

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-51-59

<sup>1,\*</sup>Шаптала В.В., <sup>1</sup>Хукаленко Е.Е., <sup>2</sup>Северин Н.Н., <sup>2</sup>Гусев Ю.М.<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова<sup>2</sup>Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина

\*E-mail: ShaptalaVadim@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ РАБОЧИХ МЕСТ В ПОМЕЩЕНИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РАЗМЕРОВ

**Аннотация.** Основным направлением нормализации параметров воздушной среды при выполнении электросварочных работ предлагается рассматривать устройство комплексной системы вентиляции, совмещающей местную вытяжную вентиляцию рабочих мест сварщиков и общеобменную вентиляцию помещений. При организации вентиляции сварочных помещений ограниченных размеров необходимо учитывать возможное влияние сносящих потоков, возникающих в результате совместной работы вытяжных устройств. Целью проводимых исследований является анализ влияния на эффективность устройств местной вытяжной вентиляции сварочных постов объемно-планировочных решений, взаимного расположения приточно-вытяжных устройств, а также особенностей выполнения технологических операций. Для конкретного примера сварочного помещения найден оптимальный вариант организации вентиляции сварочных постов. С применением метода компьютерного моделирования рассчитаны поля подвижности воздуха, его температуры и концентрации вредных примесей. Выявлены факторы, влияющие на эффективность работы местных вытяжных устройств и установлены сочетания влияющих факторов, обеспечивающих предельно допустимые концентрации вредных выделений в рабочих зонах сварщиков. Определены условия, при которых общеобменного эффекта местных отсосов достаточно для того, чтобы поддерживать в помещении концентрацию на уровне ПДК. Полученные в статье результаты могут применяться для разработки инженерных методов расчета и оптимизации вентиляционных устройств и систем, а также для анализа конструктивных и проектных решений по устройству вентиляции электросварочных производств. Исследования процессов распространения сварочных аэрозолей в производственном помещении выполнялось путем опытных замеров, а также компьютерного моделирования с использованием программного гидродинамического пакета Ansys Fluent.

**Ключевые слова:** электродуговая сварка, подъемно-поворотные вытяжные устройства, эффективность вентиляции, компьютерное моделирование.

**Введение.** В последнее время для вентиляции стационарных сварочных постов широкое распространение получили подъемно-передвижные вытяжные устройства. В виду того, что область захвата таких устройств не покрывает всю поверхность рабочего стола, при работе с конструкциями средних размеров для обеспечения ПДК в области дыхания сварщик вынужден периодически отвлекаться на изменение расположения всасывающей воронки. В результате это приводит к снижению производительности труда, либо к нарушению требований безопасности и ухудшению пылегазовой обстановки не только данного сварочного поста, но и в силу возникающих аэродинамических связей, может негативно влиять на обстановку смежных постов. Эффективность использования передвижного вытяжного устройства в значительной степени определяется размером зоны эффективного улавливания аэрозоля (не менее 80 %). Считается, что диаметр этой зоны не должен быть меньше 0.4 м [2, 4].

**Методы и материалы.** Организация сварочных участков в помещениях малых размеров

с определенным расположением вентиляционных проемов требует учитывать влияние компенсационных течений на эффективность вытяжных устройств при различных компоновках сварочных постов. На воздухообмен помещений оказывают влияние размеры помещения, расположение, конструкция, производительность местных вытяжных устройств, расположение и площади приточных проемов [1, 3]. Влияние указанных факторов на эффективность вентиляции рассмотрим на примере электросварочного помещения учебной мастерской (рис. 1).

Помещение, размерами 9×6×3м оборудовано 4-мя инверторами с максимальным сварочным током  $I = 500$  А и системой местной вытяжной вентиляции, состоящей из 4-х подъемно-передвижных устройств “СовПлим”. В теплый и переходный периоды года, компенсирующий работу вытяжных устройств воздух поступает через оконные проемы. В холодный период года основная часть воздуха поступает через вентиляционный проем из смежного отапливаемого помещения. Сразу следует отметить, что данная реализация системы местной вытяжной вентиля-

ции не предусматривает индивидуального регулирования производительности вытяжных устройств и в случае эксплуатации только одного сварочного поста работают все четыре отсоса, что приводит к снижению как гигиенической так и энергетической эффективности.

Поэтому в дальнейшем ограничимся рассмотрением сценария одновременного функционирования трех сварочных постов с возможностью регулирования производительности каждого из отсосов по отдельности.



Рис. 1. Электросварочное помещение учебной мастерской

**Основная часть.** Для поиска оптимального варианта организации и режима работы системы вентиляции сварочного помещения использовался метод компьютерного моделирования [8, 17–22]. Параметры модели настраивались и проверялись по результатам опытных замеров параметров воздушной среды, таких как скорость

движения воздуха в помещении, температура воздуха, концентрация вредных выделений, а также по установленным экспериментальным зависимостям [4, 15, 16]. На рисунках (2-4) приведены результаты моделирования и экспериментальных исследований свободного сварочного факела.

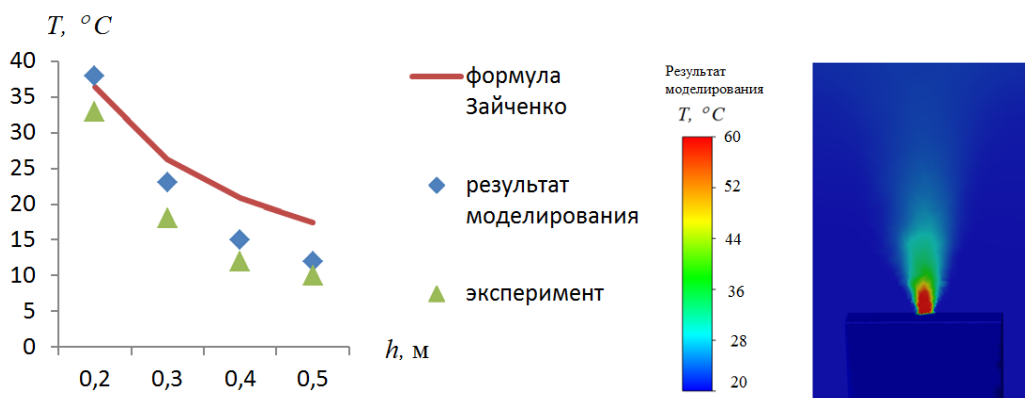


Рис. 2. Зависимость температуры на оси сварочного факела от высоты при токе сварки  $I = 100$  А.

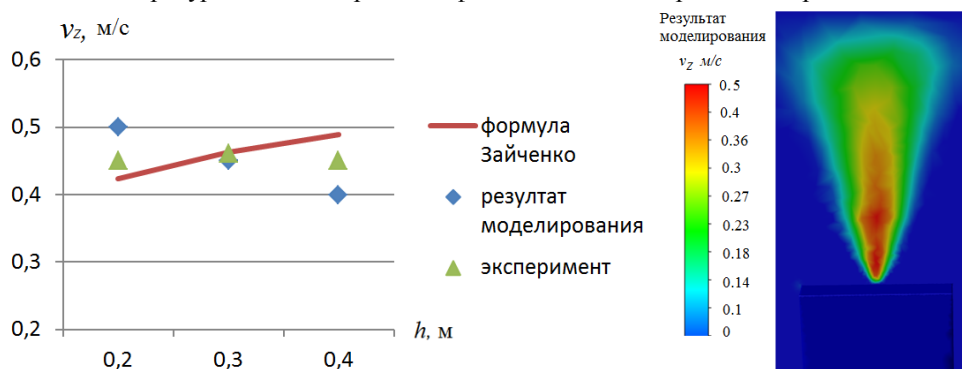


Рис. 3 Зависимость скорости воздуха на оси сварочного факела от высоты при токе сварки  $I = 100$ А.

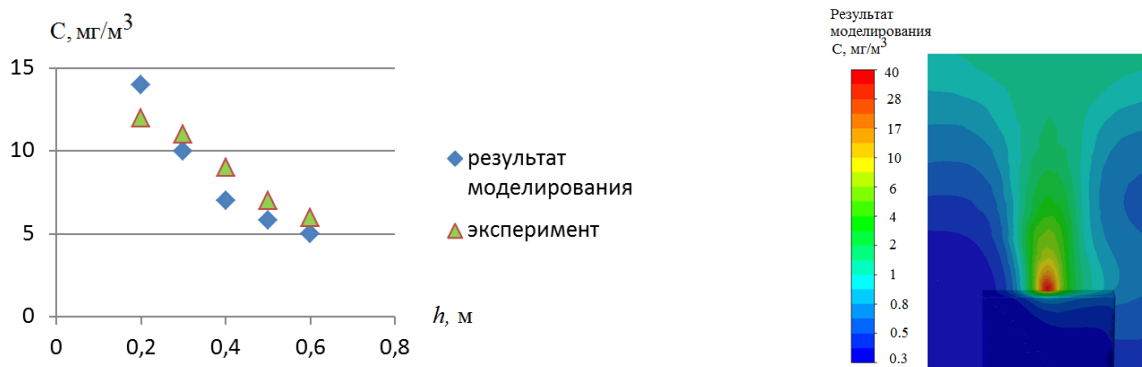


Рис. 4. Концентрация оксидов марганца на оси сварочного факела.  $I = 100$  А. Интенсивность выделения сварочного аэрозоля  $g = 0.36$  мг/с.

В летний период года, при поступлении воздуха, компенсирующего работу вытяжных устройств, через полностью раскрытые оконные проемы негативное влияние сносящих потоков незначительно. При такой организации притока эффективность вытяжных устройств в основном

зависит от их производительности, взаимного расположения с источниками выделения вредностей и их параметров, таких как интенсивность выделения вредных веществ, а также мощность сварочной дуги (рис. 5)

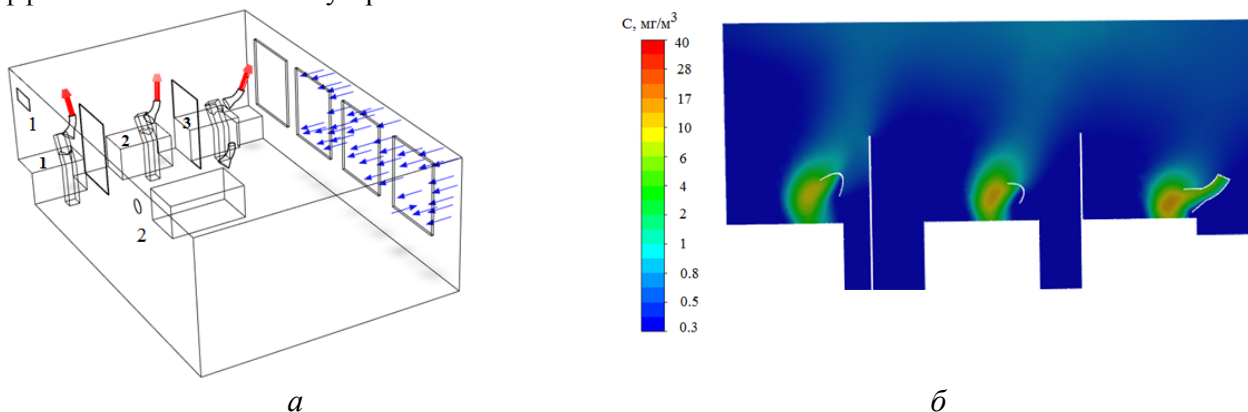


Рис. 5. Организация вентиляции сварочного помещения в летний период (а). Поле концентраций оксида марганца в вертикальном сечении помещения, проходящем через сварочные посты (б). Интенсивность выделения оксидов марганца  $g = 0.36$  мг/м³с, сварочный ток  $I = 400$  А

В результате вычислительных экспериментов установлена зависимость необходимой производительности вытяжных устройств от мощно-

сти сварочной дуги для различных высот расположения всасывающей воронки и взаимного расположения вытяжных устройств и приточных проемов, показанного на рис. 5.

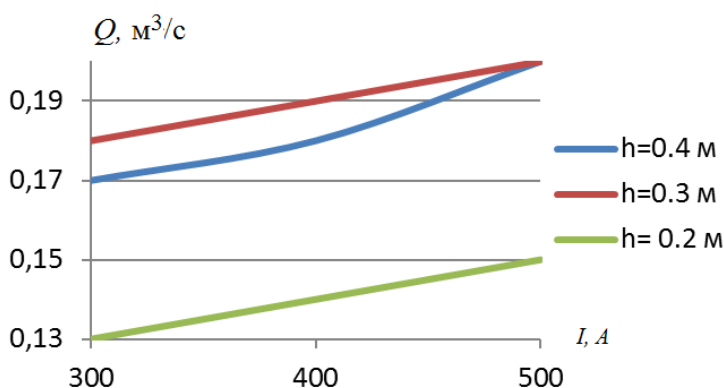


Рис. 6. Графики зависимости необходимой производительности вытяжных устройств подъемно-передвижного типа от сварочного тока для различных высот размещения всасывающей воронки вытяжного устройства. Горизонтальное расстояние от точки сварки до воронки  $l = 0.4$  м

Относительно низкая производительность вытяжного устройства, расположенного на высоте 0.2 м над столом связана с ограничением области подтекания воздуха поверхностью стола. Также из графика видно, что необходимая для локализации вредностей производительность отсоса, расположенного на высоте 0.4 м ниже производительности отсоса, расположенного на высоте 0.3 м, что связано с более полным использованием энергии восходящего конвективного потока.

Для компенсации работы вытяжных устройств в холодный период года в рассматриваемом сварочном помещении предусмотрены прямоугольный вентиляционный проем 1 площадью  $S = 0.3 \times 0.8$  м на высоте 2 м, расположенный в непосредственной близости к сварочным постам, а также проем круглого сечения диаметром  $d = 0.2$  м на высоте 2.2 м и удаленный от постов на

расстояние 6 м (рис. 5). Первый проем соединяют мастерскую и коридор учебного корпуса. Через второй проем воздух поступает с улицы. При полностью раскрытых вентиляционных проемах, объем компенсационного воздуха распределяется следующим образом:  $Q_1 = 0.45$  м<sup>3</sup>/с и  $Q_2 = 0.15$  м<sup>3</sup>/с. Такое распределение притока приводит к нарушению нормального режима работы вытяжных устройств (рис. 7, а). И хотя вынос вредностей с первого поста в помещение по сравнению с планировкой, приведенной на (рис. 7, б) не значителен, поскольку неудовлетворительная работа первого отсоса компенсируется работой смежных отсосов, такое расположение приточного проема 1 приводит к превышению ПДК вредностей на рабочих местах [5, 7]. Даже при одинаковой производительности вытяжных устройств  $Q = 0.2$  м<sup>3</sup>/с концентрация на 1 и 3 сварочных постах превышает ПДК в 2 раза.

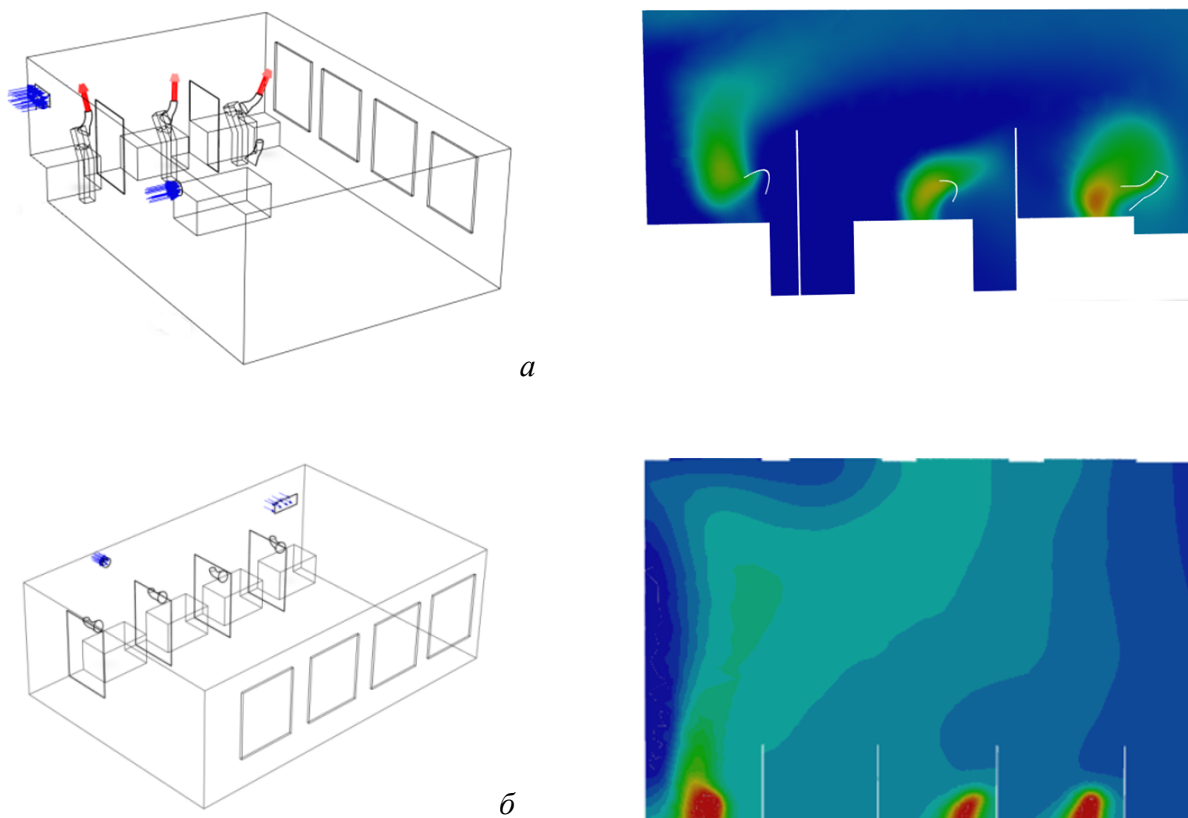


Рис. 7. Поля концентраций оксидов марганца при различных схемах размещения сварочных постов.

Сварочный ток  $I = 400$  А. Расход воздуха через приточные проемы  $Q_{lin} = 0.45$  м<sup>3</sup>/с  $Q_{2in} = 0.15$  м<sup>3</sup>/с.

Производительность вытяжных устройств  $Q_{out} = 0.2$  м<sup>3</sup>/с, интенсивность выделения  $g = 0.36$  мг/м<sup>3</sup>с.

При таких условиях, нормализовать пылегазовую обстановку на рабочих местах можно путем поиска наиболее приемлемого расположения отсосов [6–13]. Так на рис. 8, а компенсационный поток вытяжного устройства 3-го поста

имеет направление, противоположное направлению всасывающего факела, а на рис. 8б, он создает дополнительный передувочный эффект.

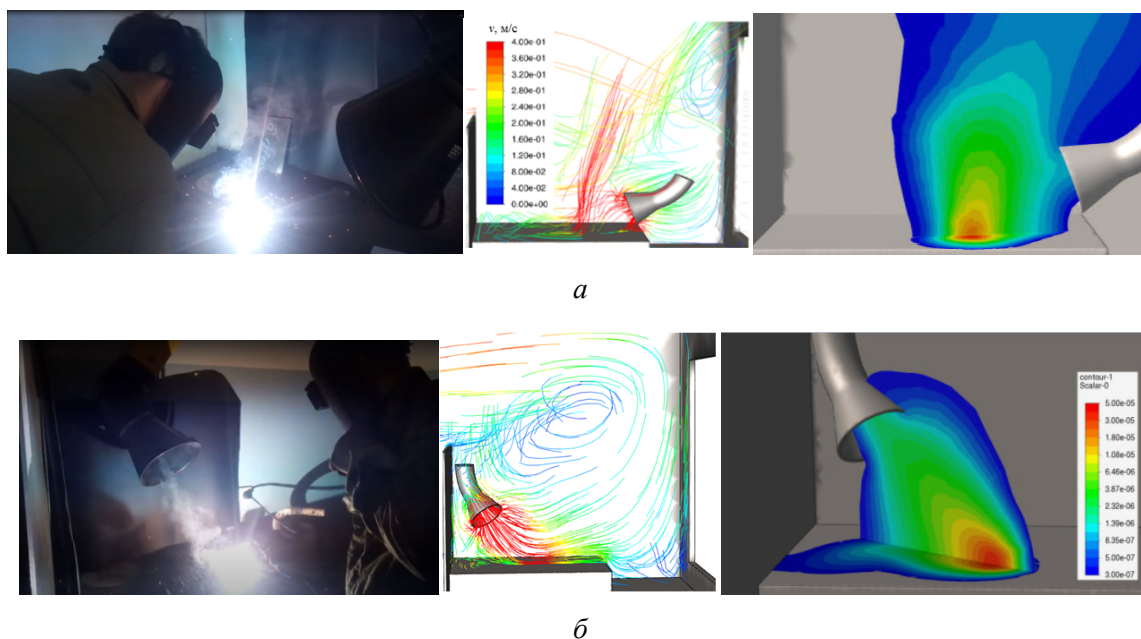


Рис. 8. Распределение концентрации вредных веществ и линии тока воздуха на третьем сварочном посту при разной ориентации всасывающей воронки вытяжного устройства. Производительность вытяжек  $Q = 0.2 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Однако, удаление точки сварки от всасывающей воронки более чем на 0.4 м. приводит к резкому увеличению концентрации вредных веществ в зоне дыхания за счет накопления их в образовавшейся циркуляционной зоне.

Нормализовать пылегазовую обстановку на первом посту при таком расположении и произ-

водительности притока можно только путем размещения воронки вытяжного устройства в непосредственной близости к источнику выделения вредных веществ рис. 9, *а*. Наиболее благоприятные условия работы при такой организации вентиляции наблюдаются на втором посту (рис. 9, *б*)



*а*



*б*

Рис. 9 Распределение вредных веществ на первом (*а*) и втором (*б*) постах. Высота расположения всасывающих воронок  $h = 0.4 \text{ м}$ . Горизонтальное расстояние от точки сварки до воронки  $l = 0.4 \text{ м}$ .

Таким образом, в целом такая организация вентиляции сварочного помещения в холодных период года является неудовлетворительной. Снизить энергоемкость системы вентиляции при обеспечении нормируемых значений параметров воздушной среды рабочей зоны сварщиков можно за счет подачи компенсационного воздуха через вентиляционный проем, удаленный от зоны сварки совместно с ориентацией всасывающих воронок вытяжных устройств навстречу течению компенсационного воздуха. Например, при организации притока через проем площадью  $S = 0.3 \times 0.8 \text{ м}^2$ , размещенного на расстоянии 6 м

от сварочных постов на высоте 2 м и при сохранении прежней ориентации всасывающих воронок устройств производительностью  $Q_1 = 0.18 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $Q_2 = 0.19 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $Q_3 = 0.14 \text{ м}^3/\text{с}$  пылегазовая обстановка на сварочных постах все еще остается неудовлетворительной (рис.10).

Переориентация всасывающих воронок навстречу потокам компенсационного воздуха позволяет полностью нормализовать условия труда сварщиков.

Учет указанных рекомендаций по организации вентиляции сварочного помещения учебной мастерской позволит сократить энергопотребление системы вентиляции в среднем на 15 %.

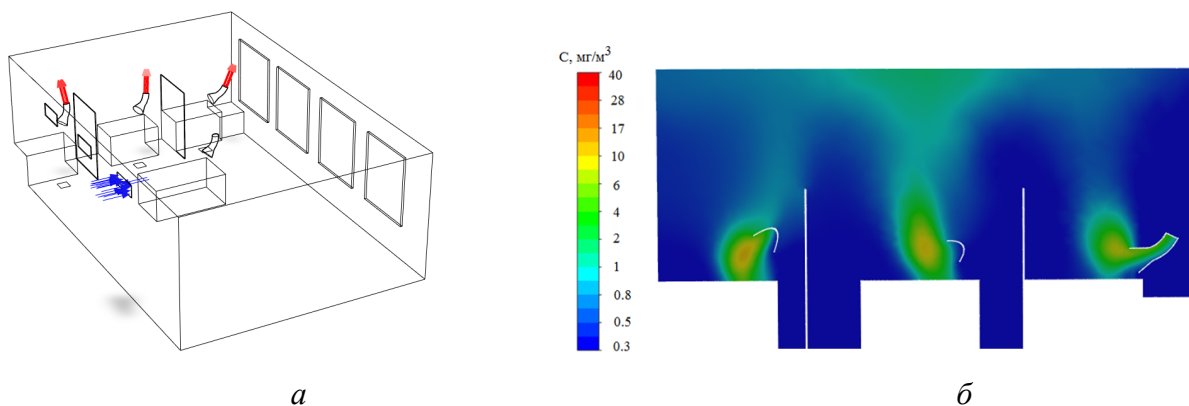


Рис. 10. Влияние на пылегазовую обстановку помещения удаленного от сварочных постов размещения приточного проема. *a* – схема размещения приточного проема, *b* – поле концентраций оксидов марганца в сечении, проходящем через сварочные посты. Концентрации вредных в зоне дыхания на сварочных постах  $C_1 = 0.47$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_2 = 0.53$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_3 = 0.35$  мг/м<sup>3</sup>.

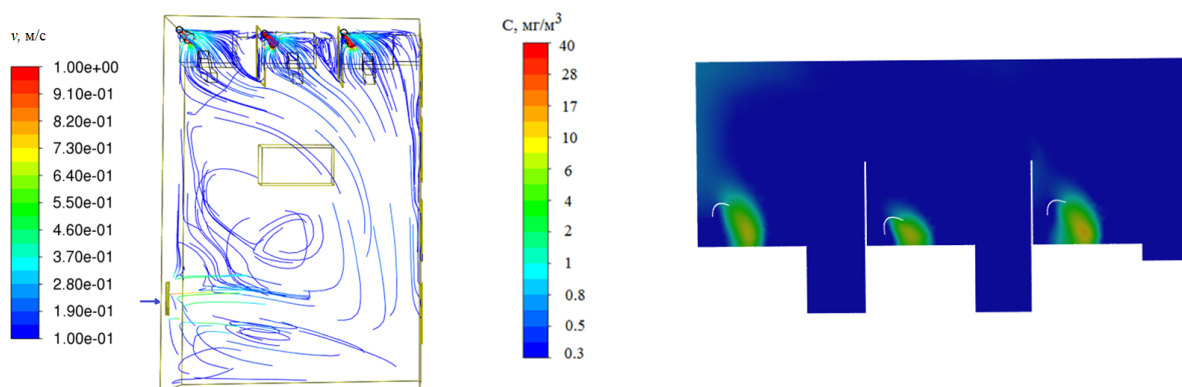


Рис. 11. Линии тока воздуха в помещении на высоте 1 м (*a*) и поле концентраций оксидов марганца в поперечном сечении, проходящем через сварочные посты (*b*).

**Выводы.** При организации сварочных участков в малых помещениях с компактными приточными проемами для обеспечения приемлемой пылегазовой обстановки на рабочих местах целесообразно решать вопрос взаимного расположения и ориентации приточно-вытяжных устройств таким образом, чтобы минимизировать влияние сносящих потоков на эффективность вытяжных устройств или использовать энергию компенсационных потоков для повышения эффективности вытяжных устройств, а не наоборот. Найдены сочетания влияющих факторов, обеспечивающие предельно допустимые концентрации вредных примесей в рабочей зоне.

Полученные в статье результаты могут применяться для разработки инженерных методов расчета и оптимизации вентиляционных устройств и систем, а также для анализа конструктивных и проектных решений по устройству вентиляции электросварочных производств при их реконструкции и модернизации.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ (проект 18-79-10025).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А. Энергосбережение в аспирации. Москва, Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2013. 504 с.
2. Grititlin A.M. Ventilation of electric welding production // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. No. 13. Pp. 50-54.
3. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984. 160с.
4. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. М.: Машиностроение. 1981г. 120 с.
5. Минко В.А., Логачев И.Н., Логачев К.И., Шаптала В.Г. и др. Обеспыливающая вентиляция. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 565с.

6. Logachev I., Logachev K., Averkova O. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 431 p.

7. Шаптала В.Г., Горлов А.С., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. Вопросы комплексного обеспыливания производственных помещений предприятий промышленности строительных материалов // Вестник БГТУ. 2019. № 1. С. 81-85.

8. Копин С.В. Компьютерное моделирование параметров приточно-вытяжной вентиляционной системы // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 2. С. 7–11.

9. Логачев И.Н., Логачев К.И., Аверкова О.А., Крюков И.В. Методы снижения энергоемкости систем аспирации // Новые огнеупоры. 2014. №2. С. 51-56.

10. Пухкал В.А., Суханов К.О., Гримитлин А.М. Энергосбережение в системах промышленной вентиляции // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 6. С. 156-162.

11. Гримитлин А.М., Знаменский Р.Б., Крупкин Г.Я., Луканина М.А. Исследование подавления и локализации конвективных потоков от тепловыделяющего технологического оборудования с использованием метода математического моделирования // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. 2011. № 2. С. 36–40.

12. Гримитлин А.М., Позин Г.М. Вентиляция и отопление судостроительных производств // Инженерно-строительный журнал. 2013. №6. С. 7–11.

13. Уляшева В.М., Гримитлин А.М., Черников Н.А. Повышение эффективности способов очистки вентиляционных выбросов на предприятиях строительной индустрии // Вода и экология: проблемы и решения. 2018. № 4. С. 92–98.

14. Овсянников Ю.Г., Гольцов А.Б., Семенов А.С., Логачев К.И., Уваров В.А. Снижение энергопотребления вентиляционных систем че-

рез снижение энергопотребления вентиляционных систем через принудительную рециркуляцию // Огнеупоры и техническая керамика. 2017. Т. 57. № 5. С. 557–561.

15. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. М.: Химия, 1980. 288с.

16. Shaptala V.V., Logachev K.I., Severin N.N., Khukalenko E.E., Gusev Yu.M. Computer Simulation of Ventilation During Electric Welding Operations // Refractories and Industrial Ceramics. 2020. Vol. 61. Pp. 463–468.

17. Zhuang J., Diao Y., Shen H. Numerical Investigation on Transport Characteristics of High-Temperature Fine Particles Generated in a Transiently Welding Process // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 176. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121471

18. Wang H., Huang C., Liu D., Zhao F., Sun H., Wang F., Li C., Kou G., Ye. M. Fume Transports in a High Rise Industrial Welding Hall with Displacement Ventilation System and Individual Ventilation Units // Building and Environment. 2012. Vol. 52. Pp. 119-128.

19. Cao Z., Zhang C., Zhai C., Wang Y., Wang M., Zhao T., Lu W., Huang Y. Evaluation of a Novel Curved Vortex Exhaust System for Pollutant Removal // Building and Environment. 2021. Vol. 200. doi:10.1016/j.buildenv.2021.107931.

20. Zeng L., Liu G., Gao J., Du B., Lu L., Cao C., Ye W., Tong L., Wang Y. A Circulating Ventilation System to Concentrate Pollutants and Reduce Exhaust Volumes: Case Studies with Experiments and Numerical Simulation for the Rubber Refining Process // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 35. doi:10.1016/j.jobee.2020.101984.

21. Zhang J., Wang J., Gao J., Cao C., Lu L., Xie M., Zeng L. Critical Velocity of Active Air Jet Required to Enhance Free Opening Rectangular Exhaust Hood // Energy and Buildings. 2020. Vol. 225. doi:10.1016/j.enbuild.2020.110316.

#### *Информация об авторах*

**Шаптала Вадим Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Хукаленко Евгений Евгеньевич**, аспирант. E-mail: jve2008@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Северин Николай Николаевич**, доктор педагогических наук, профессор, нач. кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

**Гусев Юрий Михайлович**, аспирант, заместитель начальника кафедры огневой подготовки. E-mail: belui@mvd.ru. Белгородский юридический институт им. И.Д. Путилина. Россия, 308012, Белгород, ул. Горького, д. 31.

*Поступила 06.07.2021 г.*

© Шаптала В.В., Хукаленко Е.Е., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. 2022

<sup>1,\*</sup>Shaptala V.V., <sup>1</sup>Khukalenko E.E., <sup>2</sup>Severin N.N., <sup>2</sup>Gusev Yu.M.

<sup>1</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

<sup>2</sup>Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs named after I.D. Putilina

\*E-mail: ShaptalaVadim@yandex.ru

## FEATURES OF VENTILATION OF ARC WELDING WORKPLACES IN SMALL ROOMS

**Abstract.** It is proposed to consider the device of an integrated ventilation system that combines local exhaust ventilation of welders' workplaces and general ventilation of premises as the main direction of normalizing the parameters of the air environment when performing arc welding. When organizing ventilation of welding rooms of limited dimensions, it is necessary to have the possible effect of drift flows. It increases as a result of the joint operation of exhaust devices. The effectiveness of devices for local exhaust ventilation of welding posts is analyzed. It depends on the space-planning solutions, the relative position of the supply and exhaust devices, as well as the peculiarities of performing technological operations. For a specific example of a welding room, an optimal variant of the organization of ventilation of welding stations is found. The fields of air mobility, its temperature and concentration of harmful impurities have been calculated by the computer modeling. The factors influencing its efficiency are revealed and the combinations of influencing factors providing the maximum permissible concentration of harmful emissions in the working zones of welders are established. The conditions have been determined under which the general exchange effect of local suction is sufficient to maintain the concentration in the room at the MPC level. The results obtained can be used to develop engineering methods for calculating and optimizing ventilation devices and systems, to analyze structural and design solutions for the ventilation of electric welding industries. Investigations of the processes of propagation of welding aerosols in the production area are carried out by means of experimental measurements, as well as computer simulation using the Ansys Fluent software hydrodynamic package.

**Keywords:** electric arc welding, lift-and-turn exhaust devices, ventilation efficiency, computer simulation.

### REFERENCES

1. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Energy saving in aspiration [Energoberezhenie v aspiracii]. M: Research Center "Regular and chaotic dynamics". 2013. 504 p. (rus)
2. Gritmitlin A.M. Ventilation of electric welding production. World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 23. No. 13. Pp. 50–54.
3. Posokhin V.N. Calculation of local exhaust from heat and gas equipment [Raschet mestnyh otosov ot teplo- i gazovydelayayushchego oborudovaniya]. M: Mechanical Engineering, 1984. 160 p. (rus)
4. Pisarenko V.L., Roginsky M.L. Ventilation of jobs in the welding industry [Ventilyaciya rabochih mest v svarochnom proizvodstve]. M: Mechanical Engineering. 1981. 120 p. (rus)
5. Minko V.A., Logachev I.N., Logachev K.I., Shaptala V.G. Dust ventilation [Obespylivayushchaya ventilyaciya]. Belgorod: izd-vo BSTU. 2010. 565 p. (rus)
6. Logachev I., Logachev K., Averkova O. Local Exhaust Ventilation: Aerodynamic Processes and Calculations of Dust Emissions. Boca Raton: CRC Press. 2015. 431 p.
7. Shaptala V.G., Gorlov A.S., Severin N.N. Issues of complex dust removal of industrial premises of building materials industry enterprises [Voprosy kompleksnogo obespylivaniya proizvodstvennyh pomeshchenij predpriyatij promyshlennosti stroitel'nyh materialov]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 1. Pp. 8–85. (rus)
8. Kopin S.V. Computer simulation of the parameters of the supply and exhaust ventilation system Labor safety in industry [Komp'yuternoe modelirovanie parametrov pritochno-vytyazhnoj ventilyacionnoj sistemy]. 2020. No. 2. Pp. 7–11. (rus)
9. Logachev I.N., Logachev K.I., Averkova O.A., Kryukov I.V. Methods for reducing the energy intensity of aspiration systems [Metody snizheniya energoemkosti sistem aspiracii]. Novye ogneupory. 2014. No. 2. Pp. 51–56. (rus)
10. Pukhkal V.A., Sukhanov K.O., Gritmitlin A.M. Energy saving in industrial ventilation systems. Bulletin of civil engineers [Energoberezhenie v sistemah promyshlennoj ventilyacii]. 2016. No. 6. Pp. 156–162. (rus)
11. Gritmitlin A.M., Znamensky R.B., Krupkin G.Ya., Lukanina M.A. The study of suppression and localization of convective flows from fuel technological equipment using the method of mathematical modeling [Issledovanie podavleniya i lokalizacii konvektivnyh potokov ot teplovydelayayushchego tekhnologicheskogo oborudovaniya s ispol'zovaniem metoda matematicheskogo modelirovaniya]. Engineering systems. ABOK - Northwest. 2011. No. 2. Pp. 36–40. (rus)
12. Gritmitlin A.M., Pozin G.M. Ventilation and heating of shipbuilding industries [Ventilyaciya i otoplenie sudostroitel'nyh proizvodstv]. Civil Engineering Journal. 2013. No. 6. Pp. 7–11. (rus)



13. Ulyasheva V.M., Grimmitlin A.M., Chernikov N.A. Improving the efficiency of exhaust emission cleaning methods at the enterprises of the construction industry [Povyshenie effektivnosti sposobov ochistki ventilyacionnyh vybrosov na predpriyatiyah stroitel'noj industrii]. Water and ecology: problems and solutions. 2018. No. 4. Pp. 92–98. (rus)
14. Ovsyannikov Yu.G., Goltsov A.B., Semenenko A.S., Logachev K.I., Uvarov V.A. Reducing the energy consumption of ventilation systems through reducing the energy consumption of ventilation systems through forced recirculation [Snizhenie energopotrebleniya ventilyacionnyh sistem cherez snizhenie energopotrebleniya ventilyacionnyh sistem cherez prinuditel'nuyu recirkulyaciyu]. Refractories and technical ceramics. 2017. Vol. 57. No. 5. Pp. 557–561. (rus)
15. Elterman V.M. Ventilation of chemical industries [Ventilyaciya himicheskikh proizvodstv]. M: Chemistry, 1980. 288 p. (rus)
16. Shaptala V.V., Logachev K.I., Severin N.N., Khukalenko E.E., Gusev Yu.M. Computer Simulation of Ventilation During Electric Welding Operations. Refractories and Industrial Ceramics. 2020. Vol. 61. Pp. 463–468.
17. Zhuang J., Diao Y., Shen H. Numerical Investigation on Transport Characteristics of High-Temperature Fine Particles Generated in a Transiently Welding Process. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2021. Vol. 176. doi: 10.1016/j.jheatmasstransfer.2021.121471
18. Wang H., Huang C., Liu D., Zhao F., Sun H., Wang F., Li C., Kou G.Ye. M. Fume Transports in a High Rise Industrial Welding Hall with Displacement Ventilation System and Individual Ventilation Units. Building and Environment. 2012. Vol. 52. Pp. 119–128.
19. Cao Z., Zhang C., Zhai C., Wang Y., Wang M., Zhao T., Lu W., Huang Y. Evaluation of a Novel Curved Vortex Exhaust System for Pollutant Removal. Building and Environment. 2021. Vol. 200. doi:10.1016/j.buildenv.2021.107931.
20. Zeng L., Liu G., Gao J., Du B., Lu L., Cao C., Ye W., Tong L., Wang Y. A Circulating Ventilation System to Concentrate Pollutants and Reduce Exhaust Volumes: Case Studies with Experiments and Numerical Simulation for the Rubber Refining Process. Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 35. doi:10.1016/j.jobee.2020.101984.
21. Zhang J., Wang J., Gao J., Cao C., Lu L., Xie M., Zeng L. Critical Velocity of Active Air Jet Required to Enhance Free Opening Rectangular Exhaust Hood. Energy and Buildings. 2020. Vol. 225. doi:10.1016/j.enbuild.2020.110316.

#### Information about the authors

**Shaptala, Vadim V.** PhD. E-mail: shaptalavadim@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod 46, Kostyukova st.

**Khukalenko, Evgeny E.** Graduate student. E-mail: jve2008@yandex.ru. Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod 46, Kostyukova st.

**Severin, Nikolay N.** DSc, Professor. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod Law Institute I.D. Putilina. Russia, 308012, Belgorod 31, Gorky st.

**Gusev, Yuri M.** Graduate student. E-mail: belui@mvd.ru. Belgorod Law Institute I.D. Putilina. Russia, 308012, Belgorod 31, Gorky st.

---

Received 06.07.2021

#### Для цитирования:

Шаптала В.В., Хукаленко Е.Е., Северин Н.Н., Гусев Ю.М. Особенности организации вентиляции электросварочных рабочих мест в помещениях ограниченных размеров // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 51–59. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-51-59

#### For citation:

Shaptala V.V., Khukalenko E.E., Severin N.N., Gusev Yu.M. Features of ventilation of arc welding workplaces in small rooms. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 1. Pp. 51–59. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-51-59