

УДК 697.921.45

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-40-51>

Коаксиальное локальное вытяжное устройство

Ю. А. Сиваченко ¹, О. Н. Зайцев ², А. П. Бурцев ² ✉

¹ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
Институт «Академия строительства и архитектуры»
ул. Киевская, д. 181, Республика Крым, г. Симферополь 295017, Российская Федерация

² Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ap_burtsev@mail.ru

Резюме

Цель исследования. Получение в результате исследований геометрических параметров устройства, при которых достигается улучшение условий формирования всасывающего потока. Предложение некоторых конструктивных решений вытяжного устройства для систем локальной вентиляции для удаления вредных выбросов при плазменной обработке металлов, позволяющих улучшить условия труда, выполнить промышленные испытания образца устройства.

Методы. Для получения пространственного представления о линиях тока, полях скоростей проводилось численное моделирование. Для получения зависимостей, формулирующих методики расчета аэродинамических и эколого-энергетических параметров результирующего течения при взаимодействии потока, образующихся вредностей со всасывающим потоком и радиальной ограничивающей прямоочной струей использовались физические методы моделирования.

Результаты. Получено подтверждение теоретических исследований конструкции локального вытяжного устройства с диффузором ограничителем, предназначенным для формирования ограничивающей радиальной струи и экспериментальных исследований на испытаниях промышленного образца локального вытяжного устройства предложенной конструкции

Заключение. Рекомендованное локальное коаксиальное вытяжное устройство предложенной конструкции может существенно улучшить параметры микроклимата на стационарных местах плазменной резки для широкой номенклатуры машин для автоматизированной обработки различных металлов при плазменной резке металлов. Полученные на основе экспериментальных и теоретических исследований коаксиального вытяжного устройства, в котором реализован принцип удаления вредностей из плоскости ниже обрабатываемой заготовки ограниченного радиально направленным распределяющим потоком, впервые получены значения осевых скоростей при различных расходах воздуха с оптимальным соотношением всасывающего и ограничивающего потоков β для запатентованной конструкции локального вытяжного устройства.

Ключевые слова: удаление; местный отсос; плазменная резка; всасывающий факел; удаление вредностей; локальное всасывание; плазменная резка.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Сиваченко Ю.А., Зайцев О.Н., Бурцев А.П. Коаксиальное локальное вытяжное устройство // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(1): 40-51. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-40-51>.

Поступила в редакцию 27.12.2024

Подписана в печать 11.02.2025

Опубликована 14.04.2025

© Сиваченко Ю.А., Зайцев О.Н., Бурцев А.П., 2025

Coaxial local exhaust device

Yuriy A. Sivachenko ¹, Oleg N. Zaitsev ², Alexey P. Burtsev ² ✉

¹ Vernadsky Crimean Federal University, Institute «Academy of Construction and Architecture»
181, Kievskaya str., Simferopol 295017, Russian Federation

² Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ap_burtsev@mail.ru

Abstract

Purpose of research. For the geometric parameters of the device obtained as a result of studies, which improve the conditions for the formation of the suction flow. and the proposed design solutions of an exhaust device for local ventilation systems to remove harmful emissions during plasma metalworking, which make it possible to improve working conditions and perform industrial tests of the device sample.

Methods. Numerical modeling was performed to obtain a spatial representation of the current lines and velocity fields. Physical modeling methods were used to obtain dependencies that formulate methods for calculating the aerodynamic and ecological-energy parameters of the resulting flow during the interaction of the flow, the resulting hazards with the suction flow and the radial limiting ramjet.

Results. Confirmation of theoretical studies of the design of a local exhaust device with a limiter diffuser designed to form a limiting radial jet and experimental studies on tests of an industrial sample of a local exhaust device of the proposed design have been obtained.

Conclusion. The recommended local coaxial exhaust device of the proposed design can significantly improve the microclimate parameters at stationary plasma cutting sites for a wide range of machines for automated processing of various metals during plasma cutting of metals. Based on experimental and theoretical studies of a coaxial exhaust device, which implements the principle of removing hazards from the plane below the workpiece being processed, limited by a radially directed distributing flow, axial velocity values for various air flow rates with an optimal ratio of suction and limiting flows β for the patented design of a local exhaust device were obtained for the first time.

Keywords: removal; local suction; plasma cutting; suction torch; removal of harmful substances; local suction; plasma cutting.

Conflict of interest. The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Sivachenko Y. A., Zaitsev O. N., Burtsev A. P. Coaxial local exhaust device. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(1): 40-51 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-40-51>.

Received 27.12.2024

Accepted 11.02.2025

Published 14.04.2025

Введение

Применение для локализации и удаления вредных выбросов при плазменной резке металлов, из области под поверх-

ностью металла с помощью локального всасывания, активируемого радиальной струей воздуха имеет существенный потенциал, в том числе и для модернизации

ции средств местной вытяжной вентиляции, используемых при плазменной обработке металлов. Этот метод является перспективным решением в сравнении с традиционными современными способами борьбы и удаления вредных от порталных машин для плазменной резки металлов.

Одним из путей ограничения спектра всасывания и повышения потенциала всасывающих течений путем отсекания потока может служить раздача ограничивающего воздушного потока в плоскости перпендикулярной оси всасывающего потока

При раздаче воздушного потока подобным образом создается зона повышенного давления, формируемая потоком истекающего воздуха в плоскости, близкой перпендикулярно оси всасывания. При этом формируется подобие отсекающей плоскости. Применение такой схемы возможно при организации локальной вытяжной вентиляции при плазменной резке металлов, однако в литературных источниках описание подобных решений отсутствует.

Материалы и методы

В процессе резки под воздействием высокотемпературной струи происходит испарение металла из зоны реза, его окисление, в том числе и легирующих элементов, а конвективные потоки уносят пыль в зону дыхания. Существенной технологической особенностью плазменной резки металла, которая оказывает влияние на способ удаления вредных,

является последовательность разрезания заготовки. Процесс раскроя состоит из следующих технологических этапов: технологическое врезание – этап на котором происходит пробитие заготовки на всю ее толщину. Существует два способа выполнения пробития – механический для заготовок толщиной до 40 - 50 мм, при котором происходит высверливание. В дальнейшем с этого отверстия начинается проход плазмотрона при раскрое.

При втором способе происходит врезание при помощи плазменной дуги. Более предпочтительным является первый способ, при нем вредности локализуются максимально под плоскостью разрезаемого металла. Альтернативой может служить пробитие на отходе, начинаемое с края заготовки. В таком случае наибольшее количество вредных образуются также снизу. Следующим этапом является непосредственно раскрой заготовки, при этом процессе происходит выдувание расплавленного металла из шва. За счет высокой температуры плазмы микрочастицы металла конденсируются в воздухе и подвержены уносу в рабочую зону^{1,2}. Для исключения этого следует располагать вытяжное

¹ ГН 2.2.5.3532-18 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны" // Официальный сайт Роспотребнадзора РФ 2018. 170 с. URL: [https:// www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/00b/gn-2.2.5.3532_18.pdf](https://www.rosпотребнадзор.ru/upload/iblock/00b/gn-2.2.5.3532_18.pdf).

² ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей. М.: Стандартинформ, 2015. С. 35.

устройство как можно ближе к разгонному участку тепловой гетерогенной струи с потоком газа, образующейся в месте резки. На третьем этапе происходит завершение раскроя, при этом этапе следует учитывать, что как правило площадь покрытия листа за счет вырезания деталей уменьшается, что также может способствовать уносу вредностей. Существующие нормативные документы и литературные источники [1] рекомендуют учитывать эти факторы и располагать вытяжное устройство снизу или сбоку заготовки в зависимости от применяемого оборудования для плазменной резки, при этом скорость движения воздуха в плоскости реза должна быть не менее 1,5 м/с (при открытой поверхности стола) и не менее 2,5 м/с в рабочем сечении отсоса¹.

Таким образом, с учетом технологических факторов плазменной резки обоснована целесообразность позиционирования вытяжного устройства в нижней плоскости обрабатываемых заготовок, под плоскостью обрабатываемого изделия, а в результате проведенных численных и экспериментальных исследований, и учитывая технологические сведения о плазменной резке, изложенные в [2-4], была разработана модель локального вытяжного устройства, активированного ограничивающей радиальной струей (рис. 1-3).

¹ СП 4053-85. Санитарные правила на устройство и эксплуатацию оборудования для плазменной обработки материалов. М.: Издательство стандартов, 1985. С.5,6.

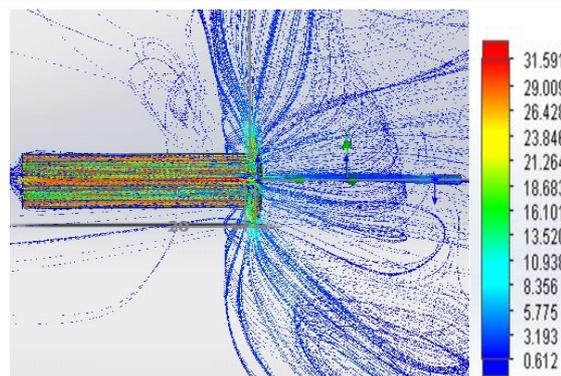


Рис. 1. Визуализация траектории потоков при $Q_{\text{вы}} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$

Fig. 1. Visualization of the flow trajectory $Q_{\text{ed}} = 600 \text{ м}^3/\text{h}$, $\beta = 1$

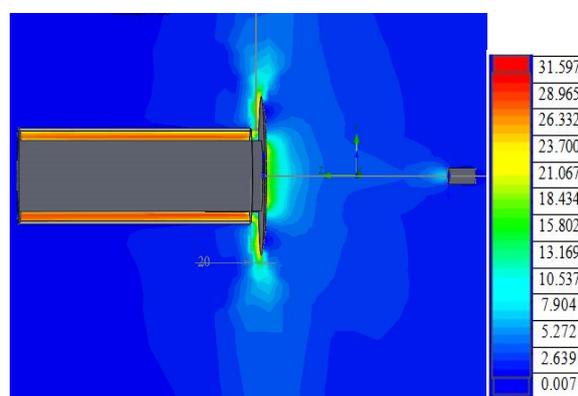


Рис. 2. Визуализация поля скоростей в сечении при $Q_{\text{вы}} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\beta = 1$

Fig. 2. Visualization of the velocity field in the cross section $Q_{\text{ed}} = 600 \text{ м}^3/\text{h}$, $\beta = 1$

Опираясь на рекомендации, изложенные в [5-7], сведения в литературных источниках [8-11] и сведения, полученные в результате математического моделирования в программном комплексе Flowsimulation была разработана установка для удаления вредностей от раскройных столов, которая позволяет реализовать принцип локализации и удаление вредных выбросов при плазменной резке металлов из области под поверхностью раскройного металла с помощью локального всасывания, активируемого радиальной струей воздуха, модель которой представлена на рис. 4.

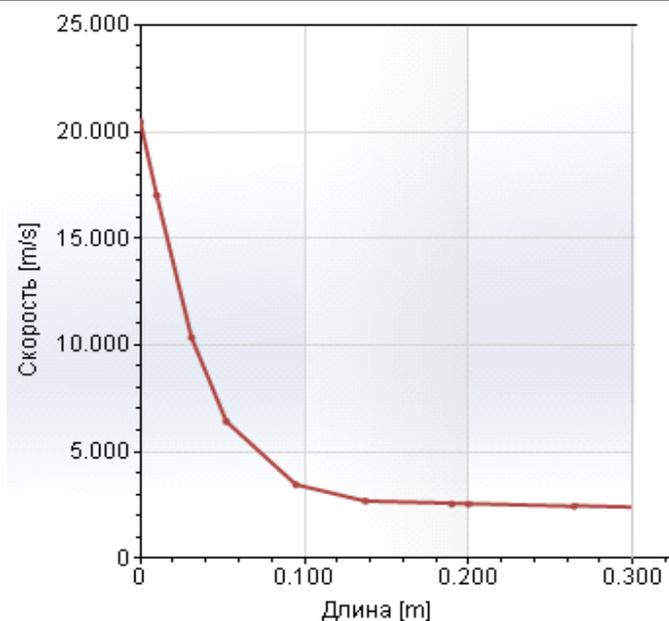


Рис. 3. График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при $Q_{\text{вс}} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$

Fig. 3. Graph of the dependence of axial velocities on the distance from the axis of the suction port $Q_{\text{ed}} = 600 \text{ м}^3/\text{h}$

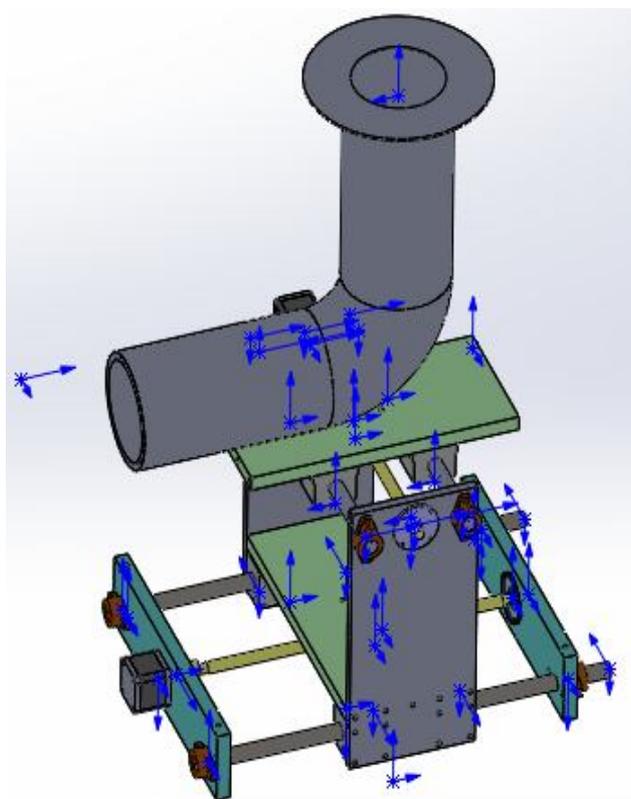


Рис. 4. Модель установки для удаления вредных веществ от раскроечных столов порталных машин плазменной резки

Fig. 4. Model of the installation for removing harmful substances from cutting tables of portal plasma cutting machines

Установка состоит из локального вытяжного устройства и приточно-вытяжной установки с фильтром, состоящей из двухканальных вентиляторов и фильтра.

Локальное вытяжное устройство активированное ограничивающей радиальной струей состояло из двух стальных трубопроводов длиной 300 мм, диаметры внутреннего D_v и наружного D_n трубопровода составили 100 мм и 115 мм соответственно установленных коаксиально, двух отводов диаметром 160 мм и 125 мм и системы воздухопроводов для подключения к вентиляторам и фильтру. Диффузор-ограничитель выполнялся из листов тонколистовой стали, соединенных вместе резьбовым способом. Диаметр диффузора – 200 мм. Диффузор устанавливался на расстоянии $H = 20$ мм от наружной трубы. Угол установки диффузора-ограничителя относительно оси трубопроводов – 90° .

Раскраиваемая заготовка представляет собой стальной диск толщиной 10 мм и диаметром 150 мм. Раскрой заготовки вви-

ду ее малой толщины осуществлялся с про-битием плазменной дугой при установленном значении тока $I = 25$ А. Раскроечный стол имел габариты 1500×1500 мм с приваренными по периметру пластинами шириной – 120 мм и ламелями, выполненными из стального уголка 40×40 . Вытяжное устройство размещалось на 50 – 80 см ниже уровня бортов и на 30 – 40 см от края стола с некоторым смещением по оси от разрезаемой заготовки.

Таким образом, расстояние от вытяжного устройства до заготовки по вертикальной оси составляло 20 см. Вентиляторы устанавливались на единый режим работы, соответствующий расходу $550 - 600$ м³/ч удаляемого воздуха.

Результаты и их обсуждение

На рис. 5 – 7 показаны 3 этапа разрезания заготовки: 1 – пробитие (рис. 5), 2 – выполнение реза (рис. 6), 3 – завершение реза (рис. 7).



Рис. 5. Фото удаления вредных веществ при первом технологическом этапе раскроя заготовки

Fig. 5. Photos of the removal of harmful substances during the first technological stage of cutting the workpiece



Рис. 6. Фото удаления вредных веществ при втором технологическом этапе раскроя заготовки

Fig. 6. Photos of the removal of harmful substances during the second technological stage of cutting the workpiece



Рис. 7. Фото завершающего технологического этапа раскроя заготовки

Fig. 7. Photo of the final technological stage of cutting the workpiece

Сравнивая этапы выполнения раскроя заготовки (см. рис. 5-7), можно утверждать, что наибольшим количеством выделяемых вредных веществ характеризуется этап 2, чуть меньшим количеством выделяемых вредных веществ характеризуется этап 1.

На рис. 8, 9 представлен вид сверху на разрезаемую деталь на втором этапе технологического процесса.

Как видно из приведенных фотографий, вытяжным устройством предложенной конструкции¹ осуществлялась достаточно эффективная локализация вредных веществ на всех этапах раскроя заготовки.

¹ Пат. № 207611 РФ.F24F 7/08 (2021.05) Коаксиальное локальное вытяжное устройство / Зайцев О.Н.; Сиваченко Ю.А. №2021105119; заявл. 25.02.2021 опублик. 03.11.2021 Бюл. № 31. 2 с.



Рис. 8. Фото удаления вредных веществ при втором технологическом этапе раскроя заготовки (вид сверху)

Fig. 8. Photo of the removal of harmful substances during the second technological stage of cutting the workpiece (top view)

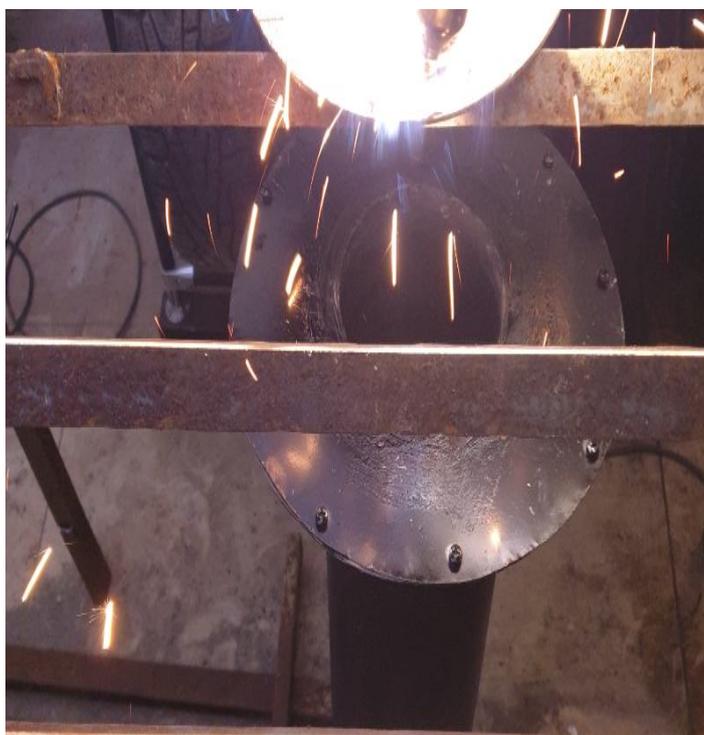


Рис. 9. Фото удаления вредных веществ при втором технологическом этапе раскроя заготовки (вид сверху и сбоку)

Fig. 9. Photos of the removal of harmful substances during the second technological stage of cutting the workpiece (top and side view)

Уноса вредностей ограничивающим потоком не происходит, что соответствует визуализациям, полученным по результатам численного моделирования в программном комплексе Solidworks Flow-simulation¹ [12-15].

Для вышеуказанных параметров работы воздухораздающего устройства реализующего принцип локального всасывания, активируемого радиальной струей воздуха для местной вытяжной вентиляции, используемых при плазменной обработке металлов, которые использовались для создания экспериментального стенда с целью подтверждения теоретических выводов показало соответствие заявленным характеристикам.

Выводы

В результате проведенного исследования всасывающих факелов коаксиального вытяжного устройства, ограничен-

ного раздающим радиально направленным потоком получено экспериментальное подтверждение данных, полученных при моделировании воздействия всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока. Получены геометрические параметры устройства, при которых достигается увеличение спектра всасывания локального вытяжно-го устройства предложенной конструкции, за счет определения схем, в которых достигается ограничение подтекания воздуха из задней полусферы точечного стока. Максимальная работоспособность предложенного устройства была достигнута при значении коэффициентов расхода $\beta = 1$, т.е. при равном соотношении расходов, при котором наблюдается достаточная стабилизации потока, а угол раскрытия ограничивающего радиально-го потока приближается к 90° .

Список литературы

1. Писаренко В.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. М.: Машиностроение, 1981. С. 92, 95-97.
2. Кортес А.Р. Сварка, резка, пайка металлов. М.: ООО «Арфа СВ», 1999. С. 138-141.
3. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. М.: Машиностроение, 1974. С.72-74.
4. Ширшов И.Г., Котикова В.Н. Плазменная резка. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1987. С.131-133.
5. Алямовский А.А. SolidWorksSimulation: Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.

¹ Пат. РФ. № 2046258F24F 7/06 Способ локальной вытяжной вентиляции и устройство для его осуществления /Спотарь С.Ю., Чохар И.А, Лукашов В.В, Прозоров Д.С. // 5050257/29; заявл. 30.06.1992; опубл. 20.10.1995. 8 с.

6. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб., 2005. С.170-191.
7. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. М.: Бином, 2004. 448 с.
8. Michael R. FLYNN, PAM SUSI Local Exhaust Ventilation for the Control of Welding Fumes in the Construction Industry A Literature Review // Oxford University Press Ann. Occup. Hyg., 2012. 56(7): 764–776.
9. Seok-Hwan Jeong, Hyuk-Min Kwon, Se-JinAhn&Jeong-Hoon Yang. A Study on the Improvement of Ventilation Rate Using Air-flow Inducing Local Exhaust Ventilation System // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2016. 15:1. P. 119-126.
10. Marin Gostimirović, Dragan Rodić, Milenko Sekulić, Andjelko Aleksić An Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining // ADVANCED TECHNOLOGIES AND MATERIALS. 2020. Vol. 45, no. 1. P. 1-8.
11. Shakeel ZAIDI, Natvarbhai SATHAWARA, Sunil KUMAR, Sumitra GANDHI, Chimanlal PARMAR and Habibullah SAIYED Development of Indigenous Local Exhaust Ventilation System: Reduction of Welders Exposure to Welding Fumes // Journal of Occupational Health. 2004. Vol. 46. P. 323–328.
12. Способ удаления вредных веществ от мест плазменной резки / В. Гуцу, С.А. Егоров, Т.Д. Целый, О.Н. Зайцев, Ю.А. Сиваченко // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды. XII Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: статьи и тезисы. Уфа: Изд-во ЦИТО+, 2023. С. 133-136.
13. Исследование эффективности работы вентсистем / С.Н. Шатило [и др]. Гомель: БелГУТ, 2015. 46 с.
14. Сборник материалов Международной конференции студентов аспирантов и молодых учёных «Перспектив Свободный-2016», посвящённой Году образования в Содружестве Независимых Государств. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. С. 4-7.
15. Логачев И.Н., Логачев К.И. Аэродинамические основы аспирации. СПб.: Химиздат, 2005. 659 с.

References

1. Pisarenko V.L. Ventilation of workplaces in welding production. Moscow: Mashinostroenie; 1981. P. 92, 95-97 (In Russ.).
2. Cortes A.R. Welding, cutting, soldering of metals. Moscow: Arfa SV; 1999. P. 138-141 (In Russ.).
3. Vasiliev K.V. Plasma arc cutting. Moscow: Mashinostroenie; 1974. P.72-74 (In Russ.).

4. Shirshov I.G., Kotikova V.N. Plasma cutting. Leningrad: Mashinostroenie. Leningr. otd-ie; 1987. P.131-133 (In Russ.).
5. Alyamovsky A.A. SolidWorksSimulation: Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations. Moscow: DMK Press; 2015. 562 p. (In Russ.).
6. Alyamovsky A.A. SolidWorks. Computer modeling in engineering practice. St. Petersburg; 2005. P.170-191 (In Russ.).
7. Prokhorenko V.P. SolidWorks Practical Guide. Moscow: Binom; 2004. 448 p. (In Russ.).
8. Michael R. Flynn, Pam Susi Local Exhaust Ventilation for the Control of Welding Fumes in the Construction Industry—A Literature Review. *Oxford University Press Ann. Occup. Hyg.*; 2012. 56(7): 764–776.
9. Seok-Hwan Jeong, Hyuk-Min Kwon, Se-JinAhn&Jeong-Hoon Yang. A Study on the Improvement of Ventilation Rate Using Air-flow Inducing Local Exhaust Ventilation System. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2016; 15:1: 119-126.
10. Marin Gostimirović*, Dragan Rodić, Milenko Sekulić, AndjelkoAleksićAn Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining. *Advanced technologies and materials*. 2020; 45(1): 1-8.
11. Shakeel Zaidi, Natvarbhai Sathawara, Sunil Kumar, Sumitra Gandhi, Chimanlal Parmar and Habibullah Saiyed. Development of Indigenous Local Exhaust Ventilation System: Reduction of Welders Exposure to Welding Fumes. *Journal of Occupational Health*. 2004; 46: 323–328.
12. Gutsu V., Egorov S.A., Whole T.D., Zaitsev O.N., Sivachenko Yu.A. Method for removing harmful substances from plasma cutting sites. In: *Vodosnabzhenie, vodootvedenie i sistemy zashchity okružhayushchei sredy. XII Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Stat'i i tezisy = Water supply, water disposal and environmental protection systems. XII International Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists. Articles and theses*. Ufa: CITO+; 2023. P. 133-136 (In Russ.).
13. Shatilo S.N., et al. Study of the efficiency of ventilation systems. Gomel: BelGUT; 2015. 46 p. (In Russ.).
14. Collection of materials of the International Conference of Postgraduate Students and Young Scientists «Svobodny Avenue-2016», dedicated to the Year of Education in the Commonwealth of Independent States. Krasnoyarsk: Sibirskii federal'nyi universitet; 2016. P. 4-7 (In Russ.).
15. Logachev I.N., Logachev K.I. Aerodynamic principles of aspiration. St. Petersburg: Khimizdat; 2005. 659 p. (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Сиваченко Юрий Анатольевич, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Институт «Академия строительства и архитектуры», г. Симферополь, Российская Федерация, e-mail: strikermk12@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-982x>

Зайцев Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: zon071941@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9084-9355>, ScopusID: 57198778856

Бурцев Алексей Петрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инфраструктурных энергетических систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ap_burtsev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-960X>, ScopusID: 57090197100

Yuri A. Sivachenko, Post-Graduate Student of Heat, Gas Supply and Ventilation Department, Vernadsky Crimean Federal University, Institute «Academy of Construction and Architecture», Simferopol, Russian Federation, e-mail: strikermk12@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-982x>

Oleg N. Zaitsev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor of the Infrastructure Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation e-mail: zon071941@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9084-9355>, ScopusID: 57198778856

Alexey P. Burtsev, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Lecturer of the Infrastructure Energy Systems Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ap_burtsev@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2003-960X>, ScopusID: 57090197100