

DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-44-52

<sup>1,\*</sup>Зайцев О.Н., <sup>2</sup>Сиваченко Ю.А.<sup>1</sup>Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишутина<sup>2</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского

\*E-mail: zon071941@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВИРОВАННОГО РАДИАЛЬНОЙ СТРУЕЙ ВСАСЫВАЮЩЕГО ПОТОКА ИЗ ЗОНЫ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ

**Аннотация.** В статье представлены данные, полученные при проведении исследования локального вытяжного устройства, активируемого перпендикулярной прямоточной струей позиционируемого в зоне плазменной резки в выходном пространстве тепловой гетерогенной струи, а также результаты численного моделирования различных вариантов активации всасывающего течения (увеличение дальности всасывающего потока), позволившие определить геометрические параметры устройства и определения диапазона варьирования расходов для формирования ограничивающей радиальной струи и добиться отсутствия негативного взаимодействия приточной радиальной ограничивающей струи и всасывающего потока для предложенной конструкции локального вытяжного устройства. Представлены данные, полученные при экспериментальном исследовании предложенной конструкции всасывающего устройства, разработанного по результатам численного моделирования. Изложены конструктивные особенности устройства, реализующего указанный способ активации всасывающего потока. Описаны технологические и производственные факторы технологии плазменного раскроя различных металлов, повлиявшие на выбор способа позиционирования вытяжного устройства предложенной по результатам моделирования конструкции, также рассмотрены вредные производственные факторы, преобладающим из которых является образующиеся в процессе плазменной резки вредные выбросы (пыль, аэрозоли, токсичные соединения, газы). Получены и обоснованы экспериментальные данные, в результате моделирования взаимодействия, всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока.

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

**Введение.** В Российской Федерации за последние годы производство металлорежущих станков увеличилось с 2928 до более чем 5500 единиц, среди которых количество станков плазменной резки составляет около 1,8–2 тыс. штук [1–3]. Для локализации используется широкий спектр различных вытяжных устройств, которые удаляют значительные объемы воздуха и не всегда способны локализовывать и устранять из рабочей зоны вредные выбросы при плазменной резке. Для таких систем средний объем удаляемого воздуха составляет от 6000–8000 м<sup>3</sup>/ч до 12000 м<sup>3</sup>/ч [4, 5].

Существующие способы и средства локализации вредностей разнообразны. Исследованиям в области локализации вредностей и повышении эффективности всасывающих течений посвящены труды [6–8], вместе с тем вытяжные системы от столов для плазменной резки отличаются разнообразием и широкой номенклатурой реализуемых технических решений, которые требуют значительных объемов вытяжного воздуха и характеризуются низкой эффективностью из-за быстрого снижения скорости всасывания [9, 10].

Таким образом, основной задачей исследования является выявление путей повышения эффективности локализации и удаления вредных

выбросов при плазменной резке металлов, из области под поверхностью металла с помощью локального вытяжного устройства, с увеличенной эффективностью локализации вредностей, как одного из наиболее перспективных направлений, с учетом технологических особенностей [11–14, 15].

Применение, для локализации и удаления вредных выбросов из области под поверхностью металла с помощью локального всасывания, активируемого радиальной струей воздуха, имеет существенный потенциал в развитии локальных вытяжных устройств, в том числе и для модернизации средств местной вытяжной вентиляции, используемых при плазменной обработке металлов, с целью улучшения качества условий труда и снижения затрат.

Целью исследования являлось определение геометрических параметров устройства, благодаря которому станет возможно реализовать принцип локализации вредностей с учетом технологических особенностей существующего оборудования для плазменной резки и повысить эффективность локализации и удаления вредностей от стационарных и нестационарных (автоматизированных) постов плазменной резки.

**Материалы и методы.** Задачи, продиктованные целями исследования, решались с помощью математических методов физического моделирования и численного моделирования [16–18]. Численное моделирование было использовано для получения пространственного представления линий потока, полей температуры, скорости и давления. Физическое моделирование было применено для получения зависимостей, которые формулируют методы расчета аэродинамических, экологических и энергетических параметров результирующего потока при взаимодействии плазменного потока со спектром всасывания и радиально активируемой струей [19–21]. Достоверность полученных выводов и рекомендаций основана на современных взглядах на аэродинамику и теплопередачу и подтверждается тем фактом, что полученные результаты не противоречат выводам из известных положений. Аэродинамические исследования процесса удаления вредных выбросов из мест плазменной резки металла проводились на экспериментальной установке, в основе которой лежит устройство предлагаемого локального отсоса, приводимого в действие устройством, создающим радиальную подающую ограничивающую струю.

**Основная часть.** Плазменная резка многофакторный процесс, зависящий от многих параметров, таких как применяемые газы, толщина заготовки, скорость резки и ряд других [22]. К примеру, эффективность резки металлов растет при использовании газов, экзотермически реагирующих с кислородом. Благодаря этому повышается производительность резки [23], но при этом также и повышается количество плавильной пыли, выброшенной в окружающую среду, которое также зависит от ширины разреза, толщины металла, его вида. Мощность выброса зависит также от скорости резки, а, следовательно, и от установленного режима. Стоит также учитывать и позиционирование заготовки для обеспечения закрывания площади стола не менее 75–80 % от рабочей площади [24]. В случае если резка начинается вне контура детали на поверхности листа, то такой способ именуют пробитием на отходе. Скорость движения плазматрона при пробивке уменьшается в 1,5–2 раза от заданной. Для толщин 20–30 мм врезание или пробивка особых регулировок не требует [25]. На криволинейных участках с целью недопущения искажения кромок детали скорость реза также снижают до 40–50 %. При завершении реза скорость также понижают для осуществления прорезания на конечном участке [26, 27]. Все вышеуказанные факторы влияют на мощность выброса, количество пыли, которая образовалась при резке. Под воз-

действием высокотемпературной струи происходит окисление металла, в том числе и легирующих элементов, а также образуются вредные газы, такие как окислы азота, окись углерода. Данные газы пагубно влияют на организм, вызывая поражение органов дыхания и крови, пищеварительной системы [28]. Количество плавильной пыли, образующейся при плазменной резке ниже, чем при газовой, ввиду того, что ширина реза металла получается уже, однако скорость реза значительно выше, что обеспечивает большую мощность выброса [29], но стоит также учитывать, что, несмотря на это выбросы вредных веществ при использовании этой технологии значительны и опасны для здоровья рабочих, что обуславливает необходимость поддержания требуемых параметров микроклимата на рабочих местах. Установлено, что наибольшая локализация образующихся вредностей происходит под нижней плоскостью заготовки, что обуславливает способ локализации и удаления вредностей из нижней зоны реза заготовки.

Устройство, в котором реализуется вышеизложенный принцип локального всасывания, активируемого радиальной струей воздуха, реализовывался моделью, состоящей из двух труб, установленных коаксиально и соосно, таким образом, что образуют межтрубное пространство для подачи ограничивающего потока (наружное пространство) и пространство для удаления воздуха (внутреннее пространство). Всасывающий поток движется по внутреннему воздуховоду. В межтрубном пространстве подающая поток движется в противоположном направлении. После истечения из отверстия подаваемый поток создает ограничивающую зону, путем натекания на ограничивающий диффузор и распространяется радиально в пространстве. В качестве исходных условий для моделирования были приняты следующие данные: атмосферное давление –  $P_a = 101\,325$  Па; температура воздуха –  $t_n = 20$  °С; расход воздуха, проходящего в межтрубном пространстве и во внутренней трубе –  $Q_{vy} = 200–1000$  м<sup>3</sup>/ч шагом в 200 м<sup>3</sup>/ч для модели с ограничивающим потоком и  $Q_{vy} = 1000$  м<sup>3</sup>/ч для модели без ограничивающего потока; длина участка внутренней трубы –  $l_{vy} = 500$  мм; длина наружного сечения трубы  $l_n = 490$  мм. Ширина воздухораздающей щели  $l_1 = 20$  мм. Диаметры внутреннего воздуховода  $D_v$  и наружного воздуховода  $D_n$  составляли 100 мм и 115 мм соответственно. В первом приближении диаметр ограничивающего диффузора составлял  $D_d = 100$  мм, затем он был увеличен на 100 мм с конечным значением 200 мм. Угол наклона ограничивающего диффузора относительно оси воздухопроводов составлял 90°.

Принципиальная схема модели показана на рисунке 1. В этой задаче движение текучих сред, т.е. удаляемых газов и подаваемой струи, моделируется с применением уравнений Навье–Стокса, которые в нестационарной формулировке описывают законы сохранения массы, импульса и энергии этих сред, численная реализация которых выполняется в программный пакет SolidWorks.

Принципиальная схема установки с коаксиальным вытяжным устройством представлена на рисунке 2 и состоит из коаксиального вытяжного устройства (1), корпуса (2), поворотной камеры (3), побудителя (4).

Коаксиальное вытяжное устройство (рис. 3) в свою очередь состоит из диффузора-ограничителя (5), наружного трубопровода (6), внутреннего трубопровода (7), регулирующей манжеты (8), центрирующих шпилек (9).

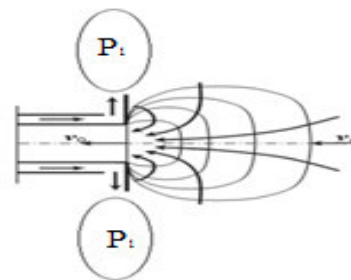


Рис. 1. Принципиальная схема организации удаления воздуха предложенным способом

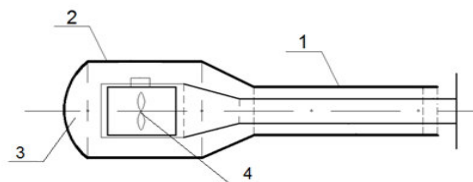


Рис. 2. Схема установки с коаксиальным вытяжным устройством

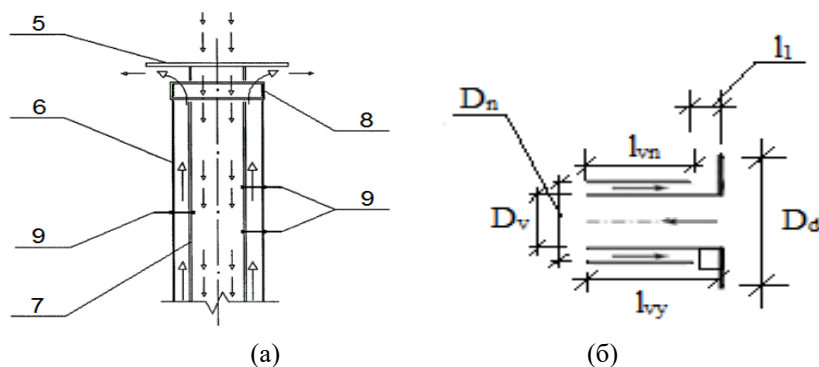


Рис. 3. Принципиальная схема (а) и геометрические параметры (б) коаксиального вытяжного устройства

Принцип работы экспериментальной установки заключается в следующем: воздушный поток всасывается через внутреннюю трубу (7), на которой закреплен круглый ограничительный диффузор (5); внутренний воздуховод меньшего диаметра вставляется во внешний воздуховод большего диаметра, а наружный воздуховод меньшего диаметра – в наружный воздуховод большего диаметра. Воздуховод установлен на некотором расстоянии от диффузора, который закреплен на воздуховоде меньшего диаметра, образуя воздухораспределительное устройство. Второй поток проходит через межтрубное пространство, образованное внутренней трубой (7) и внешней трубой (6). Трубы закреплены вместе центрирующими направляющими (9) для регулировки расстояния между трубами. Регулировка ширины воздухораспределительной щели осуществляется манжетой (8) путем изменения расстояния от наружной трубы до диффузора-ограничителя. Поток, проходящий через межтрубное простран-

ство, перемещается к выпускному отверстию, образованному внешней трубой (6), и ограничивающий диффузор (5) натекает на ограничивающий диффузор и затем распределяется в пространстве вокруг устройства, образуя тем самым область повышенного давления.

Для определения основных характеристик всасывающего потока был проведен комплекс экспериментальных исследований, заключающихся в определении зоны действия всасывающего потока, распределении скоростей на различных расстояниях от всасывающего отверстия, а также определении осевой скорости потока.

На первом этапе была определена зона действия всасывающего потока. Для этого на расстоянии 800 мм от всасывающего патрубка был установлен штатив с анемометром АТЕ 1034 Актacom. На ограничивающий диффузор была нанесена осевая разметка для определения центра отверстия. Штатив устанавливался соосно центру всасывающего отверстия. В ходе экспери-

мента штатив был размещен на трафарете размером  $1000 \times 1000$  мм, размеченном с шагом 50 мм, одна сторона которого в свою очередь располагалась таким образом, чтобы ось диффузора совпала с центральной осью трафарета. Ориентируясь на значения расстояний, полученные по результатам моделирования при проведении измерений, штатив перемещался от всасывающего отверстия в противоположном направлении, смещаясь к ранее определенной границе зоны всасывающего потока при контроле в каждой точке на фиксированном расстоянии 50 мм с фиксацией показаний на табло анемометра; при проведении экспериментов в конечных точках показания усреднялись, по результатам проведения серии из не менее чем пяти измерений в точке с разницей между результатами не более чем на  $\pm 5\%$  показания фиксировались, в обратном случае серии измерений повторялись.

В результате проведенного моделирования и экспериментального исследования воздушного потока, образующегося при работе местного активированного отсоса и не активированного отсоса с заданным расходом  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , получено, что подтекание воздушных потоков происходит из всей сферы во всасывающее отверстие, что соответствует утверждениям, изложенным в [9] и изображенным на визуализации на рисунке 4.

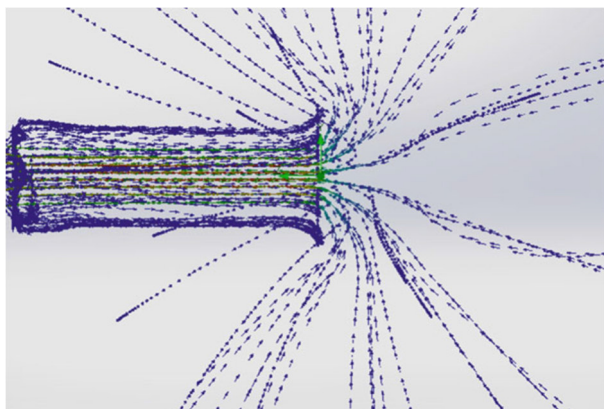


Рис. 4. Визуализация линий потока при работе неактивированного отсоса

Осевая скорость составляла  $0,8\text{--}1,2$  м/с на расстоянии  $10\text{--}15$  см от всасывающего отверстия;  $0,4\text{--}0,6$  м/с на расстоянии 30 см; скорость воздуха составляла  $0,1$  м/с на расстоянии 45 см. При заданном расстоянии  $l_1 = 15$  мм (рис. 5) была получена схема течения, при которой было достигнуто ограничение подтекания воздушных потоков из задней полусферы; в то же время во фронтальной зоне стабильность потоков относительно друг друга достигнута не была. При заданном расстоянии  $l_1 = 35$  мм ограничение подтекания воздуха из задней полусферы не достигается (рис. 6).

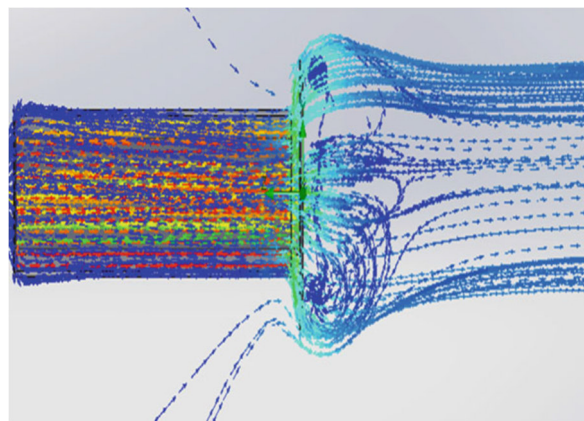


Рис. 5. Визуализация линий потока при ширине отверстия для раздающего потока  $l_1 = 15$  мм

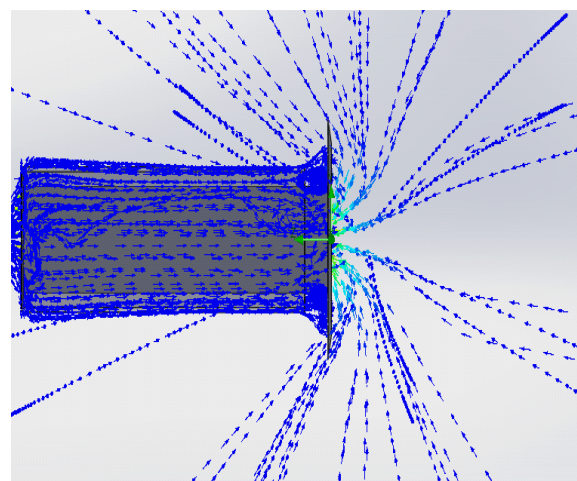


Рис. 6. Визуализация линий потока при ширине отверстия для раздающего потока  $l_1 = 35$  мм

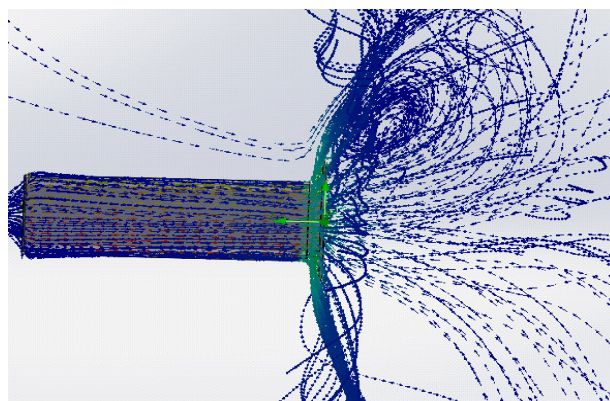


Рис. 7. Визуализация линий потока при ширине отверстия для раздающего потока  $l_1 = 20$  мм

Результаты моделирования показывают, что для равных соотношений расходов с заданными параметрами устройства (рис. 7), достигнуто отсутствие негативных факторов струйного взаимодействия при формировании воздушного приточного потока в виде воздушной радиальной струи при заданных геометрических параметрах устройства с шириной воздухораздающей щели  $l_1 = 20$  мм.

В результате сравнения данных полученных при численном моделировании, а также при проведенных экспериментальных исследованиях на

собранный установке для точек с расходом 380, 450 м<sup>3</sup>/ч и точки с расходом в 1000 м<sup>3</sup>/ч для неактивированного отсоса построен сравнительный график осевых скоростей.

На основании полученных данных была построена зависимость осевых скоростей от расстояния от оси всасывающего отверстия при различных значениях  $Q$  и величине соотношения потоков  $\beta = 1$ . На рисунке 8 показан сводный график

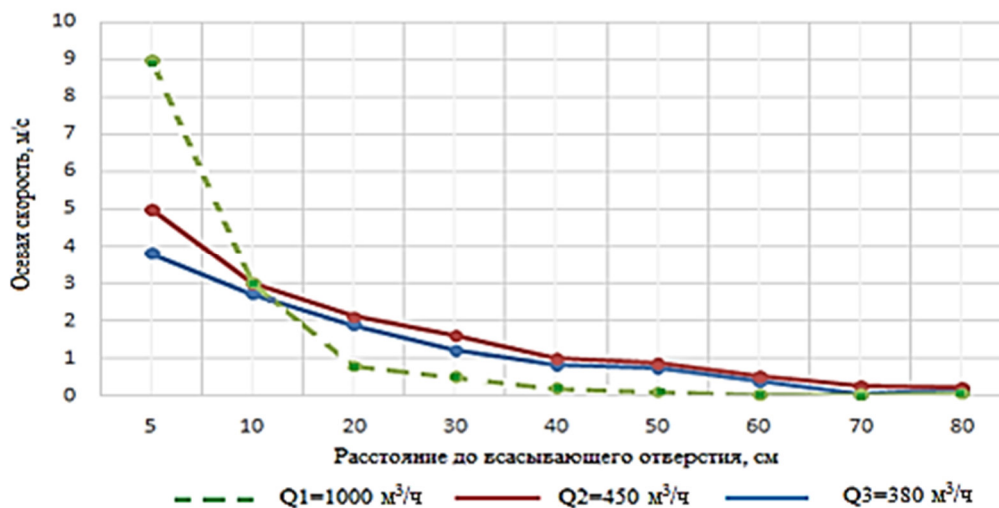


Рис. 8. График зависимости осевых скоростей от удаленности от оси всасывающего отверстия при заданных расходах для неактивированного  $Q_1$  (м<sup>3</sup>/ч) и активированного отсоса  $Q_2$ ,  $Q_3$  (м<sup>3</sup>/ч)

Анализируя график, видно, что осевые скорости для устройства, активированного приточной радиальной струей, значительно выше по сравнению с неактивированным местным отсосом.

Таким образом, на основе сведений, полученных в результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований всасывающего потока коаксиального вытяжного устройства предложенной конструкции, выявлено снижение влияния негативных факторов взаимодействия струй (приточного и вытяжного потоков), позволяющие добиться повышения осевой скорости всасывающего потока для равного соотношения расходов воздуха. Были предложены некоторые конструктивные решения вытяжного устройства для систем локальной вентиляции для удаления вредных выбросов при плазменной обработке металлов, позволяющие улучшить условия труда [30].

**Выводы.** В результате проведенного эксперимента были обоснованы данные численного моделирования взаимодействия, всасывающего и радиально направленного ограничивающего потока. Также получены геометрические параметры устройства, которое формирует ограничивающий радиально направленный распределяющий поток, при которых достигается улучшение условий формирования всасывающего потока,

зависимости осевых скоростей от расстояния от оси всасывающего отверстия при заданных расходах  $Q_1, Q_2, Q_3$  и равном значении соотношений расходов всасывающего и подающего воздушных потоков для значений, полученных в результате моделирования и по результатам экспериментальных исследований.

спектр всасывания и дальнобойность всасывающего течения, что также подтвердилось в результате проведенного экспериментального исследования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Бутов А.М. Рынок продукции станкостроения //Официальный сайт Национального исследовательского университета «Высшей школы экономики». Институт «Центр развития». 2020. С. 1–4. URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/11/07/1361776905/Рынок%20продукции%20станкостроения-2020.pdf> (дата обращения 24.07.2024).
- Концепция ускоренного экспортного развития станкостроительной отрасли на 2018-2025 годы, разработанная в рамках реализации национального проекта «Международная кооперация и экспорт в промышленности»: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 ноября 2020 г. № 2869-р // Официальный сайт Правительства Российской Федерации РФ. 2020, С. 8–11. URL: <http://static.government.ru/media/files/NyeLKqLhrJrydnGRBm39nH10hJNOzHzQ.pdf>. (дата обращения 24.07.2024).
- Основные направления деятельности Правительства Российской Федерации на период до 2024 года // Официальный сайт

- Правительства Российской Федерации. Москва, 2018. С. 16. URL: <http://static.government.ru/media/files/ne0vGNJUK9SQjIGNNsXIX2d2CpCho9qS.pdf>. (дата обращения 24.07.2024).
4. Каталог оборудования для плазменной резки ОАО «Зонт». URL: [http://www.artadmires.com/www/zont/production/dop\\_oborud/stol/](http://www.artadmires.com/www/zont/production/dop_oborud/stol/). (дата обращения 10.06.2024).
5. Atabi F., Nouri A. Study of air pollution due to plasma cutting process and designing local ventilation system with collector in central workshop of mobarakeh steel company // *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2014. № 1(2). Pp. 10–19.
6. Zaitsev O.N., Logachev K.I., Goltsov A.V. Increasing the pollutants capture rate by local exhaust due to the use of external swirling jet // *Research methods refractories and industrial ceramics*. 2022. № 3. Pp 332–336. DOI:10.1007/s11148-022-00731-8
7. Аверкова О.А., Крутикова Д.Н., Логачев И.Н. К вопросу о моделировании воздушного течения вблизи бортового отсоса от гальванической ванны // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. № 8. С. 75–81. DOI:10.12737/article\_5968b450702221.87072424
8. Зайцев О.Н., Степанцова Н.А., Аверкова О.А., Логачев К.И., Уваров В.А. Исследование свободной закрученной струи с прецессирующим вихревым ядром // *Строительство и технологическая безопасность*. 2017. № 8. С. 109–113.
9. Писаренко В.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. М.: Изд-во «Машиностроение». 1981. 119 с.
10. Девисилов В.А. Охрана труда. 3-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. 440 с.
11. Гельберг Б.Т., Пекелис Г.Д. Ремонт промышленного оборудования. Изд. 9-е, перераб. и доп. М.: Изд-во «Высшая школа», 1988. 61 с.
12. Анахов С.В. Принципы и методы проектирования в электроплазменных и сварочных технологиях. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2014. 143 с.
13. 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. № 7. Pp. 764–776. DOI: 10.1093/annhyg/mes018
14. Jeong S.-H., Kwon H.-M., Ahn S.-J., Yang J.-H. 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. Pp. 119–126. DOI: 10.3130/jaabe.15.119
15. Zaidi S., Sathawara N., Kumar S., Gandhi S., Parmar C., Saiyed H. Development of Indigenous Local Exhaust Ventilation System: Reduction of Welders Exposure to Welding Fumes // *Journal of Occupational Health*. 2004. № 46. Pp. 323–328. DOI:10.1539/joh.46.323
16. Алямовский А.А. SolidWorksSimulation: Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. Москва: Изд-во «ДМК Пресс», 2015. 562 с.;
17. Прохоренко В.П. SolidWorks Практическое руководство. Москва: Изд-во «Бином», 2004. 448 с.
18. Алямовский А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. Санкт-Петербург: Изд-во "БХВ-Петербург", 2005. 1019 с.
19. Бояршинова А.К. Теория инженерного эксперимента. Челябинск: ЮУрГУ, 2006. 85 с.
20. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. Пер. с нем. М.: Изд-во «Мир», 1977. 552 с.
21. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. М.: Изд-во «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, 1983. 392 с.
22. Gostimirović M., Rodić D., Sekulić M., Aleksić A. An Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining // *Advanced technologies and materials*. 2020. № 1. Pp. 1–8. DOI:10.24867/ATM-2020-1-001
23. Кортес А.Р. Сварка, резка, пайка металлов. М.: Изд-во ООО «Арфа СВ», 1999. С. 192.
24. Тимофеева О.Н., Векслер Г.С. Местные вытяжные устройства к оборудованию для сварки и резки металлов. Л.: Изд-во ВНИИ охраны труда ВЦСПС в Ленинграде, 1980. С. 24–29.
25. Васильев К.В. Плазменно-дуговая резка. М.: Изд-во «Машиностроение», 1974. 77 с.
26. Ширшов И.Г., Котикова В.Н. Плазменная резка. Л.: Изд-во «Машиностроение». Ленингр. отд-ие, 1987. 192 с.
27. Малаховский В.А. Руководство для обучения газосварщика и газорезчика. М.: Изд-во «Высшая школа», 1990. 296 с.
28. Левченко О.Г., Метлицкий В.А. Современные средства защиты сварщиков. Киев: Изд-во «Экотехнология», 2001. 84 с.
29. Соколов И.И. Газовая сварка и резка металлов. М.: Изд-во «Высшая школа», 1978. 318 с.
30. Пат. №. 207611 РФ.F24F 7/08 (2021.05) Патент на полезную модель - Коаксиальное локальное вытяжное устройство/ Сиваченко Ю.А. №2021105119; заявл. 25.02.2021 опубл. 03.11.2021 Бюл. № 31. 2 с.

## Информация об авторах

**Зайцев Олег Николаевич**, доктор технических наук профессор кафедры инфраструктурных энергетических систем. E-mail: zon071941@mail.ru. Юго-Западный государственный университет им. И.И. Ишутина. Россия, 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

**Сиваченко Юрий Анатольевич**, аспирант кафедры Теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: strikermk12@mail.ru. Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского. Республика Крым, 295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4.

Поступила 24.07.2024 г.

© Зайцев О.Н., Сиваченко Ю.А., 2024

<sup>1,\*</sup>Zaitsev O.N., <sup>2</sup> Sivachenko Yu.A.

<sup>1</sup>Southwest State University

<sup>2</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University

\*E-mail: zon071941@mail.ru

## INVESTIGATION OF THE SUCTION FLOW ACTIVATED BY A RADIAL JET FROM THE PLASMA CUTTING ZONE

**Abstract.** The article presents the data obtained during the study of a local exhaust device activated by a perpendicular ramjet positioned in the plasma cutting zone in the outlet space of a thermal heterogeneous jet. In addition, there are the results of numerical modeling of various options for activating the suction flow (increasing the range of the suction flow), which made it possible to determine the geometric parameters of the device and determine the range of variation of flow rates for the formation of a limiting radial jet and to achieve the absence of negative interaction between the supply radial limiting jet and the suction flow for the proposed design of the local exhaust device. The results of experimental studies of the proposed design of the suction device obtained by numerical simulation are presented. The design features of the device implementing the specified method of activating the suction flow are described. The technological and production factors of plasma cutting technology of various metals are described, which influenced the choice of the method of positioning the exhaust device of the design proposed based on the results of modeling, and harmful production factors are also considered, the predominant of which is harmful emissions formed during plasma cutting (dust, aerosols, toxic compounds, gases). Experimental data obtained by modeling the interaction of a suction and radially directed limiting flow are obtained and substantiated.

**Keywords:** local suction, plasma cutting, suction torch, removal, local absorption.

### REFERENCES

1. Butov A.M. Market for machine tool products. Official website of the National Research University Higher School of Economics. Development Center Institute. 2020. Pp. 1–4 URL: <https://dcenter.hse.ru/data/2020/11/07/1361776905/> (Accessed 24.07.2024) (rus)
2. The concept of accelerated export development of the machine tool industry for 2018-2025, developed as part of the implementation of the national project «International cooperation and export in industry»: Order of the Government of the Russian Federation of November 5, 2020 No. 2869-r. Official website of the Government of the Russian Federation of the Russian Federation. 2020. Pp. 8–11. URL: <http://static.government.ru/media/files/NyeLKqLhrJrydnGRBm39nHl0hJNOzHzQ.pdf>. (Accessed 24.07.2024) (rus)
3. Main directions of activity of the Government of the Russian Federation for the period until 2024. Official website of the Government of the Russian Federation. Moscow. 2018. Pp. 16. URL: <http://static.government.ru/media/files/ne0vGNJuk9SQjIGNNsXIX2d2CpCho9qS.pdf>. (Accessed 24.07.2024) (rus)
4. Official website (JSC «Umbrella»). Catalog of equipment for plasma cutting [Electronic resource] URL: [http://www.artadmires.com/www/zont/production/dop\\_oborud/stol/](http://www.artadmires.com/www/zont/production/dop_oborud/stol/). (Accessed 10.06.2024) (rus)
5. Atabi F., Nouri A. Study of air pollution due to plasma cutting process and designing local ventilation system with collector in central workshop of Mobarakeh steel company. Journal of Occupational Hygiene Engineering. 2014. Vol. 1. Pp. 10–19.
6. Zaitsev O.N., Logachev K.I., Goltsov A.B. Increasing the pollutants capture rate by local exhaust due to the use of external swirling jet. Research methods refractories and industrial ceramics. 2022. Vol. 63. No. 6. Pp. 332–336. DOI:10.1007/s11148-022-00731-8

7. Averkova O.A., Krutikova D.N., Logachev I.N. On the issue of modeling the air flow near the onboard suction from the galvanic bath [K voprosu o modelirovanii vozdušnogo techeniya vblizi bortovogo otsosa ot gal'vanicheskoy vanny]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 75–81. DOI:10.12737/article\_5968b450702221.87072424(rus)
8. Zaitsev O.N., Stepantsova N.A., Averkova O.A., Logachev K.I., Uvarov V.A. Investigation of a free swirling jet with a precessing vortex core [Issledovanie svobodnoj zakruchennoj strui s precessiruyushchim vkhrevym yadrom] Construction and technogenic safety [Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost']. 2017. No. 8. Pp. 109–113. (rus)
9. Pisarenko V.L. Ventilation of workplaces in welding production [Ventilyaciya rabochnih mest v svarochnom proizvodstve]. Moscow.: «Mechanical Engineering». 1981. 119 p. (rus)
10. Devisilov V.A. Labor protection [Ohrana truda] Moscow.: FORUM: INFRA-M, 2013. 157 p. (rus)
11. Gelberg B.T., Pekelis G.D. Repair of industrial equipment [Remont promyshlennogo oborudovaniya]. Moscow.: «Higher School», 1988. 61 p. (rus)
12. Anakhov S.V. Principles and methods of design in electroplasma and welding technologies [Principy i metody proektirovaniya v elektroplazmennyyh i svarochnyh tekhnologiyah]. Yekaterinburg: Publishing House of the Russian State Prof-Ped. Unita, 2014. 10–13 p. (rus)
13. 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. Vol. 56. Pp. 764–776. DOI: 10.1093/annhyg/mes018
14. Jeong S.-H., Kwon H.-M., Ahn S.-J., Yang J.-H. A Study on the Improvement of Ventilation Rate Using Air-flow Inducing Local Exhaust Ventilation System. Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2016. Vol. 15. Pp. 119–126. DOI: 10.3130/jaabe.15.119
15. Zaidi S., Sathawara N., Kumar S., Gandhi S., Parmar C., Saiyed H. Development of Indigenous Local Exhaust Ventilation System: Reduction of Welders Exposure to Welding Fumes. Journal of Occupational Health. 2004. Vol. 46. Pp. 323–328. DOI:10.1539/joh.46.323
16. Alyamovsky A.A. SolidWorks Simulation: Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations [Inzhenernyj analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii]. Moscow: DMK Press, 2015. 562 p. (rus)
17. Prokhorenko V.P. SolidWorks Practical guide [SolidWorks Prakticheskoe rukovodstvo]. Moscow: Binom, 2004. 448 p. (rus);
18. Alyamovsky A.A. SolidWorks. Computer modeling in engineering practice [Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike]. St. Petersburg: «BHV-Petersburg», 2005. Pp. 170–191. (rus)
19. Boyarshinova A.K. Theory of engineering experiment [Teoriya inzhenernogo eksperimenta]. Chelyabinsk: SUSU, 2006. 85 p. (rus)
20. Hartman K. Planning an experiment in the study of technological processes [Planirovanie eksperimenta v issledovanii tekhnologicheskikh processov]. Trans. from German. Moscow: "Mir", 1977. 552 p. (rus)
21. Ermakov S.M. Mathematical theory of experiment planning [Matematicheskaya teoriya planirovaniya eksperimenta]. Moscow: Nauka, 1983. 392 p. (rus)
22. Gostimirović M., Rodić D., Sekulić M., Aleksić A. An Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining. Advanced technologies and materials. 2020. Vol. 45. Pp. 1–8. DOI:10.24867/ATM-2020-1-001
23. Cortes A.R. Welding, cutting, soldering of metals [Svarka, rezka, pajka metallov]. Moscow.: LLC «Arfa SV», 1999. Pp. 138–141. (rus)
24. Timofeeva O.N., Veksler G.S. Local exhaust devices for equipment for welding and cutting metals. Leningrad [Mestnye vytyazhnye ustrojstva k oborudovaniyu dlya svarki i rezki metallov].: Publishing House of the Institute of Labor Protection of the All-Russian Union of Industrial Safety in Leningrad, 1980. Pp. 24-29. (rus)
25. Vasiliev K.V. Plasma arc cutting [Plazmenno-dugovaya rezka]. Moscow: «Mechanical Engineering», 1974. Pp.72-74. (rus)
26. Shirshov I.G., Kotikova V.N. Plasma cutting [Plazmennaya rezka]. Leningrad.: «Mechanical Engineering». Leningr. publishing house, 1987. Pp. 131–133. (rus)
27. Malakhovsky V.A. A guide for the training of a gas welder and a gas cutter [Rukovodstvo dlya obucheniya gazosvarshchika i gazorezchika]. Moscow.: Publishing «Higher School», 1990. Pp. 282–285.
28. Levchenko O.G., Metlitsky V.A. Modern means of protection for welders [Sovremennyye sredstva zashchity svarshchikov]. Kiev: «Ecotechnology», 2001. P.5. (rus)
29. Sokolov I.I. Gas welding and metal cutting [Gazovaya svarka i rezka metallov] Moscow: Higher School, 1978. P.167, 204. (rus)
30. Sivachenko Yu.A. Coaxial local exhaust device. Patent RF, no. 207611. 2021.



*Information about the authors*

**Zaitsev, Oleg N.** DSc, Professor. E-mail: zon071941@mail.ru. Southwest State University. 94, Str. 50 Let Oktyabrya, Kursk, Russia, 305040,

**Sivachenko, Yuri A.** Postgraduate student. E-mail: strikermk12@mail.ru. V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Prospekt Vernadskogo 4, Simferopol, Republic of Crimea, 295007

---

*Received 24.07.2024*

**Для цитирования:**

Зайцев О.Н., Сиваченко Ю.А. Исследование активированного радиальной струей всасывающего потока из зоны плазменной резки // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2024. № 10. С. 44–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-44-52

**For citation:**

Zaitsev O.N., Sivachenko Yu.A. Investigation of the suction flow activated by a radial jet from the plasma cutting zone. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2024. No. 10. Pp. 44–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-10-44-52