

Ключевые слова: численное исследование, узел «вытяжное отверстие-колесо», КМС, вихревая зона, профилирование

Для цитирования: Кареева Ю.Р., Зиганшин А.М., Чухлова М.Б. Влияние геометрии узла «вытяжное отверстие-колесо» на характеристики течения // Известия КГАСУ, 2024, № 4(70), с. 254-264, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.22, EDN: RCSEFF

Influence of the geometry of the unit “exhaust hole-elbow” on the flow characteristics

Yu. R. Kareeva¹, A.M. Ziganshin¹, M.B. Chukhlova¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

Abstract: Design of public and administrative buildings of complex architectural shape leads to the fact that the configurations of heating, ventilation and air conditioning systems become more branched with a large number of shaped elements installed in close proximity to each other. When

performing aerodynamic calculations of such systems, local resistance coefficients are selected for single elements, which can lead to incorrect values of pressure losses in the system. The *purpose* of the study is to identify the dependence of the air flow characteristics in the exhaust duct on the geometric parameters of the “exhaust hole-elbow” unit. To achieve this goal, the following *tasks* are solved: numerical study of the flow in the exhaust duct with the “exhaust hole-elbow” unit; determination of the dependencies of vortex zones, local resistance coefficients on the geometric parameter of the unit; comparison of the obtained results with known data. The *results* of the numerical study showed that the distance between the shaped elements in the “exhaust hole-elbow” unit has a significant effect on the vortex zones and the local resistance coefficient. The presence of two characteristic variants in the considered problem is noted: “short distances” ($l \leq 0.4$ m), where the mutual influence of shaped elements leads to the merging of two vortex zones and “large distances” ($l > 0.4$ m), when the dimensions of the outline of the vortex zones and the values of the local resistance coefficient tend to constant values and it can be considered that two shaped elements in the node cease to influence each other. In addition, the distance between the elements in the node affects the flow characteristics at the hole only in the immediate vicinity to it, at a distance the nature of the change in maximum speeds is similar to the known dependencies. *Conclusions*: The dependencies determined for the local resistance coefficient will allow obtaining refined values of pressure losses in the air duct network, and design engineers will be able to choose the most effective routing schemes for ventilation systems.

Keywords: numerical research, unit “exhaust hole-elbow”, LRC, vortex zone, profiling

For citation: Kareeva Yu.R., Ziganshin A.M., Chukhlova M.B. Influence of the geometry of the unit “exhaust hole-elbow” on the flow characteristics // News of KSUAE, 2024, № 4(70), p. 254-264, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/70.22, EDN: RCSEFF

1. Введение

Для обеспечения комфортного существования человека в помещении должны быть оптимальные параметры микроклимата. Они соблюдаются благодаря инженерным системам, проектируемым в зданиях.

Однако, с каждым годом архитектурные планировки общественных и жилых зданий становятся более сложными, и с инженерной точки зрения более трудной для проектирования. Помимо капитальных затрат на строительство внутренние инженерные системы зданий требуют затрат на электроэнергию. Так, на работу систем вентиляции и кондиционирования уходит примерно 60% от общего количества электроэнергии. Большая часть этих затрат идет на работу оборудования, восполняющего потери давления в сложных и разветвленных сетях воздухопроводов [1]. Местные потери давления возникают из-за процессов деформации потока воздуха в фасонных элементах.

Большинство фасонных элементов систем вентиляции производятся с острыми кромками, в основном из-за простоты технологического процесса. Однако, вихревые зоны, возникающие при срыве потока на острых кромках элемента значительно сужают живое сечение воздуховода, следовательно на преодоление сопротивления расходуется большее количество энергии.

Большинство авторов как в России, так и за рубежом в своих работах приводят результаты исследований отдельных элементов системы вентиляции. Так, улучшенные тройники¹ [2], Z-образные отводы², приточные отводы уже рассматривались ранее авторами. Полученные зависимости и методы улучшений были применены в проектировании и показали свою эффективность на реальном объекте в г. Казань. При изучении тройников систем вентиляции было доказано, что при усовершенствовании

¹ Зиганшин А. М., Сафиуллина Г. Р., Еремина С. В., Гайфуллин А. А. Валидация компьютерной модели течения в вытяжном и приточном симметричных вентиляционных тройниках // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 58–70. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_58.

² Солодова Е. Э. Особенности численного моделирования течений в Z-образных отводах систем вентиляции и кондиционирования зданий и сооружений // Известия КГАСУ. 2021. № 1 (55). С. 71–84. DOI: 10.52409/20731523_2021_1_71.

элемента снижение сопротивления составило 19-26 %, в зависимости от размеров воздуховода [3]. Модификации, представленные другими авторами позволили снизить потери оптимизированного тройника с U-образным дефлектором, при угле направляющей пластины в 26° [4].

Исследования, посвященные изучению эффективности различных элементов систем вентиляции, позволяют выявить новые зависимости и уточнить требования расчетов. Были изучены колпаки, используемые в вытяжных шкафах промышленных зданий. Методы вычислительной гидродинамики позволили выявить зависимости различных факторов (скорости потока, геометрические параметры устройства, высота расположения) для проектирования системы вентиляции [5-7]. Так же были смоделированы процессы воздушных потоков, позволяющие определить наиболее эффективное расстояние до вытяжных отверстий в промышленных цехах с сильным тепловыделением [8].

В ранних исследованиях авторами изучен узел вентиляционной системы, состоящий из двух фасонных элементов – вытяжного отверстия и колена под углом 90 градусов. Показано, как элементы системы, влияя друг на друга создают вихревые зоны, изменяя общее сопротивление узла. Данный фактор никак не учитывается в современном проектировании, при выполнении аэродинамического расчёта воздухопроводов учитываются только значения сопротивлений отдельных элементов, без учета их влияния друг на друга. В справочной литературе приведены значения коэффициента местного сопротивления (КМС) только приточного узла [9].

Для изучения процессов формирования потоков авторами часто используются программные комплексы с методами вычислительной гидродинамики (ВГД, CFD). Они позволяют отследить динамику потока, распределения давлений, температур и скоростей, что крайне важно при исследовании течений [10-12]. Такие методы помогают более точно выявить критические участки, где потери давления особенно значительны, на что необходимо обратить внимание при проектных решениях.

Необходимость в продолжении исследований о течениях воздушных струй отмечается многими авторами. По уточненным данным получится проектировать системы вентиляции с применением оптимальных фасонных элементов, при установке которых потери давления в сети будут минимальны.

В прошлых работах была проведена верификация модели вентиляционной системы «вытяжное отверстие-колено»³. Установленные граничные условия, выбранная модель турбулентности – модель Рейнольдсовых напряжений (Reynolds Stress Model, RSM), расширенные пристеночные функции, позволяют создать численную модель, согласующуюся с известными данными из других исследований [13,14].

Целью исследования, представленного в работе является выявление зависимости КМС всего узла для различных конфигураций модели. Задачами исследования являются вывод КМС каждой отдельной модели, расчет численных данных и сравнение с известными данными.

Целью данного исследования является выявление зависимости характеристик течения воздуха в вытяжном канале от геометрических параметров узла «вытяжное отверстие-колено».

Для достижения поставленной цели решаются задачи:

- численное исследование течения в вытяжном канале с узлом «вытяжное отверстие-колено»;
- определение зависимостей вихревых зон, коэффициентов местных сопротивлений от геометрического параметра узла;
- сравнение полученных результатов с известными данными.

³ Кареева Ю.Р., Зиганшин А.М., Чухлова М.Б. Постановка задачи о течении в узле, состоящем из вытяжного отверстия и колена на 90° // Известия КГАСУ, 2023, № 4(66), с. 346-356, DOI: 10.52409/20731523_2023_4_346, EDN: XOQLXY

2. Материалы и методы

Численно проводятся исследования модели узла «вытяжное отверстие-колено», с разным расстоянием от всасывающего отверстия до поворота l (м) = 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7. Исходная, разработанная в препроцессоре, расчетная сетка затем последовательно измельчалась, с определением контрольного параметра, в качестве которого выступал КМС узла. Измельчение ячеек сетки прекращалось, когда значение КМС узла на двух последовательных сетках отличались не более чем на 0,5%, то есть достигалась сеточная независимость. На рисунке 1 представлена геометрия области с основными размерами: $H = 3$ м; $L = 2$ м; $b = 0,1$ м. На границе AB задано ГУ с равномерным профилем скорости $v_0 = 10$ м/с, на границах $NMKIJO$ – ГУ с избыточным давлением равным нулю, остальные границы – твердые непроницаемые стенки. Также на рисунке 1 показано характерное течение и возникающие вихревые зоны – $VZ1$ и 4 – при срыве потока с входной кромки вытяжного отверстия, $VZ3$ – во внешнем углу колена, и $VZ2$ – при срыве потока с внутреннего угла колена.

Ранее в работе созданная модель узла вытяжной вентиляционной системы прошла валидацию, определены более физичные для течения в вытяжном узле модель турбулентности Reynolds Stress Model (RSM) и моделирование течения в пограничном слое с использованием пристеночной функции – Standard Wall Function (SWF).

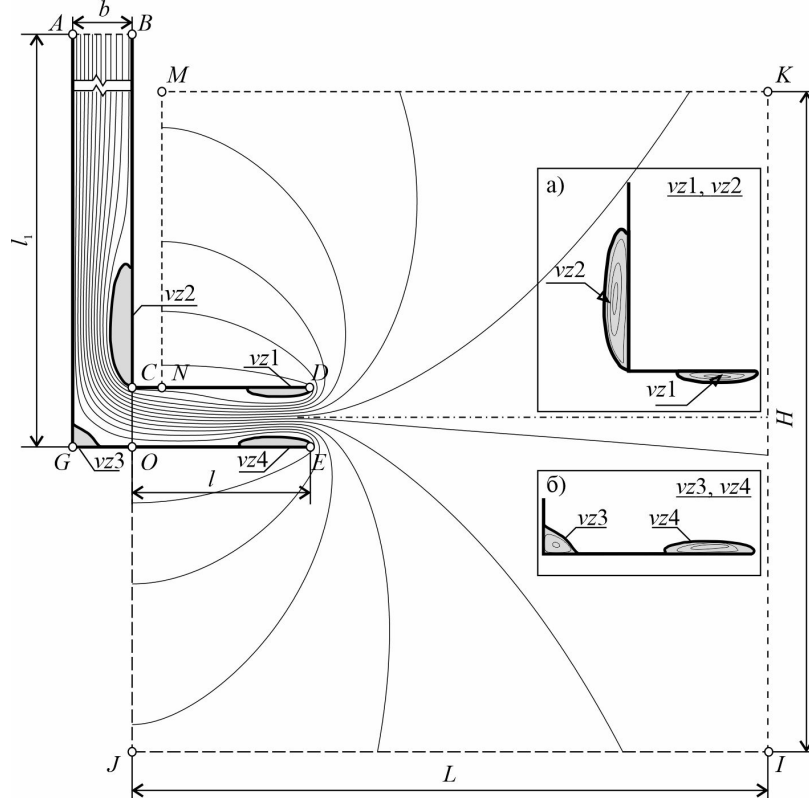


Рис. 1. Геометрия исследуемой задачи и характерные линии тока (иллюстрация авторов)
Fig. 1. Geometry of the problem under study and characteristic flow streamlines
(illustration by the authors)

Для определения КМС был использован следующий метод. В том случае, когда возмущающие элементы удалены друг от друга и не оказывают существенного влияния, КМС можно определять отдельно для каждого элемента, как это представлено в работе [13].

В том случае, когда рассматривается узел, и возмущающие элементы заметно влияют друг друга, КМС рассчитывается как сопротивление всего узла, для чего определяется разница давлений в двух сечениях. Первое сечение – перед узлом, в данном случае это входное сечение, и избыточное давление P_1 в нем равно 0. Второе сечение (№2), для определения величины P_2 выбирается в канале после узла, на достаточном удалении

от колена, где деформация потока после возмущающего элемента отсутствует, и профиль кинематических характеристик потока, в том числе полного давления симметричен. Кроме того, из перепада давлений вычитаются не только потери на трение в канале после узла (l_1 , см. рис. 1), до сечения №2, но и потери на трение в прямом участке канала между входным отверстием и коленом (l , см. рис. 1). При этом удельные потери давления на трение R (Па/м) на этом участке приняты равными потерям на участке линейного падения давления в канале после узла, определенными по результатам численного расчета. В итоге формула для определения КМС узла выглядит следующим образом:

$$\zeta_{уз} = \frac{P_1 - P_2 - (R \cdot l) - (R \cdot l_1)}{(\rho v_0^2 / 2)} \quad (1)$$

где $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха, принятая в модели.

3. Результаты и обсуждение

В результате исследования построены очертания вихревых зон и определены значения КМС в зависимости от расстояния между вытяжным отверстием и коленом.

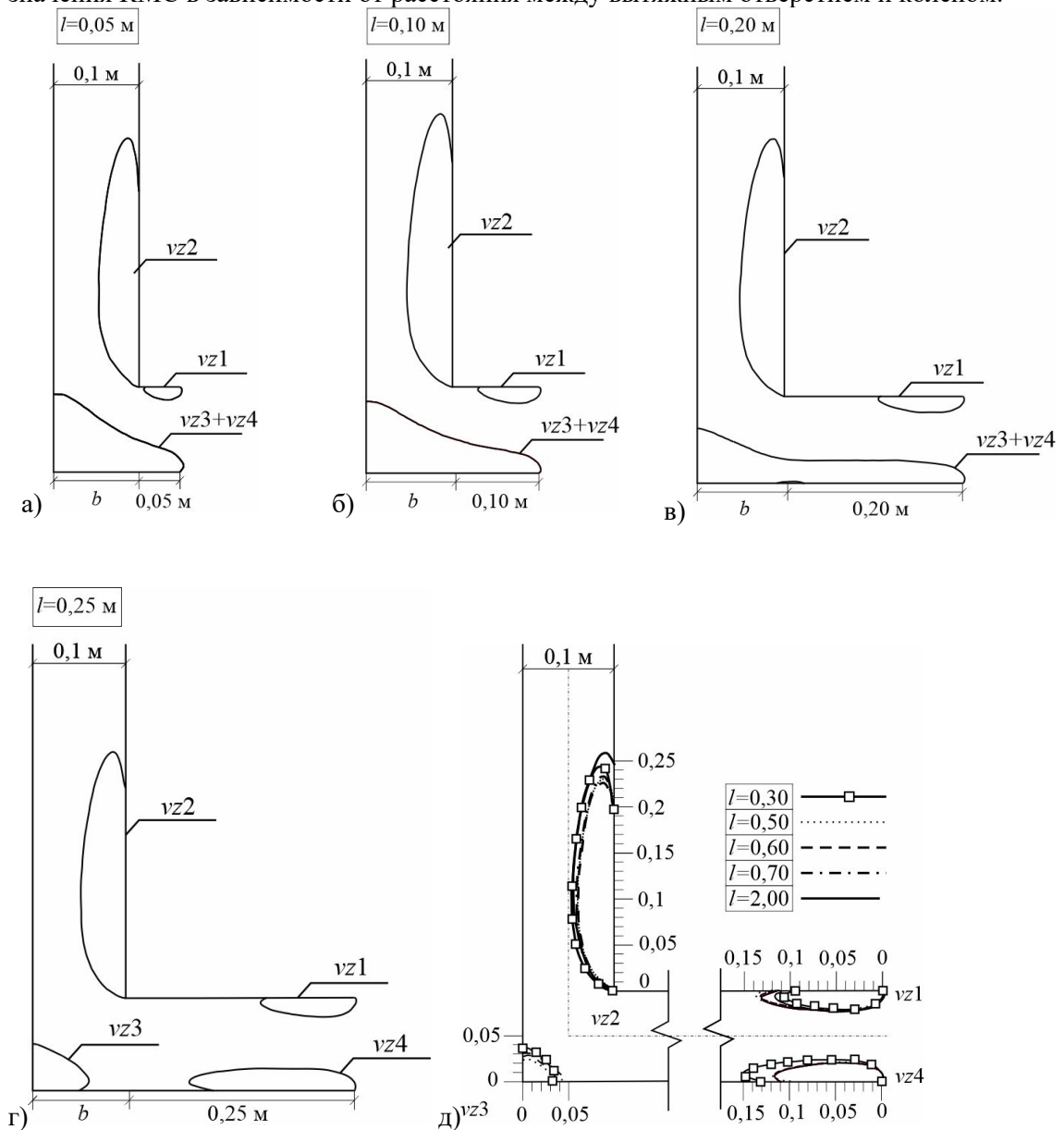


Рис. 2. Вихревые зоны для всех моделей задачи (иллюстрация авторов)
Fig. 2. Vortex zones for all problem models (illustration by the authors)

При анализе динамики изменения очертаний ВЗ в зависимости от расстояния l можно отметить наличие двух характерных вариантов – для больших расстояний ($l > 0,35\text{м}$) образуются 4 вихревые зоны: ВЗ1 и ВЗ4 – при срыве потока с верхней и нижней кромок всасывающего отверстия, ВЗ2 – при срыве потока с внутреннего угла колена и ВЗ3 – во внешнем углу колена. Для коротких расстояний ($l \leq 0,35\text{м}$) ВЗ3 и ВЗ4 сливаются в одну ВЗ. Объединенная ВЗ поджимает поток, при этом для каждого расстояния l ее размеры разные, что не позволяет выявить однозначную закономерность. На рис. 2 (а-г) представлены результаты определения очертаний ВЗ до разделения вихревых зон. Далее при увеличении расстояния в диапазоне $0,3 > l > 2\text{м}$ найденные ВЗ сведены на один график (рис. 2д).

При рассмотрении размеров и очертаний ВЗ ясно, что их нужно определять отдельно для двух характерных случаев – при наличии 4 и 3х ВЗ. При этом с точки дальнейшего использования найденных очертаний для разработки профилированных конструкций узлов, наиболее интересными являются очертания ВЗ1, ВЗ2 и ВЗ4, поскольку как показали исследования одиночных колен и их сочетаний, исключение вихревых зон, образующихся во внешних углах не приводит к существенному снижению КМС фасонной детали.

Далее на рис. 3 показана зависимость максимальных продольных (длина) и поперечных (ширина) размеров ВЗ 1 от расстояния, приведенная в величинах, отнесенных к ширине канала b . Видно, что при относительном расстоянии $l/b \geq 4$ длина вихревой зоны перестает изменяться, следовательно, можно считать что в этом случае два фасонных элемента перестают влиять на формирование ВЗ и их размер становится постоянным.

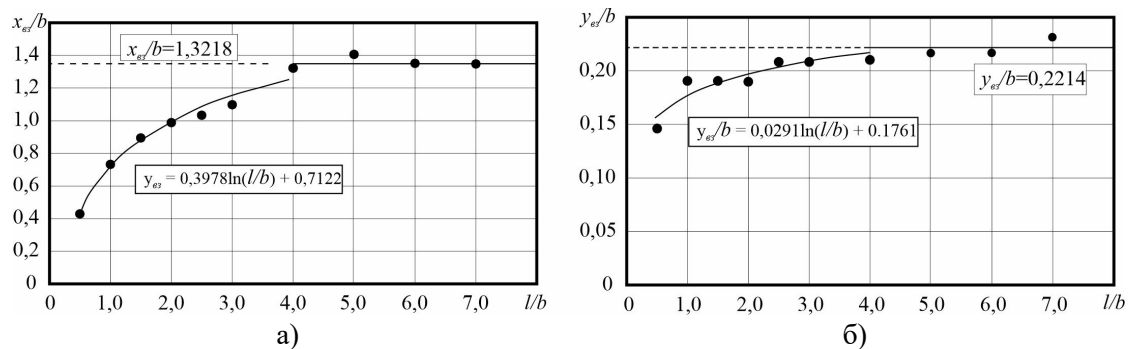


Рис 3. Изменение размеров вихревой зоны ВЗ 1: а) длины; б) ширины
(иллюстрация авторов)

Fig. 3. Change in the dimensions of the vortex zone VZ 1: a) length; b) width
(illustration by the authors)

Аналогично для очертаний ВЗ2 на рисунке 4 показана зависимость для длины и ширины.

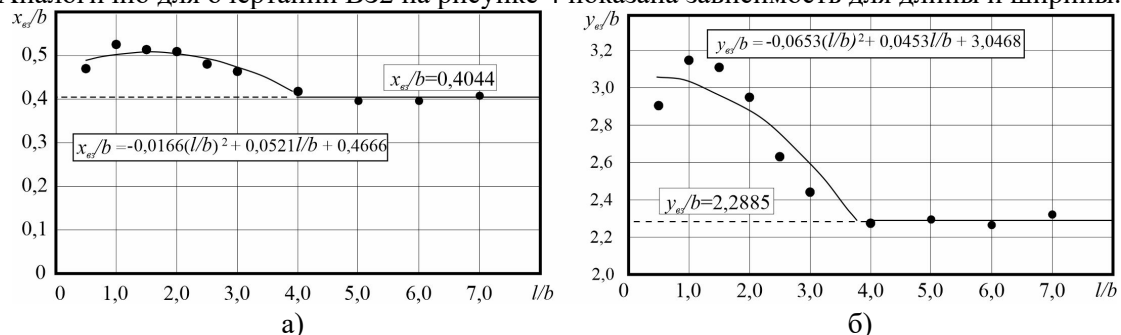


Рис 4. Изменение размеров вихревой зоны ВЗ 2: а) длины; б) ширины
(иллюстрация авторов)

Fig. 4. Change in the dimensions of the vortex zone VZ 2: a) length; b) width
(illustration by the authors)

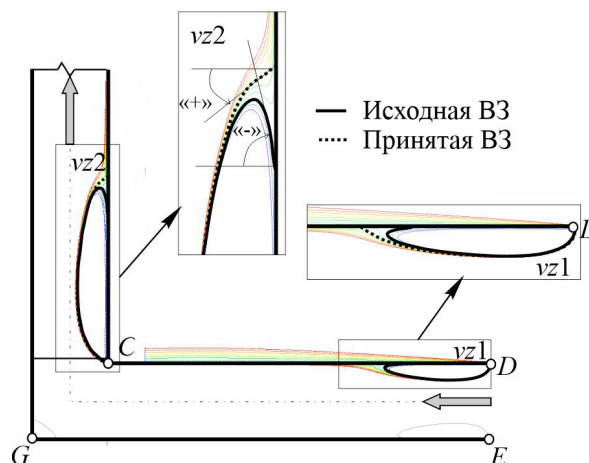


Рис 5. Технология определения рациональной формы очертания ВЗ (иллюстрация авторов)
 Fig. 5. Technology of determining the rational shape of the outline of the VZ
 (illustration by the authors)

Нужно отметить, что найденные очертания вихревых зон из-за особенностей моделирования пограничного слоя при помощи модели *EWT*, в точке их замыкания на стенке канала, имеют отрицательный угол касательной (рис. 5). Такая форма очертания ВЗ будет существенно осложнять технологию дальнейшего как численного исследования, так и производства профилированной конструкции фасонного элемента. По этой причине на рисунке 7 показана технология определения более рациональной формы очертания ВЗ, которая будет основываться на найденной численно, и модифицирована только в области замыкания профиля на стенке канала. Для этого на рисунке 5 показан ряд линий тока со значениями функции тока от 0,055 до 0,07 кг/с, причем крайняя линия тока, по которой определяется очертание соответствует значению функции тока 0,064 кг/с. Также видно (рис.5), что использование этой корректировки области замыкания профиля принципиально не влияет на ранее приведенные результаты для характерных размеров ВЗ – ширина остается той же, а длина увеличивается не более, чем на 6,3%.

По результатам численных исследований и найденным полям давлений, были, по формуле (1), определены значения КМС узла (рис. 6). Там же нанесены значения суммы КМС двух одиночных элементов, по известным справочным данным [9] и найденные численно ранее в работах [15,16].

Видно, что при отношении $l/b \geq 4$ значение КМС, определенное численно, стремится к данным, полученным как сумма КМС двух одиночных элементов. При $l/b < 4$ величина КМС узла существенно зависит от расстояния, и принимает значения больше, чем сумма КМС одиночных, причем при $l/b = 1,5$ взаимное влияние максимально и КМС узла более чем в 1,5 раза выше суммы КМС одиночных вытяжного отверстия и колена. значительно. Здесь нужно отметить также как и ранее наличие некоторого «критического» расстояния между элементами в этом узле $l/b = 4$, при значениях l/b более которого возможно использовать имеющиеся данные для одиночных фасонных элементов – вытяжное отверстие и колено, а при расстояниях меньших 4, их взаимное влияние необходимо учитывать.

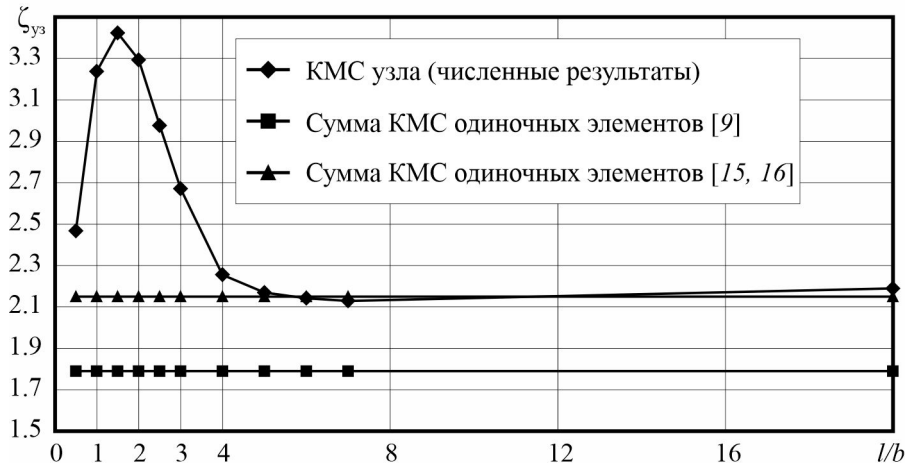


Рис 6. Зависимость коэффициента местного сопротивления от l/b (иллюстрация авторов)
Fig. 6. Dependence of the local resistance coefficient on l/b (illustration by the authors)

Для определения влияния близкого расположения колена за вытяжным отверстием на характеристики течения к вытяжному отверстию, по результатам численных расчетов, построено изменение относительной осевой скорости (v_{oc}/v_0) при подтекании воздуха к такому отверстию (рис.7). Там же на рисунке показаны данные о распределении относительной осевой скорости при подтекании к одиночному вытяжному отверстию, найденное другими авторами экспериментально, аналитически и численно [17-23]

Для анализа влияния расстояния между вытяжным отверстием и коленом, изменение v_{oc}/v_0 построено для двух характерных случаев – самое малое, из исследованных, расстояние $l/b = 0,5$ и расстояние большее, чем ранее найденное «критическое» $l/b = 7$.

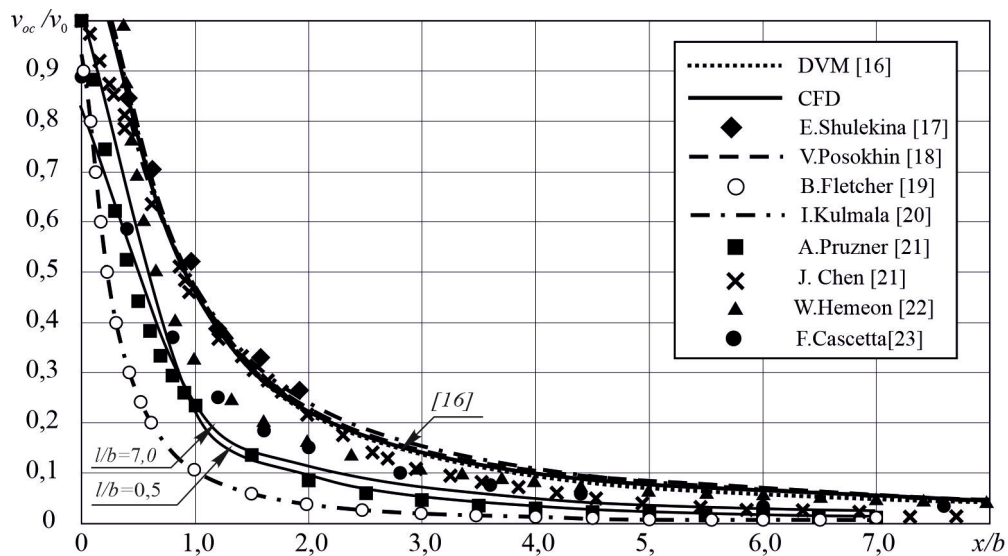


Рис. 7. Изменение относительной осевой скорости перед вытяжным отверстием
(иллюстрация авторов)
Fig. 7. Change in the comparative axial velocity before the exhaust hood (illustration by the authors)

Видно, что полученные результаты подобны ранее известным результатам. Общая динамика изменения скорости при удалении от вытяжного отверстия подобна, максимальное отличие не превышает 0,3%, но в непосредственной близости к вытяжному отверстию разница увеличивается. Различие особенно становится заметным для $l/b = 0,5$. Это объясняется тем, что возникшие вихревые зоны для малых значений l/b значительно изменяют профиль скорости на срезе всасывающего отверстия и максимальная скорость увеличивается.

4. Заключение

1. Результаты численного исследования показали, что расстояние между фасонными элементами в узле «вытяжное отверстие-отвод» оказывает значительное влияние на вихревые зоны и КМС.
2. Отмечено наличие двух характерных вариантов в рассматриваемой задаче: «большие расстояния» ($l > 0,4$ м), когда размеры очертания вихревых зон и значения КМС стремятся к постоянным значениям и можно считать, что два фасонных элемента в узле перестают влиять друг на друга. Для «коротких расстояний» ($l \leq 0,4$ м) взаимное влияние фасонных элементов приводит к слиянию двух вихревых зон по нижней кромке отвода и значения КМС узла больше, чем сумма КМС отдельных элементов, максимальное превышение (в 1,5 раза) на расстоянии $l=0,15$ м.
3. Изменения максимальных скоростей в потоке у вытяжного отверстия подобны результатам, ранее полученным экспериментально, аналитически и численно. Это свидетельствует о том, что расстояние между элементами в узле влияет на характеристики течения у отверстия только в непосредственной близости к нему.

Полученные очертания вихревых зон в дальнейшем могут быть использованы для профилирования фасонных элементов в узле. Зависимости, определенные для КМС позволят получить уточненные значения потерь давления в сети воздухопроводов, а инженерам-проектировщикам выбрать наиболее эффективные схемы трассировок систем вентиляции.

Список литературы / References

1. Gao R., Fang Z., Li A., Liu K., Yang Z., & Cong B. Numerical Simulation and Experimental Study of the Drag Reduction of 90° Elbows for Ventilation and Air Conditioning Tubes in An Arc Form. *Procedia Engineering*, 205, 3978–3984. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.09.859>
2. Зиганшин А.М., Еремина С.В. Компьютерное моделирование течения в симметричном вентиляционном тройнике круглого сечения на слияние // *Строительные конструкции, здания и сооружения*, 2023, №1 (2). С. 25-31. Ziganshin A.M., Eremina S.V. Computer simulation of flow in symmetrical ventilation tees of circular cross-section for fusion // *Building structures, buildings and structures*, 2023, No. 1 (2). P. 25-31.
3. Ao Tian, Ying Zhang, Ran Gao, Angui Li, Yang Xuan, Yingying Wang, Junkai Ren, Shengrui Yu, Xiaojie Xie. A low-resistance local component design method based on biomimicry and a random forest model: A pipe elbow case study. *Building and Environment* 254 (2024) 111332. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111332>
4. Yan Y., Song C., Pan W., Wang J., Bai Y. Analysis of Resistance Characteristics and Research into Resistance Reduction of a Tee Based on Field Synergy. *Buildings* 2024, 14, 1271. <https://doi.org/10.3390/buildings14051271>
5. Yanqiu Huang, Yi Wang, Li Liu, Peter V. Nielsen, Rasmus L. Jensen, Fanliao Yan. Reduced-scale experimental investigation on ventilation performance of a local exhaust hood in an industrial plant. *Building and Environment* 85 (2015) 94-103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.038>
6. Michele Pinelli, Alessio Suman. A numerical method for the efficient design of free opening hoods in industrial and domestic applications. *Energy* 74 (2014) 484-493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.014>
7. Yanqiu Huang, Wenyang Wang, Ke Lu, Yi Wang, Chuang Jiang, Junhao Rong, Xiaoni Yang. Flow-field evolution and vortex structure characteristics of a high-temperature buoyant jet. *Building and Environment* 187 (2021) 107407. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107407>
8. Золотонос Я. Д., Варсегова Е.В., Савина А.В. Численное моделирование течения вязкой жидкости в проточной части винтовых каналов "конфузор-диффузор" // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2021. – № 8(752). – С. 61-69. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-752-8-61-69. – EDN PKHZZW.

- Zolotonosov Ya. D., Varsegova E.V., Savina A.V. Numerical modeling of viscous fluid flow in the flow part of screw channels “reducer-diffuser” // News of higher educational institutions. Construction. – 2021. – № 8(752). – P. 61-69. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-752-8-61-69. – EDN PKHZZW.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
Idel'chik I.E. Handbook of hydraulic resistance. Moscow: Machine engineering, 1992. 672 p.
 10. Ju X, Jiang H. Two- and three-dimensional wake transitions of a rectangular cylinder and resultant hydrodynamic effects. Journal of Fluid Mechanics. 2024;989:A6. doi:10.1017/jfm.2024.476
 11. Pirozzoli S. On the streamwise velocity variance in the near-wall region of turbulent flows. Journal of Fluid Mechanics. 2024;989:A5. doi:10.1017/jfm.2024.467
 12. Shuai S, Roy A, Kasbaoui MH. The merger of co-rotating vortices in dusty flows. Journal of Fluid Mechanics. 2024;981:A27. doi:10.1017/jfm.2024.67
 13. Kareeva J., Chukhlova M., Ziganshin A., Logachev K., Tussupova K. Numerical model of the flow in the exhaust unit “opening – elbow”; 2023; Construction of Unique Buildings and Structures; 109Article No. 10926. doi: 10.4123/CUBS.109.26
 14. Safiullin F., Broyda V. Numerical and experimental study of the device for the control of the ventilating airflow // IOP conference series: Materials Science and Engineering, Kazan, April 29 – May 15, 2020. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012148. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012148. – EDN GEGYPA.
 15. Зиганшин А.М., Беляева Е.Э., Соколов В.А. Снижение потерь давления при профилировании острого отвода и отвода с нишей // Известия ВУЗов. Строительство. 2017. т. 697, № 1. С. 108–116.
Ziganshin A.M., Belyaeva E.E., Sokolov V.A. Reduction of pressure losses during profiling of acute inlet and outlet with a niche // News of higher educational institutions. Construction. 2017. Vol. 697, No. 1. P. 108-116.
 16. Logachev K.I., Ziganshin A.M., Averkova O.A. A study of separated flows at inlets of flanged slotted hoods // Journal of Building Engineering. 2020. Vol. 29. P. 101159. DOI: 10.1016/j.jobe.2019.101159
 17. Шулекина Е.И. Изменение осевой скорости воздуха в зоне действия стесненной всасывающей струи // Водоснабжение и санитарная техника. 1970. № 1. С. 31–32.
Shulekina E.I. Change in the axial velocity of air in the area of action of a constrained suction jet. // Water supply and sanitary equipment. 1970. No. 1. P. 31-32.
 18. Позин Г.М., Посохин В.Н. Расчет скоростей воздуха вблизи щелевых отсосов, расположенных в укрытиях или полостях технологического оборудования // Научные работы ин-тов охраны труда ВЦСПС: Вопросы техники безопасности и производственной санитарии: сб. тр. М.: Профиздат, 1982. С. 14–17.
Pozin G.M., Posokhin V.N. Calculation of air velocities near slit suction ports located in shelters or cavities of technological equipment // Scientific works of the Institutes of Labor Protection of the All-Russian Union of Industrialists and Entrepreneurs: Issues of safety and industrial sanitation: collected works Moscow: Profizdat, 1982. P. 14-17.
 19. Fletcher B. Centreline velocity characteristics of rectangular unflanged hoods and slots under suction // Annals of Occupational Hygiene. 1977. Vol. 20, No. 2. P. 141–146. DOI: 10.1093/annhyg/20.2.141.
 20. KULMALA I. Numerical calculation of air flow fields generated by exhaust openings // Annals of Occupational Hygiene. 1993. Vol. 37, No. 5. P. 451–468. DOI: 10.1093/annhyg/37.5.451.
 21. Braconnier R. Bibliographic Review of Velocity Fields in the Vicinity of Local Exhaust Hood Openings // American Industrial Hygiene Association Journal. 1988. Vol. 49, No. 4. P. 185–198. DOI: 10.1080/15298668891379585.
 22. W. C. L. Hemeon. Plant and Process Ventilation. Industrial Press, 1963. 481 p.
 23. Cascetta F., Rosano F.M. Assessment of velocity fields in the vicinity of rectangular exhaust hood openings // Building and Environment. 2001. Vol. 36, No. 10. P. 1137–1141. DOI: 10.1016/S0360-1323(00)00087-1

Информация об авторах

Кареева Юлия Рустэмовна, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: kareeva@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-9497-349X

Зиганшин Арслан Маликович, доктор технических наук, профессор, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: amziganshin@kgasu.ru, ORCID: 0000-0001-7335-7797

Чухлова Мария Борисовна, специалист отдела ИАС НИР, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация

E-mail: mariachukhlova@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1678-8168

Information about the authors

Yulia R. Kareeva, candidate of technical sciences, associate professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: kareeva@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-9497-349X

Arslan M. Ziganshin, doctor of technical sciences, professor, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: amziganshin@kgasu.ru, ORCID: 0000-0001-7335-7797

Mariya B. Chukhlova, specialist of the department of information and analytical support for research work, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation

E-mail: mariachukhlova@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1678-8168