

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ В
ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПОМЕЩЕНИИ С ОБЩЕОМЕННОЙ И МЕСТНОЙ
ВЕНТИЛЯЦИЕЙ**

Кожухова Н.А., Трофимчук С.Н., Сайфуллин Т.И.

*Федеральное государственное унитарное предприятие научно-исследовательский
институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического
агентства, (ФГУП НИИ ПММ)*

пр. Юрия Гагарина, д. 65, г. Санкт-Петербург, 196143

e-mail: niipmm@fmbamail.ru

Резюме Представлены методы снижения концентрации вредных веществ сварочного аэрозоля в производственном помещении при проведении сварочных работ путем установки местной вентиляции. Проведено обоснование целесообразности применения местной вытяжной вентиляционной установки посредством проведения численного моделирования процессов распространения вредных веществ (сварочного аэрозоля) в производственном помещении.

Ключевые слова: численное моделирование, сварочный аэрозоль, производственное помещение, общеобменная и местная вентиляция.

**NUMERICAL SIMULATION OF THE PROCESSES OF HARMFUL
SUBSTANCES PROPAGATION DURING WELDING OPERATIONS IN A
PRODUCTION ROOM WITH GENERAL AND LOCAL VENTILATION**

Kozhukhova N. A., Trofimchuk S. N., Sayfullin T. I.

Federal State Unitary Enterprise Research Institute of Industrial and Marine Medicine of
the Federal Biomedical Agency

Abstract: Summary Methods for reducing the concentration of harmful substances of welding aerosol in the production room during welding operations by installing local ventilation are presented. The feasibility of using a local exhaust ventilation system is justified by numerical modeling of the processes of spreading harmful substances (welding aerosol) in the production room.

Keywords: numerical modeling, welding aerosol, production room, General exchange and local ventilation.

Актуальность: При проведении электросварочных работ в процессе производства и сборки массивных металлоконструкций в закрытых производственных помещениях в воздушное пространство выделяется сварочный аэрозоль [1]. Сварочный аэрозоль представляет собой смесь газовой и твердой составляющей [1]. Состав сварочного

аэрозоля зависит от типа применяемых при проведении сварочных электродов. В основном это оксид углерода, фтористый водород, триоксид хрома, оксид железа, марганец и его соединения [2]. Вышеперечисленные соединения при превышении значения предельно допустимых концентраций [3] и длительном воздействии представляют угрозу здоровью работников, занятых в производстве подобных работ. Использование общеобменной приточно-вытяжной вентиляции является обязательным условием организации процесса труда в производственном помещении [4]. Однако при проведении сварочных работ в течение всей рабочей смены общеобменная вентиляция в помещении часто не обеспечивает концентрации вредных веществ ниже ПДК, установленных ГН 2.2.5.3532-18 [3].

Применение численного моделирования распространения вредных примесей в производственном помещении при проведении сварочных работ с учётом работы общеобменной приточно-вытяжной вентиляции позволяет получить полную информацию о характеристиках течения воздуха, в том числе таких параметров как скорость, температура и концентрация компонентов сварочного аэрозоля в любой точке помещения.

Цель исследования – обоснование целесообразности применения местной вытяжной вентиляционной установки посредством проведения численного моделирования процессов распространения вредных веществ (сварочного аэрозоля) в производственном помещении с общеобменной приточно-вытяжной и местной вентиляцией при проведении сварочных работ.

Материалы и методы. Рассматривается производственное помещение, в котором при сборке объемных металлоконструкций производятся электросварочные работы. Площадь помещения 1350 м^2 , объем помещения 33750 м^3 . В цехе одновременно работают 4 сварщика. При сборке крупногабаритной металлоконструкции электросварка производится последовательно по всей поверхности конструкции. Таким образом, рабочее место сварщиков не фиксировано в пространстве, и в процессе моделирования необходимо учитывать перемещение зоны сварки, а соответственно и источника сварочного аэрозоля. Моделируется распространение сварочного аэрозоля из зоны сварки в течение рабочей смены, продолжительность которой при проведении электросварочных работ составляет 4,2 часа. В помещении организована общеобменная вентиляция, у которой приток расположен в нижней части здания на уровне 3 метров от пола, а вытяжка расположена под крышей. Объемный расход притока и вытяжки воздуха при моделировании задается в соответствие с паспортами и натурными замерами расходо-напорных характеристик вентиляции в помещении. Рассматривается холодный период года, во время которого приточный воздух, поступающий с улицы, прогревается перед

подачей в помещение до температуры 20 °С. Рассматриваемое помещение не имеет соответствующей теплоизоляции стен, внутренняя поверхность стен в данный период года имеют температуру примерно 7-10 °С. Все перечисленные условия используются в качестве граничных условий при построении компьютерной модели. Общий вид созданной трехмерной модели производственного помещения с общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией показан на рисунке 1.

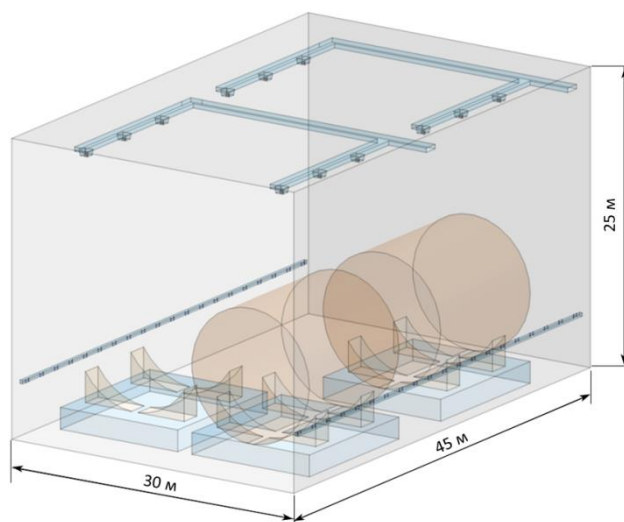


Рисунок 1 – Общий вид созданной трехмерной модели производственного помещения с общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией

Отсутствие подробных исходных данных зачастую не позволяет проектировать системы обеспечения микроклимата в соответствии с особенностями технологических процессов. Сложность физических явлений, протекающих при выполнении сварочных работ, связана, помимо наличия технологического оборудования и значительного количества выделяющихся вредностей (примесей), с турбулентностью воздушных потоков. В настоящее время разработан ряд прикладных гидродинамических программных комплексов, использование которых позволяет провести численное моделирование различных физических процессов [5].

Для моделирования характеристик течения воздуха и распространения вредных примесей сварочного аэрозоля в производственном помещении используются современные методы вычислительной аэродинамики и тепломассопереноса [6]. Параметры воздушной среды, такие как скорость, плотность и температура, а также концентрация вредных веществ в воздухе получаются из решения методом контрольных объемов нестационарных уравнений Рейнольдса, замкнутой моделью турбулентности. В качестве модели турбулентности используется $k - \omega$ SST модель Ментера [7, 8]. Математическая модель

также включает в себя уравнения переноса примесей и теплоты, которые описывают исследуемый процесс тепломассопереноса [9].

Применяемая при решении данной задачи математическая модель с соответствующими граничными условиями была предварительно валидирована по результатам натурного эксперимента (замеров основных параметров воздушной среды в процессе проведения сварочных работ в данном помещении).

Результаты

В ходе моделирования были получены характеристики воздушной среды в производственном помещении. Облако загрязняющих веществ от источника ведения сварочных работ, представляет собой процесс распространения частиц с конвективным восходящим потоком воздуха и принудительным движением воздуха за счет общеобменной приточно-вытяжной вентиляции. На рисунке 2 показаны изоповерхности облака сварочного, построенные по соответствующим концентрациям. Поля концентрации сварочного аэрозоля в поперечных сечениях помещения показаны на рисунке 3.

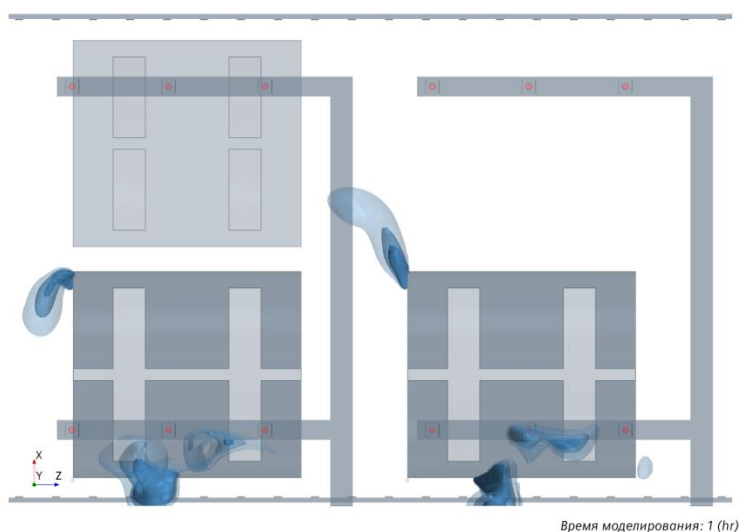


Рисунок 2 – Изоповерхности облака сварочного аэрозоля (вид цеха сверху) по массовым концентрациям 0.5 г/м³ (светлее), 1.0 г/м³ (среднее) и 1.5 г/м³ (темнее)

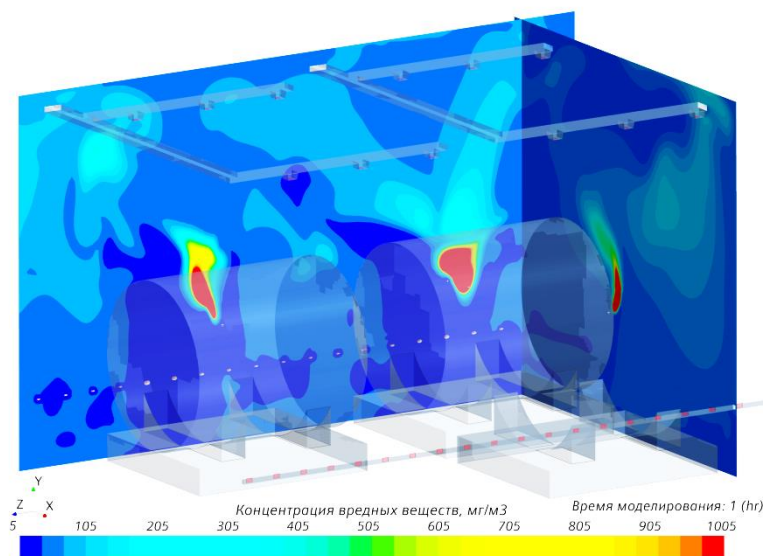


Рисунок 3 – Поля концентрации сварочного аэрозоля в поперечных сечениях производственного помещения

Тепловые струи приточной вентиляции являются основными факторами формирующими циркуляцию воздуха в производственных помещениях, а, следовательно, и распределения тепла и загрязняющих веществ (концентраций). Движение воздуха, возникающее вследствие разности плотностей, вблизи нагретой от сварки поверхности, также образует восходящий тепловой поток. Поля температур в поперечных сечениях помещения показаны на рисунке 4. Стоит также отметить, что обтекание объёмных конструкций, расположенных в помещении, приводит к образованию застойных и циркуляционных зон.

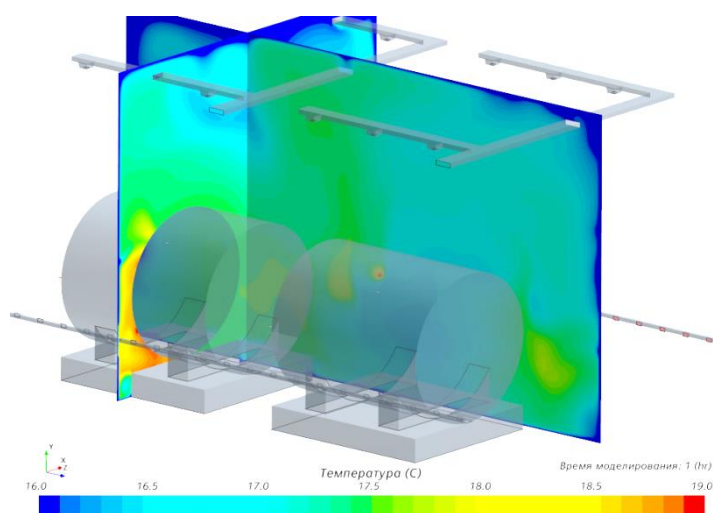


Рисунок 4 – Поля температуры в поперечных сечениях производственного помещения

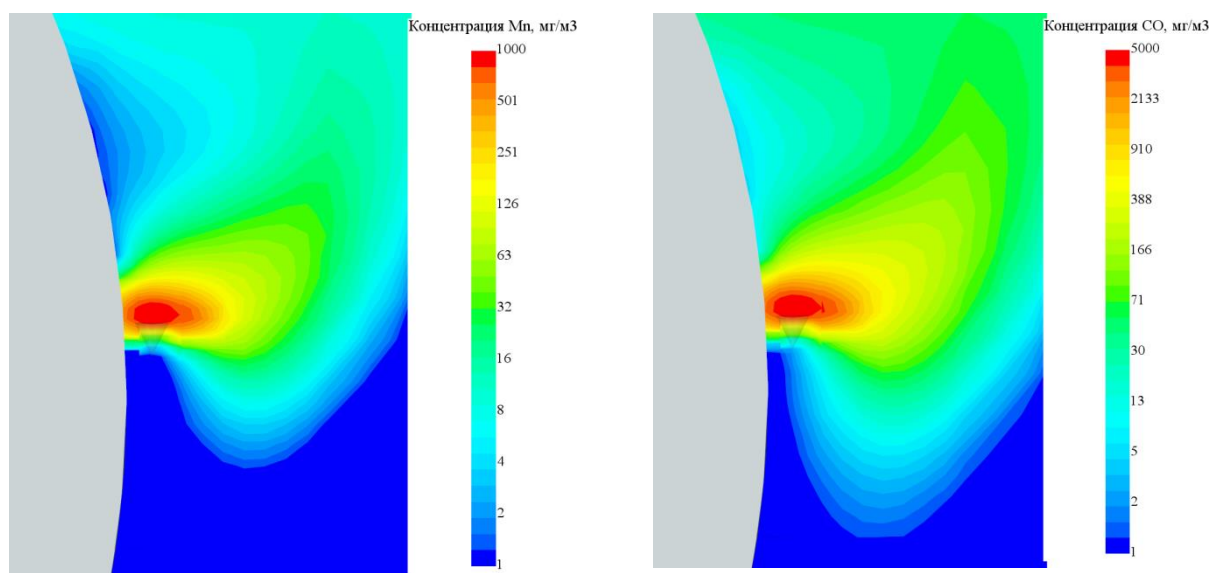


Рисунок 5 –Поля концентраций компонент сварочного аэрозоля в рабочей зоне при ведении сварочных работ в производственном помещении

Анализ ситуации представленной на рисунках 4 и 5 показал, что на рабочем месте сварщика появляется конвективный поток со скоростью 0,4 м/с, таким образом, увлекая за собой сварочный аэрозоль, что способствует распространению по помещению газообразной составляющей сварочного аэрозоля и твердой составляющей сварочного аэрозоля. Соответственно на расстоянии от источника ведения сварочных работ конвективные потоки ослабевают (размываются) и их скорость становится равной порядка 0,1 м/с, таким образом, большое количество твердой составляющей сварочного аэрозоля витает за пределами рабочей зоны.

Полученные в ходе моделирования значения основных параметров воздушной среды совпадают с результатами натурных замеров в контрольных точках на производстве. Превышение допустимой концентрации вредных веществ в воздухе подтвердило необходимость принятия дополнительных мер по удалению вредных примесей сварочного аэрозоля из рабочей зоны, методом локализации распространения вредных веществ от зоны сварки. Снижение концентрации вредных веществ сварочного аэрозоля в помещении возможно путем применения местной вытяжной вентиляционной системы. Местная вытяжная вентиляция должна удовлетворять следующим требованиям: наиболее полно охватывать зону выделения примесей тем самым обеспечивая высокую эффективность улавливания, а также обладать наиболее важной особенностью при ведении сварочных работ, не мешать нормальному их ведению и быть конструктивно удобной, легко демонтироваться или перемещаться по мере перемещения рабочего места

или рабочей зоны, учитывать направление движения естественных потоков и приточного воздуха. Местная вентиляция с целью пригодности использования при ведении нестационарных работ может быть смонтирована с использованием всасывающей насадки, соединенной с гибким шлангом. В качестве энергоэффективного решения была выбрана местная вытяжная фильтровентиляционная установка – автономная передвижная подъёмно-поворотного типа на каждое рабочее место сварщика. Патрубок местного вытяжного устройства передвигается как в горизонтальном, так и вертикальном направлении к месту ведения сварочных работ. Рекомендуемое расположение на высоте не более 1 м от места сварки. Расход через патрубок местной вытяжки равен $V=2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Возможно подключение к одной установке двух устройств поворотно-вытяжных воздуховодов.

В результате расчётов с местной вытяжной системой получены результаты, подтверждающие возможность снижения объемного расхода общеобменной вентиляции до нормативов допустимого воздухообмена на единицу площади. Поле вредных веществ концентрации с работающей местной вентиляцией показано на рисунке 6.

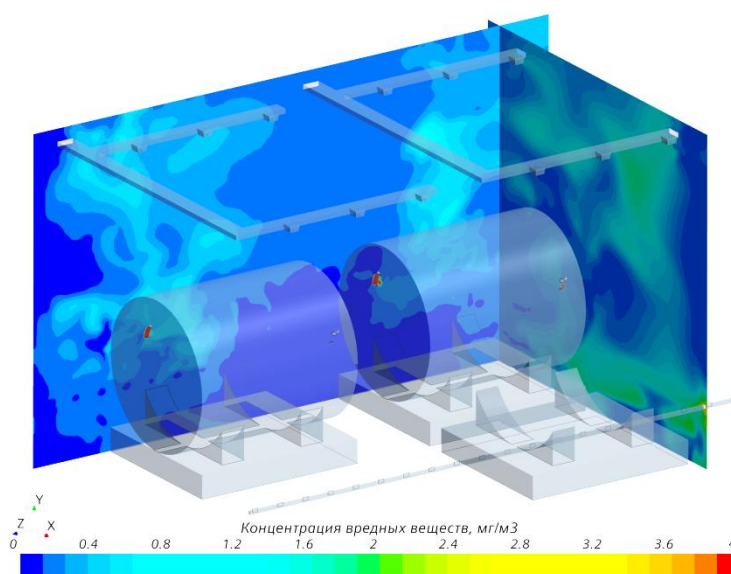


Рисунок 6 – Поля концентрации вредных веществ в поперечных сечениях помещения с работающей местной вытяжной фильтровентиляционной установкой

Моделирование работы местной фильтровентиляционной установки подтвердило целесообразность её использования. Результат применения – обеспечение качества воздушной среды и нормируемых параметров микроклимата в рабочей зоне, значительное снижение концентрации вредных примесей в производственном помещении в целом и на рабочих местах в частности.

Заключение

1. Численное моделирование позволяет получать данные для обоснования целесообразности применения местной вытяжной вентиляционной установки посредством проведения численного моделирования процессов распространения вредных веществ (сварочного аэрозоля) в производственном помещении с общеобменной приточно-вытяжной и местной вентиляцией при проведении сварочных работ.
2. Моделирование применения местной вытяжной фильтрационной системы в зоне проведения сварочных работ показало значительное снижение концентрации вредных веществ не только в рабочей зоне, но и во всем пространстве производственного помещения.
3. Применение местной вентиляции способствует улучшению условий работы труда и сохранению здоровья работников.
4. Разработанная компьютерная модель позволяет решать задачи наиболее эффективного и рационального места установки и эксплуатации местной вентиляционной системы.

Список литературы:

1. Гримитлин М.И., Кондрашов С.Ю., Алексеева И.С. Улучшение состояния воздушной среды в сборочно-сварочных цехах//Охрана труда в условиях интенсификации производства. Л.: ВНИИОТ,1987. С. 40–61.
2. Гримитлин М.И., Позин Г.М., Тимофеева О.Н., Эльянов Л.С., Эльтерман Е.М. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных предприятий. – М. Манинстроение, 1993. – 288 с.
3. ГН 2.2.5.3532-18 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы – URL: [http:// www. consultant.ru/](http://www.consultant.ru/). – 245 с.
4. СП 60.13330.2013. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – М.: Минрегион России, 2017. – 81с.
5. 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.
6. Ferziger, J.H., Peric, M. 2002. Computational Methods for Fluid Dynamics // 3rd rev. ed., Springer-Verlag, Berlin.
7. Menter F.R. Two equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications // AIAA Journal. 1994, Vol. 32. pp. 1598-1605.
8. Menter F.R., Kuntz M., Langtry R. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model. // Turbulence, Heat and Mass Transfer 4. K. Hanjalic, Y. Nagano, M. Tummers (Editors), 2003 Begell house, Inc.
9. Balachandar S. and Eaton J. K. 2010. “Turbulent dispersed multiphase flow”, Annu. Rev. Fluid Mech., 42, pp 111 – 133.