



Течение к боковому вытяжному устройству, расположенному над непроницаемой плоскостью

Ю.Р. Кареева¹, А.М. Зиганшин¹, Г.А. Ишутин¹

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

Аннотация: *Постановка задачи.* Одним из методов улучшения эффективности работы местной вентиляции является усовершенствование конструкции ее элементов – вентиляционного отсоса, с целью снижения аэродинамического сопротивления. Для этого должны быть определены очертания вихревых зон. Для случая расположения отсоса рядом с непроницаемой плоскостью, очертания вихревых зон и поле скоростей будут зависеть от расстояния до непроницаемой плоскости. Определение указанной зависимости для случая бокового отсоса и является целью исследования. Для достижения цели, в работе решаются следующие задачи: проводится верификация и валидация численного решения задачи при использовании разных комбинаций модели турбулентности и пристеночных функций; определяются характеристики течения на входе в воздуховод при различном удалении от твердой стенки; выявляются зависимости очертаний вихревых зон и коэффициента местного сопротивления и поля скорости от расстояния до твердой плоской стенки.

Результаты. Выбрана комбинация «модель турбулентности+пристеночные функции», наиболее адекватно отражающая основные характеристики течения на входе в вытяжной воздуховод, расположенного на разном удалении от твердой стенки. Определены значения коэффициентов местного сопротивления и очертания вихревых зон для исследованных расстояний.

Выводы. Полученное в результате исследования распределение скоростей воздуха у бокового отсоса над непроницаемой плоскостью может быть использовано в инженерных расчетах местной вытяжной вентиляции

Ключевые слова: местная вентиляция, вытяжная вентиляция, численное исследование, вихревые зоны, коэффициент местного сопротивления.

Для цитирования: Кареева Ю.Р., Зиганшин А.М., Ишутин Г.А. Течение к боковому вытяжному устройству, расположенному над непроницаемой плоскостью // Известия КГАСУ, 2024, № 3 (69), с. 139-148, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.13, EDN: JAEVCG

Flow to a lateral exhaust device located above an impermeable plane

Yu.R. Kareeva¹, A.M. Ziganshin¹, G.A. Ishutin¹

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

Abstract: One of the methods for improving the efficiency of local ventilation is to improve the design of its elements - ventilation exhaust, in order to reduce aerodynamic drag. To do this, the outlines of the vortex zones should be determined. For the case of the exhaust location next to an impermeable plane, the outlines of the vortex zones and the velocity field will depend on the distance to the impermeable plane. Determining this dependence for the case of lateral exhaust is the goal of the study. To achieve the goal, the following tasks are solved in the work: verification and validation of the numerical solution of the problem using different

combinations of the turbulence model and wall functions are carried out; flow characteristics at the inlet to the air duct are determined at different distances from the solid wall; dependencies of the outlines of the vortex zones and the local resistance coefficient and the velocity field on the distance to the solid flat wall are revealed.

Results. The combination of "turbulence model + wall functions" was selected, which most adequately reflects the main characteristics of the flow at the inlet of the exhaust air duct, located at different distances from the solid wall. The values of the local resistance coefficients and the outlines of the vortex zones for the studied distances were determined.

Conclusions. The distribution of air velocities at the side exhaust over the impermeable plane obtained as a result of the study can be used in engineering calculations of local exhaust ventilation

Keywords: exhaust ventilation, exhaust hood, numerical method, vortex zones, CLR

For citation: Kareeva Yu.R., Ziganshin A.M., Ishutin G.A. Flow to a lateral exhaust device located above an impermeable plane // News of KSUAE, 2024, № 3 (69), p. 139-148, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/69.13, EDN: JAEVCG

1. Введение

Местная вытяжная вентиляция широко применяется на промышленных производствах, т.к. позволяет снизить концентрацию локализованных загрязнений до допустимых значений, при меньшем воздухообмене, в сравнении с общеобменной [1-2]. Однако, системы вентиляции всё равно остаются крайне дорогостоящими, не столько из-за капитальных, как из-за эксплуатационных затрат [3]. Снижения этих затрат можно добиться путём понижения аэродинамического сопротивления системы [4]. Изучение способов улучшения аэродинамических свойств воздухораспределительных и воздухозаборных устройств является актуальной темой, так как учёт особенностей течения при конструировании устройства и проектировании систем вентиляции позволит уменьшить коэффициент местного сопротивления (КМС), а следовательно, приведет к сокращению энергозатрат. Для случаев усовершенствования элементов местных отсосов в производственных зданиях, значимым является также и исключение обратного выноса уловленных вредных выделений, циркулирующих в вихревых зонах – повышение качества воздуха и условий труда на рабочих местах.

Известны работы по разработке энергоэффективных конструкций местных отсосов для конкретных технологических процессов, таких как, загрузка материала в бункер [5], или систем аспирации на предприятиях по производству цемента [6]. Также разработкой конструкций бортовых местных отсосов в гальванических цехах, которая позволяет снизить воздухообмен более чем в пять раз, по сравнению со стандартными решениями занимались авторы Б. П. Новосельцев, Д. В. Лобанов и др. [7]. В работе [8] представлено экспериментальное исследование, целью которого было изучение влияния структуры воздушно-тепловых потоков в помещении на эффективность работы местного бокового отсоса.

Большая часть исследований на сегодняшний день проводится численными методами. Так, в работе [9] приведено сравнение КМС усовершенствованной конструкции местных отсосов с выступом и без с помощью программного комплекса (ПК) Solidworks. В исследовании [10] с помощью ПК Star CCM+ с использованием стандартной $k-\varepsilon$ модели, определены поля концентрации загрязняющих веществ, которые выделяются при сварочных работах для определения наилучшего варианта организации воздухообмена на рабочем месте. На базе ПК Ansys Fluent в трёхмерной постановке [11] была исследована задача по определению оптимальной производительности различных типов местных отсосов от сварочных постов с учётом их конструктивных особенностей, расположения относительно сварочных постов и особенностей технологии операций по сварке деталей.

Также численными методами в статье [12] изучались особенности течения на входе в вытяжной зонтик. Определено, что придание вытяжному зонтику формы, близкой к очертанию вихревых зон, позволяет снизить коэффициент местного сопротивления в 2

раза. Численные исследования по изучению зависимости скорости всасывания в круглом вытяжном зонте на эффективность улавливания частиц, также подтвержденные экспериментально проводились в работе [13]. В другом исследовании с применением модели турбулентности напряжений Рейнольдса с расширенным пристеночным моделированием (Reynolds Stress Model + Enhanced Wall Treatments) изучено течение у вытяжного зонта. Результаты численного решения были подтверждены экспериментально, что отражает физическую адекватность модели [14].

Методика снижения аэродинамического сопротивления за счет профилирования по очертаниям вихревых зон используется и при совершенствовании конструкции сетевых фасонных элементов. Течение воздушных потоков в тройниках вентиляционных систем также численно исследовалось с помощью программного комплекса *Fluent* в работе [15], со стандартными пристеночными функциями и $k-\varepsilon$ моделью турбулентности. Результаты исследований показали, что КМС, определённый в ходе численного решения, отличался от известных значений справочника Идельчика [16] на 34%, что, как отмечается в статье, может быть вызвано не точностью настройки модели или пристеночной функции. Кроме того, производились и численные исследования течения воздуха в симметричных тройниках, после верификации модели авторами была принята $k-\varepsilon$ модель турбулентности со стандартными пристеночными функциями [17], по итогам исследования удалось снизить коэффициент местного сопротивления на 21%, с помощью лопатки регулирующей поток. В работе [18] численно исследовано течение воздуха в узлах слияния систем естественной вентиляции типа «спутник-сборный канал» с $k-\varepsilon$ моделью турбулентности и стандартными пристеночными функциями, были определены зависимости размеров вихревых зон от геометрии задачи и скорости течения воздуха.

Ясно, что отдельные фасонные элементы имеют определенное значение КМС, но для вентиляционных систем характерно их близкое друг к другу расположение. Это существенно меняет картину течения, а значит меняет и очертания вихревых зон и значения местного сопротивления, а также потерь энергии в таких узлах. В работе [19] представлены результаты численного исследования в течения воздуха на входе в вытяжной воздуховод, сразу за которым следовал отвод под 90 градусов. В исследовании принята модель турбулентности - модель напряжений Рейнольдса (RSM) с расширенным пристеночным моделированием (EWT). Ясно, что на работу местного отсоса существенно оказывает влияние и ограничения в области из которой удаляется воздух. В работе [20] показывается и найдена зависимость очертаний вихревых зон и коэффициента местного сопротивления местного отсоса, с непроницаемой плоскостью находящейся перед ним, то есть непроницаемая плоскость перпендикулярна оси отсоса. Такой случай характерен, например для верхнего бокового отсоса от источника вредных выделений. Часто встречается, но ранее не исследована зависимость параметров течения к боковому отсосу над плоскостью. Для этого случая наиболее характерен вариант, когда ось отсоса и непроницаемая плоскость параллельны.

Таким образом **целью исследования** является определение зависимости очертаний вихревых зон, КМС и поля скорости течения воздуха перед боковым местным отсосом от расстояния до непроницаемой горизонтальной плоскости.

Задачи исследования:

- провести верификацию и валидацию численного решения задачи при использовании разных комбинаций модели турбулентности и пристеночных функций;
- определить характеристики течения на входе в воздуховод при различном удалении от твердой стенки;
- построить зависимости очертаний вихревых зон, коэффициента местного сопротивления и поля скорости от расстояния до непроницаемой горизонтальной плоскости.

2. Материалы и методы

Геометрия рассматриваемой системы «боковой щелевой отсос - непроницаемая горизонтальная плоскость» в двумерной постановке представлена на рисунке 1:

- размеры вытяжного канала: длина - 3 м ($a=2\text{м}$, $c=1\text{м}$), ширина - $b=0,1\text{м}$;
- размеры внешней области: $H=3\text{м}$, $L=3\text{м}$;

- расстояние между нижней стенкой канала и непроницаемой плоскостью h , составляет, как и в работе [20]: $0b$; $0,5b$; $1b$; $2b$; $5b$.

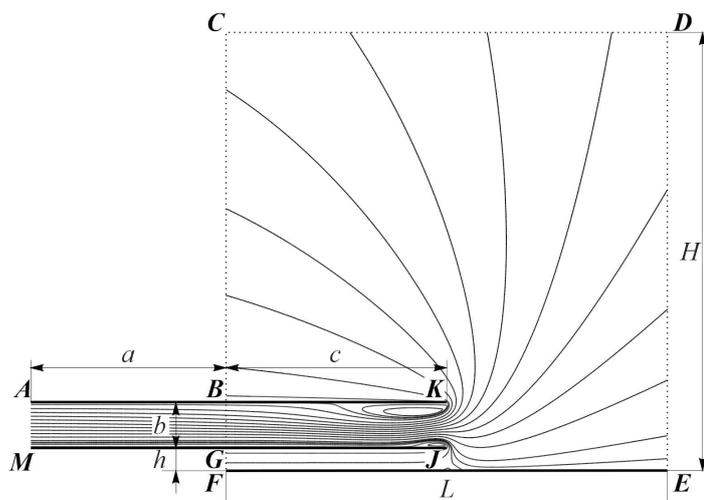


Рис. 1. Геометрия исследуемой задачи (иллюстрация авторов)
Fig. 1 Geometry of the problem (illustration by the authors)

Граничные условия (ГУ):

- **AB-BK, MG-GJ** – стенки воздуховода и **FE** – непроницаемая плоскость – ГУ “wall” (непроницаемые стенки): $v = 0, dv_n/dn = 0$; (dn - нормаль к границе);
- **AM** – вытяжная граница – ГУ “velocity inlet”: скорость постоянная и направлена по нормали к границе: $v_0 = 20$ м/с, $k = 1, \varepsilon = 1$
- **FG, BC, CD, DE** – внешние свободные границы – ГУ “pressure inlet”: избыточное давление $\Delta p = 0$ Па, $k = 0, \varepsilon = 0$.

Для выбора подходящего сочетания модели турбулентности и пристеночных функций произведена верификация модели с использованием 4 вариантов комбинаций:

1. «Стандартная» k - ε модель + стандартные пристеночные функции (*SKE SWF*);
2. «Стандартная» k - ε модель + расширенное пристеночное моделирование (*SKE EWT*);
3. Модель Рейнольдсовых напряжений + стандартные пристеночные функции (*RSM SWF*);
4. Модель Рейнольдсовых напряжений + расширенное пристеночное моделирование (*RSM EWT*).

В процессе решения задачи за характерный параметр, по которому контролировалась сходимость итерационного процесса, принято давление осредненное по массе на выходе из канала (граница **AM**). Для получения адекватных результатов в процессе решения проводилась адаптация (измельчение) расчетной сетки, а также исследование на «сеточную зависимость», аналогично проведенному и подробно описанному в работе [4].

3. Результаты и обсуждение

На сетке, принятой по результатам исследования на «сеточную зависимость» за окончательную, решены задачи для 4 вариантов комбинаций «модель турбулентности + пристеночные функции» для случая, когда отсос находится на высоте $h = 0,5b$. По результатам построены линии тока течения (рис.2) и определены очертания вихревых зоны на входе в боковой отсос (рис. 3).

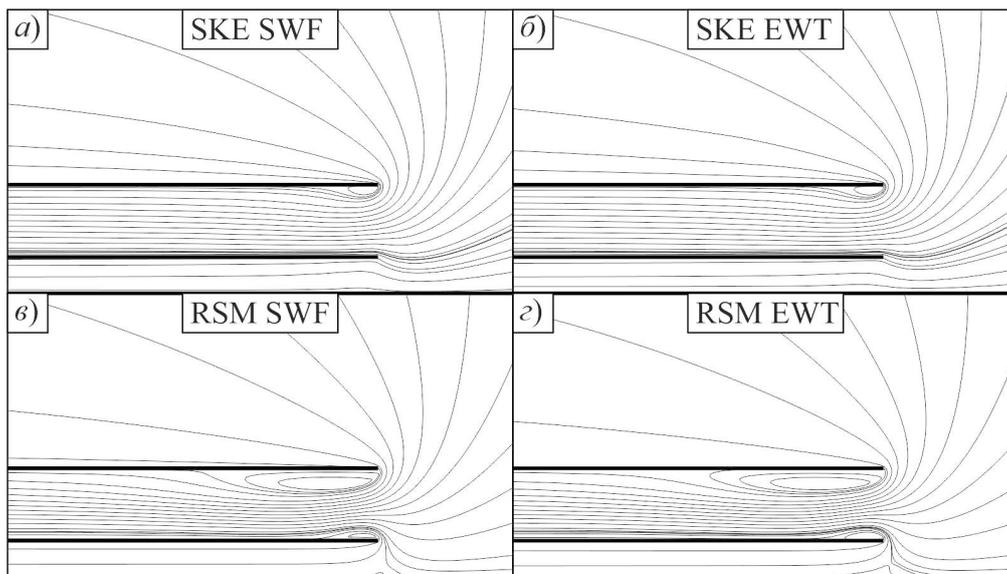


Рис. 2 Линии тока течения при использовании разных комбинаций «модель турбулентности – пристеночные функции» (иллюстрация авторов)
 Fig.2 Streamlines of the flow using different combinations of "turbulence model - wall functions" (illustration by the authors)

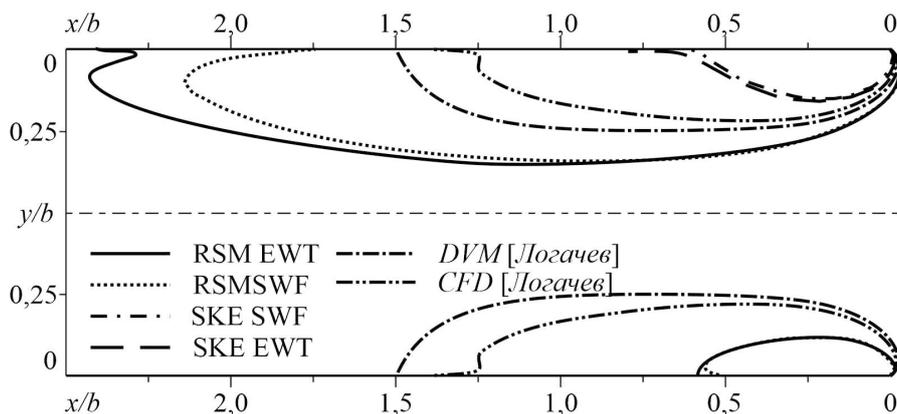


Рис.3 Вихревые зоны при использовании разных комбинаций «модель турбулентности – пристеночные функции» (иллюстрация авторов)
 Fig. 3 Vortex zones using different combinations of "turbulence model - wall functions" (illustration by the authors)

Вихревые зоны, образующиеся на входе в вытяжной канал, являются сильно асимметричными между собой. Нижняя значительно меньше верхней, из-за близко расположенной твердой стенки. При использовании $k-\epsilon$ модели турбулентности происходит плавное втекание воздуха в нижней части канала, нижняя вихревая зона полностью отсутствует. Хотя ясно, что в данном случае при полном развороте потока на 180° у нижней стенки отсоса, вихревая зона должна возникать. Кроме того, размеры вихревых зон у верхней стенки для моделей RSM физичнее. При использовании модели напряжений Рейнольдса образуются обе вихревые зоны. Для сравнения на рисунке 3 приведены результаты исследования очертаний вихревых зон на входе в свободно расположенный щелевой отсос [21] Отличие очертаний полученных вихревых зон, от представленных на рисунке, для случая свободно расположенного отсоса является следствием близкого расположения твердой поверхности у нижней стенки воздуховода.

В таблице 1 приведены значения коэффициента местного сопротивления вытяжного устройства, полученного при использовании разных комбинаций (табл.1).

Таблица 1

| Комбинация «модель турбулентности – пристеночные функции» | КМС | Yplus | Ystar |
|---|--------|--------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| RSM SWF | 1,0863 | 1,3702 | 1,3567 |
| RSM EWT | 1,0245 | 1,2081 | 1,2354 |
| SKE SWF | 1,3042 | 1,1062 | 1,1121 |
| SKE EWT | 1,2408 | 1,3093 | 1,3521 |

По совокупности факторов, таких как физическая адекватность модели, быстрота вычислений, для дальнейшего исследования задачи принята модель турбулентности напряжений Рейнольдса со стандартными пристеночными функциями (*RSM SWF*).

Далее с использованием верифицированной численной модели, были решены 5 задач с разным расстоянием $h = 0b; 0,5b; 1b; 2b; 5b$. В результате определены очертания вихревых зон (рис. 4), значения коэффициентов местного сопротивления (табл. 2) и поля скорости перед отсосом в виде изотак относительного модуля скорости $\bar{v} = v/v_0$ (рис. 5).

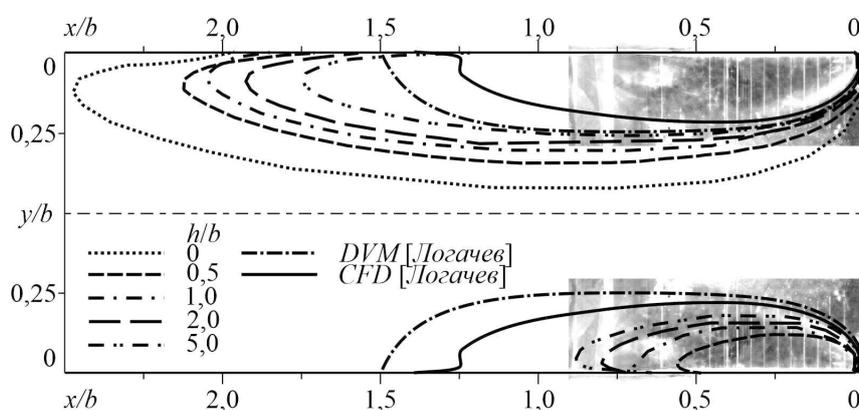


Рис. 4. Вихревые зоны при изменении высоты местного отсоса (иллюстрация авторов)
Fig. 4. Vortex zones when changing the height of the local suction (illustration by the authors)

Таблица 2

| h | КМС | Yplus | Ystar |
|-------|---------|--------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0 b | 1,15378 | 1,2924 | 1,3001 |
| 0,5 b | 1,086 | 1,3702 | 1,3567 |
| 1 b | 1,07275 | 1,2156 | 1,3307 |
| 2 b | 1,06514 | 1,2183 | 1,3601 |
| 5 b | 1,05343 | 1,2522 | 1,4056 |

При удалении от непроницаемой плоскости коэффициент местного сопротивления уменьшается, а вихревые зоны становятся более симметричны, при этом даже на достаточном удалении от плоскости при $h = 5b$, верхняя вихревая зона остаётся заметно больше нижней, а коэффициент местного сопротивления отличается от КМС для свободного расположенного отсоса, по справочнику Идельчика [16] более чем на 5%. Что говорит о наличии влияния непроницаемой плоскости на характер течения вблизи бокового местного отсоса.

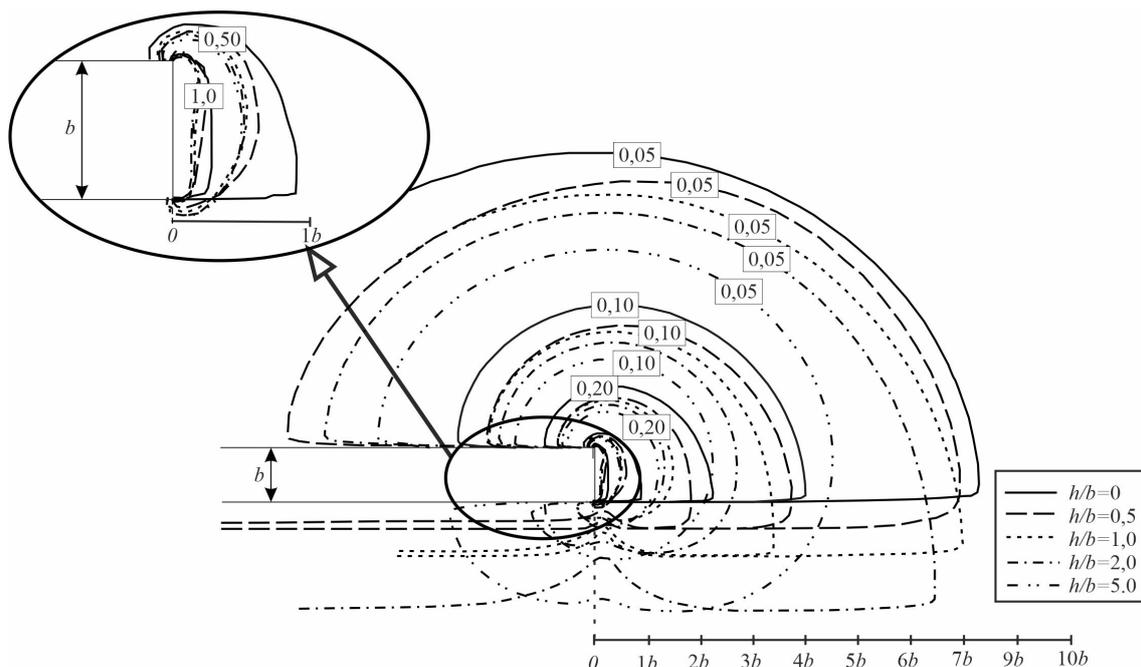


Рис. 5 Поля скоростей при разной высоте h (иллюстрация авторов)
Fig. 5 Velocity fields at different heights h (illustration by the authors)

На рисунке 5 представлены поля скоростей на разном удалении от вытяжного отверстия и при разной высоте h над непроницаемой плоскостью. Линиями обозначены значения безразмерной скорости $\bar{v} = v / v_0$. График можно использовать для определения необходимой скорости всасывания. Задаваясь скоростью, которую требуется создать у источника загрязнений, для заданной высоты расположения отсоса над непроницаемой плоскостью h , по рис.5 определяется необходимая для удаления вредных выделений скорость на всасывании v_0 .

4. Заключение

1. Проведено численное исследование течения у бокового местного отсоса, расположенного на высотах h/b от 0 до 5,0 над непроницаемой стенкой.
2. Верификация и валидация численной модели показала адекватность комбинации модели турбулентности Рейнольдсовых напряжений и стандартных пристеночных функций.
3. Определены значения коэффициентов местного сопротивления, очертания вихревых зон для исследованных расстояний h/b .
4. Получено распределение скоростей воздуха у бокового отсоса над непроницаемой плоскостью, которое может использоваться в инженерных расчетах местной вытяжной вентиляции.

Список литературы / References

1. Арипов Н. Ю., Пирназаров И. И. Микроклимат и вентиляции промышленных предприятий // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2020. № 8. С. 443-451. [Aripov N.Yu., Pitnazarov I.I. Microclimate and ventilation of industrial enterprises // Electronic online polythematic journal "Scientific works of KubSTU". 2020. No. 8. P. 443-451]
2. Боломатов В. Н. Энергоэффективные решения при проектировании отопления, вентиляции и кондиционирования промышленных зданий // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2023. № 8. С. 48-55. [Bolomatov V. N. Energy-efficient solutions in the design of heating, ventilation and air conditioning of industrial buildings // AVOK:

- Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and building thermal physics. 2023. No. 8. P. 48-55.]
3. Jamshidi R. M., Ghorbani-Shahna F., Bahrami Ab., Hosseini S. Evaluation of Local Exhaust Ventilation Efficiency to Control Emissions of Fe₂O₃ Dust in Ambient Air of the Oxide Screen Unit in steel industry. Knowledge & Health Journal. 2015. 9. 10.1234/knh.v9i4.451.
 4. Кареева Ю. Р., Ишутин Г. А. Численное исследование течения на входе в вытяжной канал, расположенный вдоль непроницаемой плоскости // Строительные конструкции, здания и сооружения. 2024. № 1(6). С. 13-20. EDN DPIUFU [Kareeva Yu. R., Ishutin G. A. Numerical study of the flow at the entrance to the exhaust channel located along the impermeable plane // Building structures, buildings and structures. 2024. No. 1 (6). P. 13-20. EDN DPIUFU]
 5. Ромейко, М. Б., Дежуров С. В., Колмогоров С. В. К определению производительности местного отсоса от пылящего оборудования // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии : сборник статей, Самара, 26–30 октября 2020 года / Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2020. – С. 334-340. – EDN ZAVNEQ. [Romeiko, M. B., Dezhurov S. V., Kolmogorov S. V. On determining the performance of local exhaust from dust-generating equipment // Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies: a collection of articles, Samara, October 26–30, 2020 / Edited by M. V. Shuvalov, A. A. Pishchulev, A. K. Strelkov. - Samara: Samara State Technical University, 2020. - P. 334-340. - EDN ZAVNEQ.]
 6. Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Стефаненко С. И., Фомина Е. О. Экспериментальные исследования эффективности улавливания цементной пыли системами аспирации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 25(44). С. 249-251. EDN PDXKDP. [Мензелинцева Н. В., Карапузова Н. Ю., Стефаненко С. И., Фомина Е. О. Экспериментальные исследования эффективности улавливания цементной пыли системами аспирации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2011. № 25(44). С. 249-251. EDN PDXKDP]
 7. Новосельцев Б. П., Лобанов Д. В., Звенигородский И. И., Сафонов С. А. Совершенствование конструкции местного отсоса в системах вытяжной вентиляции гальванического цеха // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2022. № 4(23). С. 52-60 [Novoseltsev B. P., Lobanov D. V., Zvenigorodsky I. I., Safonov S. A. Improving the design of local exhaust in exhaust ventilation systems of a galvanic shop // Housing and communal infrastructure. 2022. No. 4 (23). P. 52-60]
 8. Дерепасов А. В., Полосин И. И. Экспериментальный комплекс по исследованию эффективности местных отсосов гальванических производств // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. 2015. № 1. С. 76-82. [Дерепасов А. В., Полосин И. И. Экспериментальный комплекс по исследованию эффективности местных отсосов гальванических производств // Стратегии и тренды развития науки в современных условиях. 2015. № 1. С. 76-82.]
 9. Козлов Т. А. Влияние выступа на эффективность всасывания местного отсоса // XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика и 55-летию КГЭУ : материалы докладов, Казань, 05–06 декабря 2023 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2023. С. 229-231. [Козлов Т. А. Влияние выступа на эффективность всасывания местного отсоса // XXVII Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика и 55-летию КГЭУ : материалы докладов, Казань, 05–06 декабря 2023 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет. 2023. С. 229-231]
 10. Светлакова А. Н. Сравнительный анализ эффективности местных отсосов в сварочном цехе // Фундаментальные и прикладные исследования в науке и

- образовании : сборник статей Международной научно-практической конференции, Тюмень, 05 июня 2019 года. – Тюмень: Общество с ограниченной ответственностью "Аэтерна". 2019. С. 300-306. [Svetlakova A. N. Comparative analysis of the efficiency of local exhausts in a welding shop // Fundamental and applied research in science and education: collection of articles from the International scientific and practical conference, Tyumen, June 5, 2019. - Tyumen: Limited Liability Company "Aeterna". 2019. Pp. 300-306.]
11. Шаптала В.В., Логачев К.И., Хукаленко Е.Е. Компьютерное моделирование и расчет систем вентиляции рабочих мест и помещений электросварочного производства// Безопасность труда в промышленности. 2021. № 10. С. 13–20 [Shaptala V.V., Logachev K.I., Khukalenko E.E. Computer modeling and calculation of ventilation systems for workplaces and premises of electric welding production// Occupational safety in industry. 2021. No. 10. P. 13–20]
 12. Logachev K. I., Averkova O. A., Ziganshin A. M. On the resistance of a round exhaust hood, shaped by outlines of the vortex zones occurring at its inlet // Building and Environment. 2019. Vol. 151. P. 338-347. DOI 10.1016/j.buildenv.2019.01.039. EDN TGXFFW.
 13. Logachev K. I., Ziganshin A. M., Huang Ya., Wang Yi. Investigating changes in geometric dimensions of vortex zones at the inlet of an exhaust hood set over a plane // Building and Environment. 2022. Vol. 222. P. 109377. DOI 10.1016/j.buildenv.2022.109377. EDN WJRSDJ.
 14. Logachev K. I., Averkova O. A., Ziganshin A. M. Simulations of dust dynamics around a cone hood in updraft conditions // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2018. Vol. 15, No. 10. P. 715-731. DOI 10.1080/15459624.2018.1492137. EDN PUOODL.
 15. 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 modeling of flow in a symmetrical ventilation tee of circular cross-section at confluence // Building structures, buildings and constructions. 2023. No. 1(2). P. 25-31]
 16. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: 355 Машиностроение, 1992. 672 с. [Idelchik, I.E. Handbook of hydraulic resistance. 3rd edition revised and enlarged. Moscow. 1992. 672 p.]
 17. Yin Y., Wen X., Zhang J., Li A. Geometric parameters optimization of low resistance T-junction with guide vanes in HVAC system // E3S Web of Conferences. 2022. Vol. 356. P. 02056. DOI 10.1051/e3sconf/202235602056. – EDN PVXLBY.
 18. Shopayeva A., Safiullin R. CFD-modeling of flow in confluence nodes of ventilation units of multi-storey buildings / // IOP conference series : Materials Science and Engineering, Kazan, 29 апреля – 15 2020 года. Vol. 890. – Kazan, Russia: IOP Science, 2020. – P. 012157. – DOI 10.1088/1757-899X/890/1/012157. – EDN XOLULJ.
 19. Kareeva Ju. R., Chukhlova M. B., Ziganshin A. M., Logachev K.I., Tussupova K. Numerical model of the flow in the exhaust unit "opening - elbow" // Construction of Unique Buildings and Structures. 2023. No. 4(109). P. 10926. DOI 10.4123/CUBS.109.26. EDN MSMTBG.
 20. Ziganshin A., Logachev K., Kareeva Ju. Vortex zones in an exhaust hood in front of an impermeable plane // Magazine of Civil Engineering. 2023. No. 7(123). P. 12307. DOI 10.34910/MCE.123.7. – EDN PURKRA.
 21. 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

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

Ишутин Глеб Алексеевич, г. Казань, Российская Федерация.

E-mail: isutin.gleb@list.ru

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

Gleb A. Ishutin, Kazan, Russian Federation

E-mail: isutin.gleb@list.ru