

УДК 614.8.086:628.51:621.791

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ
КАЧЕСТВА ВОЗДУХА
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ СВАРЩИКА
ПРИ РАБОТЕ В
ПОЛУОТКРЫТЫХ
ПРОСТРАНСТВАХ
ОГРАНИЧЕННОГО ОБЪЁМА***

Корончик Д. А., Булыгин Ю. И.,

Черевань Ю. С., Стрекоз М. Н.,

Гайденко А.Л.

Донской государственный

технический университет,

г. Ростов-на-Дону, Россия

bulyur_rostov@mail.ru

Аннотация. В статье ставится задача экспериментального исследования процессов распространения вредных веществ и теплоты сварочного процесса в полуоткрытых пространствах с целью последующей верификации математической и компьютерной моделей. При производстве таких работ сварщик зачастую находится в так называемых стеснённых условиях, где происходит быстрое нарастание содержания вредных

UDC 614.8.086:628.51:621.791

**THE VERIFICATION OF THE
MATHEMATICAL MODEL OF
HEAT AND MASS TRANSFER OF
CONTAMINANTS DURING
OPERATION OF THE WELDER
TO SEMI-OPEN SPACES OF
LIMITED VOLUME ***

Koronchik D. A., Bulygin J. I.,

Cherevan J. S., Strekoz M. N.,

Gaidenko A. L.,

Don State Technical University,

Rostov-on-Don, Russia

bulyur_rostov@mail.ru

Abstract. The article raises the problem of experimental study for identification of mathematical and computer models of the propagation of emitted harmful substances and the heat of the welding process. Was determined by the intensity of the main emission emitted including contaminants: carbon dioxide, water vapor, nitrogen oxides, and excess heat.

In the production of such works welder is often in the so-called cramped conditions, where there is a rapid

веществ, условия работы также increase in the content of harmful
усугубляются повышенным substances, working conditions are
тепловым облучением и неудобным further compounded by high heat
положением тела сварщика. radiation and uncomfortable body
Проведённые измерения position of the welder.
концентраций вредных веществ и
углекислого газа, образующихся при
ацетилено-кислородной сварке
подтвердили положение о
превышении санитарно-
гигиенического норматива ПДК.
Аналогичные исследования по
температуре воздуха рабочей зоны
доказали, что сварщик находится в
неблагоприятных условиях
производственного микроклимата.

Ключевые слова:

теплоперенос, вентиляция,
концентрация, вредные вещества,
ограниченный объем.

Key words: heat and mass transfer,
ventilation, concentration, hazardous
substances, bounded volume.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-38-60055 мол_а_дк (<https://kias.rfbr.ru/Application.aspx?id=14677513>)

Введение. В работе [1] была показана актуальность настоящей темы исследований, связанная с тем, что широкий спектр сварочных работ выполняется не на стационарных рабочих местах в производственных цехах, а зачастую в достаточно экстремальных производственных условиях. Например, это могут быть полузамкнутые ограниченные пространства, особенно трюмы судов, цистерны, колодцы, ямы и другие

труднодоступные стеснённые условия, где невозможно применить традиционные виды промышленной вентиляции, а содержание загрязняющих веществ быстро нарастает и значительно превышает величины предельно-допустимых концентраций (ПДК).

В [1,2] был обоснован выбор математической модели теплопереноса для её реализации в стесненных условиях. Модель является адаптацией классической модели непрерывной среды на базе системы уравнений Навье-Стокса к решению комплексной задачи теплообмена со сложными движущимися граничными условиями. В этой же работе приведены результаты численного моделирования процессов загазованности и расчёт параметров микроклимата, воздействующих на сварщиков.

Однако ряд поставленных задач был не решён и потребовал проведения дополнительных исследований. Прежде всего речь идёт о экспериментальной проверке многочисленных модельных расчётов, проведённых в полузамкнутых пространствах.

Постановка и планирование эксперимента. Экспериментальные исследования для последующей идентификации математической и компьютерной модели процессов распространения выделяемых вредных веществ и теплоты сварочного процесса были проведены в гаражном помещении университета. Натурные исследования выполнены в среде заранее выбранного модельного объекта полузамкнутого объёма и заданным, расположенным внутри стационарным источником загрязнений.

Объект исследования – смотровая яма, размещённая в гаражном помещении с размерами 14,35x6,3x3,7м, схема которого представлена на рис. 1. Ворота гаража имели размеры 3,15x2,83 и были открыты в ходе эксперимента, тем самым была создана среда из двух полузамкнутых объёмов. Внутри смотровой ямы располагалось рабочее место сварщика.

Источник выделения сварочных аэрозолей – ацетилено-кислородная сварка [7], с оборудованием, установленным в автомобиле и за гаражным

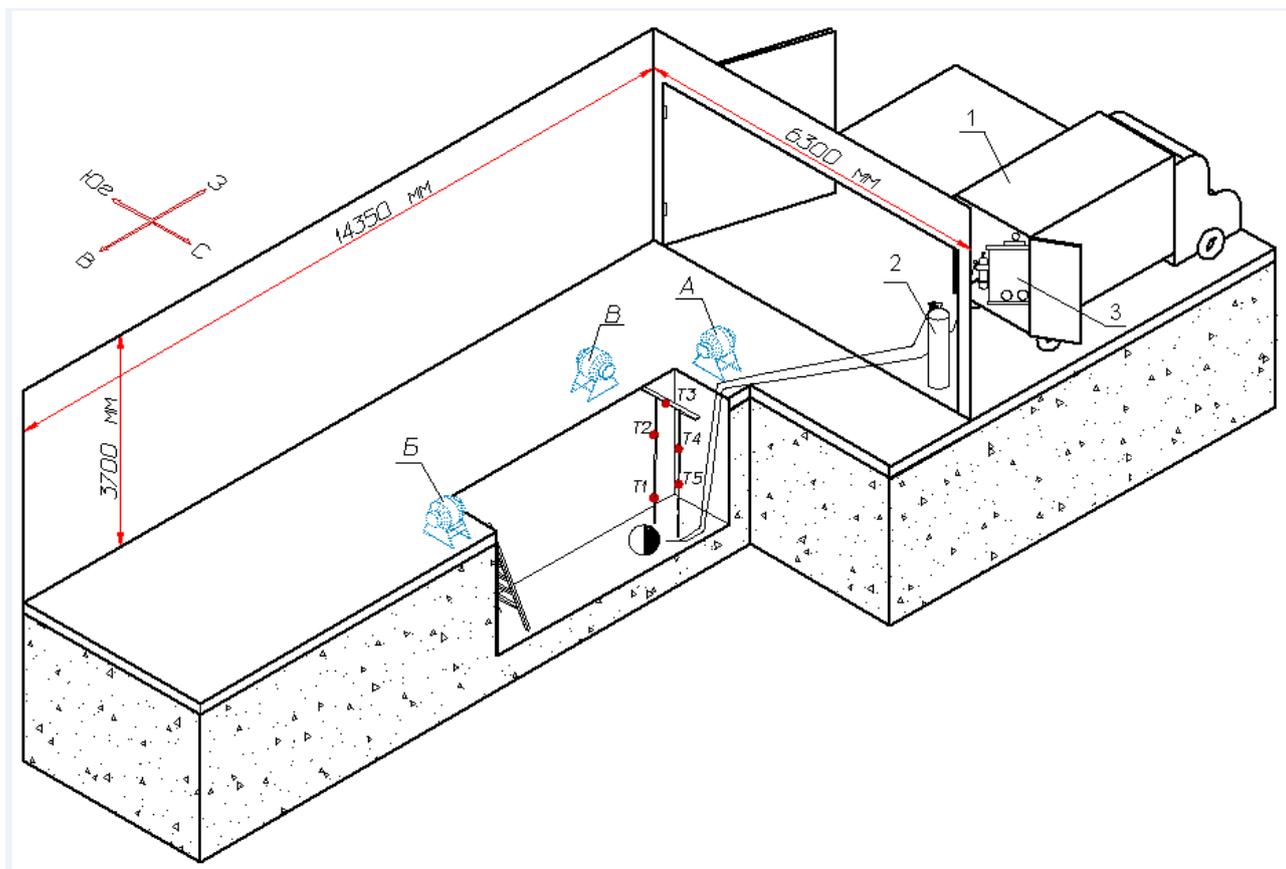


Рисунок1 – Схема исследуемых помещений, размещения измерительных точек и оборудования при проведении экспериментов

помещением (рис.1). На рис.1 показаны 1 – автомобиль, 2 – кислородный баллон под давлением с редуктором и 3- ацетиленовый генератор.

Были определены интенсивности выброса основных выделяемых, в том числе загрязняющих веществ: углекислого газа, водяных паров, оксидов азота и избытков теплоты. Расчёты, проведённые исходя из соотношений компонентов в химической реакции горения ацетилена в кислороде при известном расходе ацетилена на горелку $0,25 \text{ м}^3/\text{ч}$ позволили определить выбросы CO_2 ($0,275 \text{ г/с}$) и H_2O ($0,05 \text{ г/с}$). Учитывая удельные нормативы выбросов оксидов азота [3], были рассчитаны интенсивность выделения NO_2 ($0,0018 \text{ г/с}$) [8] и интенсивность тепловыделения 913 Вт [4]. Одновременно в заданные моменты времени

замерялись концентрации оксидов азота, угарного газа, углекислого газа, температура газо-воздушной смеси и скорость движения газо-воздушной среды в 5-ти характерных точках объёма исследуемой смотровой ямы, взятых в одной плоскости в непосредственной близости от источника загрязнений («Т1» (300;300;450), «Т2» (300;1000;450), «Т3» (350;1450;450), «Т4» (400;1000;450), «Т5» (400;600;450)) (рис.2).

Геометрические параметры источника загрязнения соответствуют координатам «С» (350;100;450) внутри ямы (рис.2). Выбор измерительных точек был обусловлен возможностью детального исследования образующейся тепловой струи в характерных сечениях [3], а также на основании проведённых численных экспериментов с помощью метода конечных элементов в современной программной среде SolidWorks Flow Simulations [2].

Экспериментальные исследования.

Для измерения температур использовались термопары в количестве 5 штук, анемометр, газоанализатор Drager X-am 5000. Перед проведением измерений в струе были выполнены замеры параметров микроклимата в помещениях. На протяжении экспериментов температура окружающего воздуха составляла 25-27 °С.

Подвижность воздуха измерялась с помощью анемометра, устанавливаемого в зоне тепловой струи напротив вентилятора при каждом новом эксперименте.

Опыты ставились таким образом, чтобы создать различные условия вентилирования пространства в исследуемом объекте. На рис.1 и рис.2 пунктиром показаны три различных положения вентилятора, которым создавался приток воздуха на рабочее место сварщика. Эксперимент №1 проводился в условиях отсутствия вентиляции, эксперимент №2 (положение вентилятора А) приток воздуха направлен спереди на сварщика, эксперимент №3 приток воздуха направлен сзади сварщика

(положение вентилятора Б) и эксперимент №4 – боковая подача воздуха слева от сварщика (положение вентилятора В). Для всех случаев были получены экспериментальные данные, которые приведены на рис. 3-б.

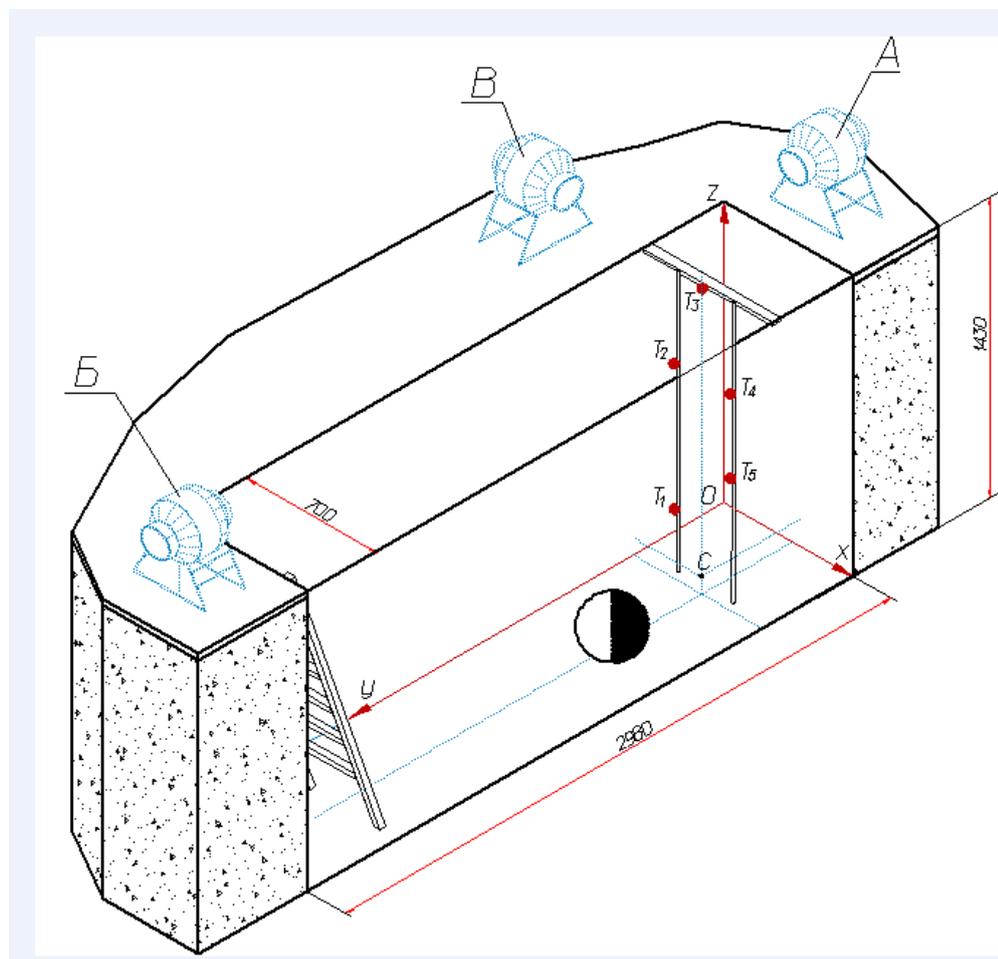


Рисунок 2 – Расположение измерительных точек в смотровой яме

Как видно из рис.3 распределение температур в плоскости измерений носит следующий характер: в точке «Т1», наиболее близкой к источнику выделений наблюдается наибольшая температура, достигающая порядка 50...60 °С при всех видах вентилирования ямы и в случае без вентиляции. В других измерительных точках температура на 10...20 °С ниже. Наиболее благоприятным случаем размещения приточного вентилятора является эксперимент №2, когда воздух подаётся спереди сварщика. Мы наблюдаем значительное снижение температур с 45°С до 35°С в точке «Т1» в течение 2-х минут эксперимента, да и в других точках

температура не нарастает. В случае боковой подачи воздуха и сзади эффекта снижения температур не наблюдается, они даже возрастают.

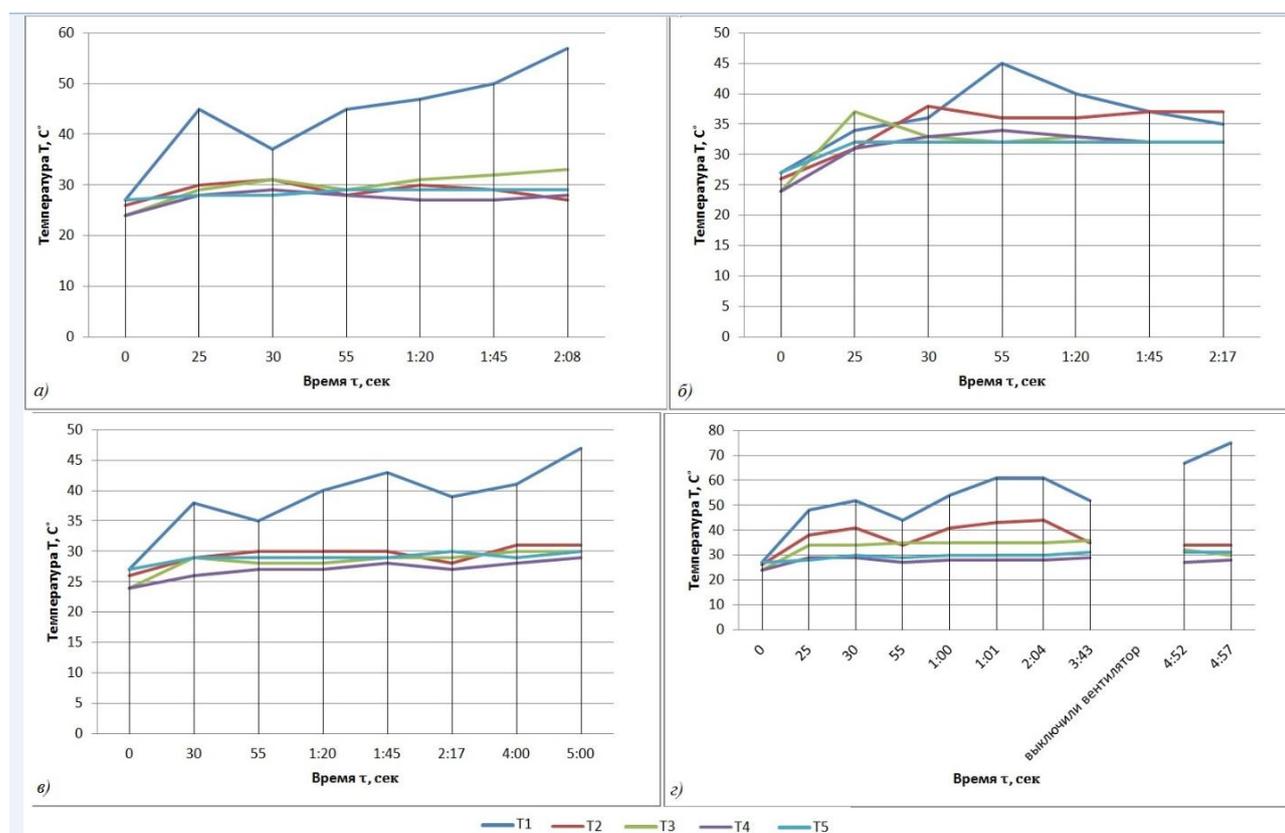


Рисунок 3 – Зависимости температур в измерительных точках от текущего время экспериментов:

а) - Эксперимент №1. Сварка без вентилятора, б) - Эксперимент №2. Ветер спереди, в) - Эксперимент №3. Ветер сзади, г) - Эксперимент №4. Боковой ветер

Подвижность воздуха в экспериментах №2 и №3 оказалась равной 2 м/с в зоне расположения тепловой струи напротив вентиляционного агрегата, а при боковой подаче воздуха в эксперименте №4 - 1 м/с.

В эксперименте №4 после 4-х минут опыта вентилятор был отключён и мы наблюдали рост температур в рабочей зоне сварщика до 75 °С в точке «Т1».

На рис.4 представлены графики, позволяющие оценить влияние глубины смотровой ямы на показания температур в измерительных точках в плоскости тепловой струи на разное время проведения экспериментов. В

эксперименте №4 при боковой подаче воздуха мы имеем максимальные температуры, которые соответствуют точке «Т1», расположенной на расстоянии 0,3 м от основания ямы. С уменьшением глубины погружения измерительной точки z в смотровой яме температура уменьшается и не

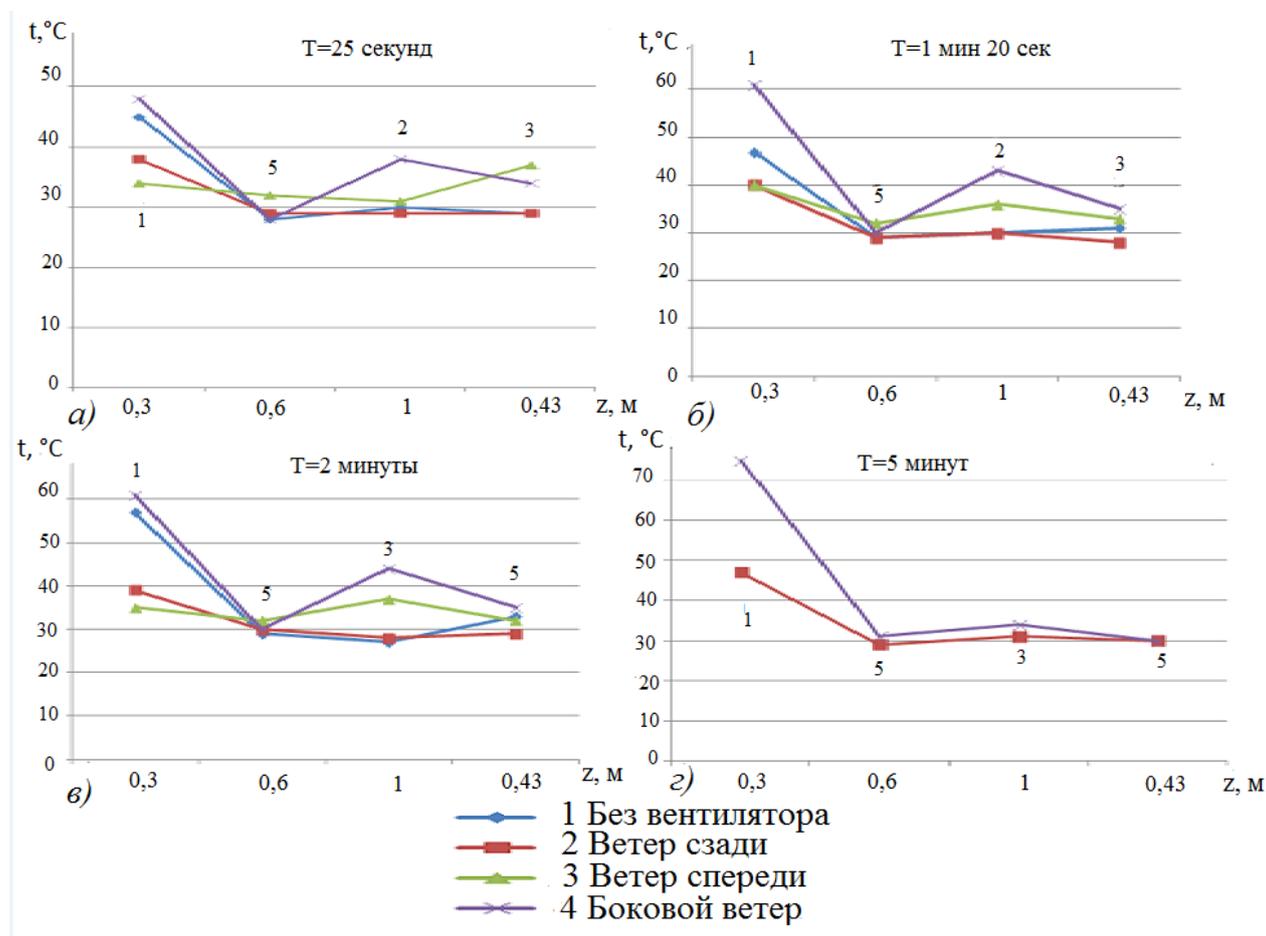


Рисунок 4 – Зависимости температур в измерительных точках от глубины ямы на разное текущее время экспериментов

превышает 45⁰С. В точках «Т2» и «Т3» мы имеем минимальные температуры в тепловой газо-воздушной струе, образованной при сварке. В эксперименте №2, когда воздух подаётся спереди сварщика наблюдается устойчивый эффект наиболее низких температур во всех измерительных точках.

Таким образом, сопоставление экспериментальных данных приведённых на рис.3 и рис.4 позволяет сделать следующие выводы:

- максимальная температура в смотровой яме имеет место в точке «Т1», находящейся на наибольшей глубине и наиболее близкой к источнику выделений загрязнений при сварке;

- исследование различных режимов вентилирования смотровой ямы показывает, что в экспериментах №1 (Сварка без вентилятора) и №4 (Боковой ветер) имеет место рост температур и ухудшение условий труда сварщика;

- с уменьшением глубины погружения измерительной точки z в смотровой яме температура газо-воздушной среды уменьшается и в эксперименте №2, когда воздух подаётся спереди сварщика наблюдается устойчивый эффект наиболее низких температур во всех измерительных точках.

На рис.5 и рис.6 представлены экспериментальные данные полученные входе проведения экспериментов по концентрациям вредных веществ и углекислому газу.

Контроль концентраций вредных веществ и углекислого газа, образующихся при ацетилено-кислородной сварке важен с точки зрения обеспечения санитарно-гигиенического норматива ПДК в рабочей зоне сварщика. Традиционно анализ ведётся на самый токсичный оксид азота, а норматив качества воздуха помещений для углекислого газа до недавнего времени в отечественных документах отсутствовал. Лишь гигиеническими нормативами [5] в 2006 году была введена максимально разовая ПДК равная 13 790 ppm (27 000 мг/м³) и среднесменная 4 597 ppm (9 000 мг/м³) для воздуха рабочей зоны производственных помещений. Тем не менее в соответствии с ГОСТ 8050-85 [6] «При концентрациях более 5 % двуокись углерода оказывает вредное влияние на здоровье человека. При этом снижается объемная доля кислорода в воздухе, что может вызвать явление кислородной недостаточности и удушья. Поэтому в экспериментальных исследованиях нами было уделено внимание и концентрации CO₂ [9,10].

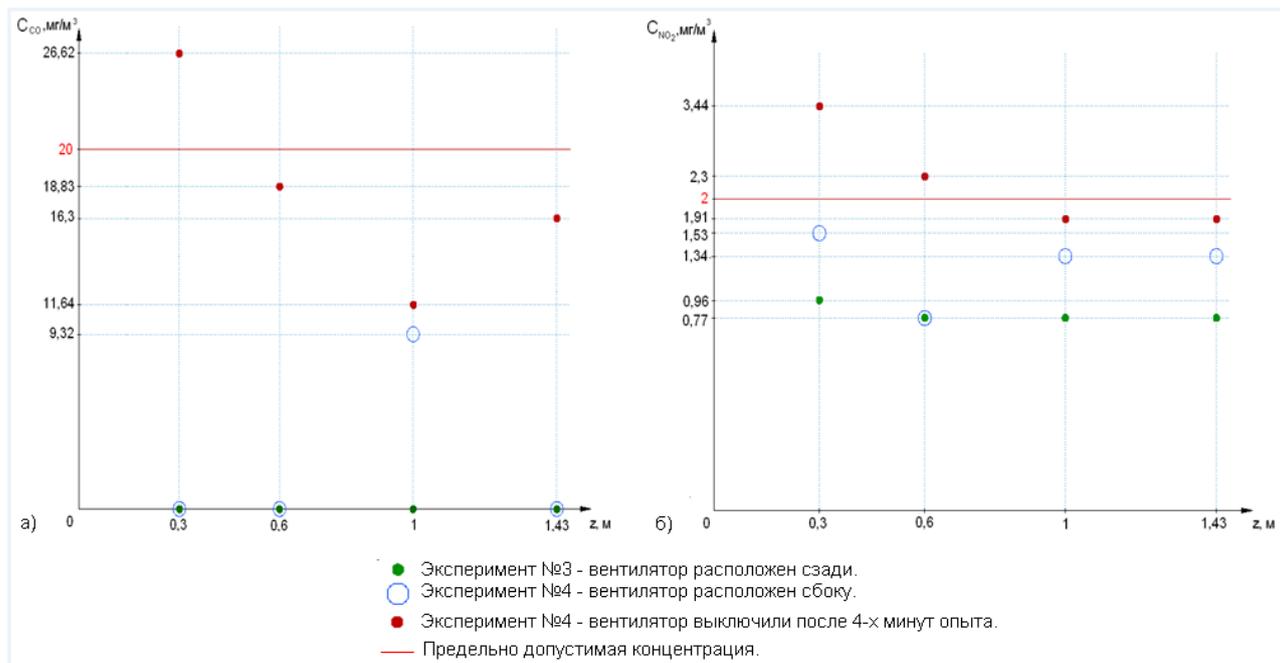


Рисунок 5 – Концентрации вредных веществ в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов №3 и №4

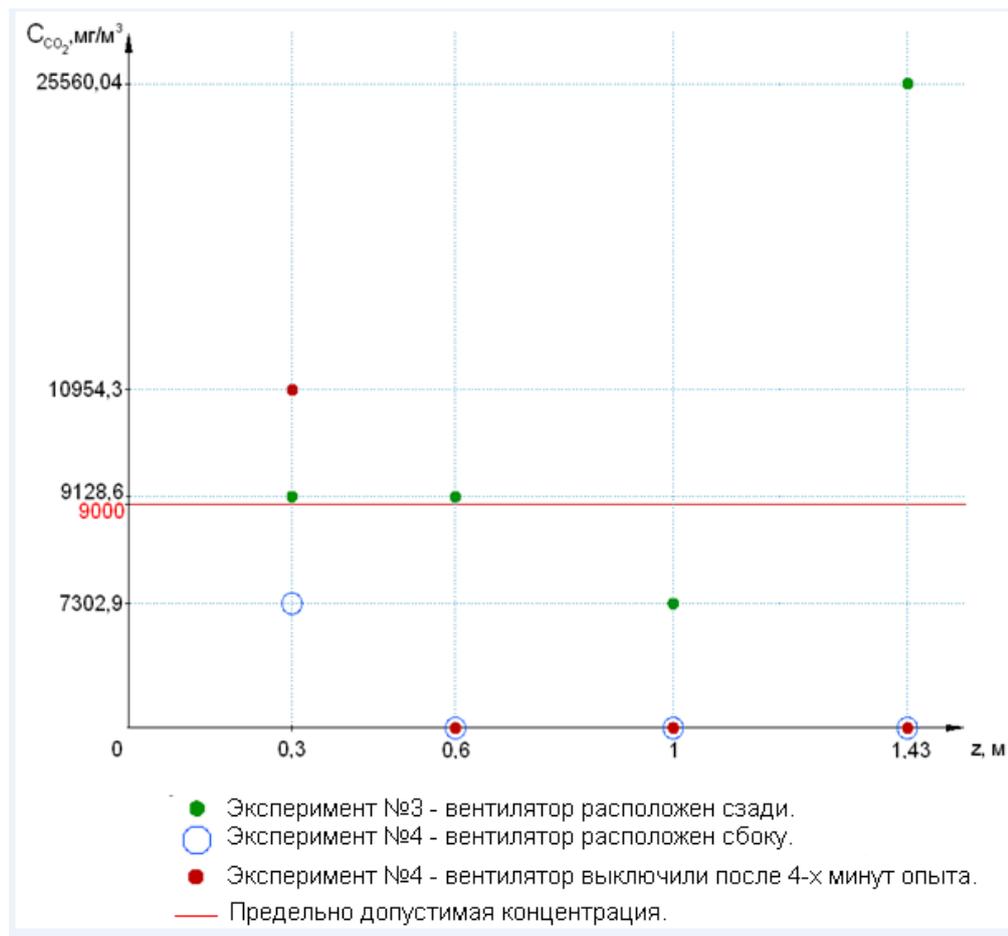


Рисунок 6 – Концентрации углекислого газа в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов №3 и №4

На рис. 5а,б представлены результаты замеров газоанализатором концентраций угарного газа и оксида азота NO_2 в измерительных точках смотровой ямы на разной глубине при проведении экспериментов №3 и №4. Концентрации превысили ПДК именно в этих наихудших режимах вентилирования смотровой ямы и достигли максимума в эксперименте №4 после отключения вентилятора в точке «Т1».

При всех равных условиях на максимальных глубинах смотровой ямы в точках «Т1» и «Т5» имеют место максимальные концентрации как вредных веществ, так и углекислого газа. Эксперименты длились не более 5 мин, однако уже за это время по всем исследуемым веществам можно было наблюдать превышение ПДК. Очевидно, что с увеличением времени сварки (действия источника загрязнения) картина загазованности будет ухудшаться, концентрации расти. Причина данного эффекта состоит в том, что в углах смотровой ямы создаются застойные зоны, которые не проветриваются большим вихрем, образованным устойчивым конвективным переносом сварочных аэрозолей и газов вертикально вверх.

Сопоставление экспериментальных данных, полученных в ходе проведённых исследований показывает, что картина температурных полей в смотровой яме и концентраций схожа, максимумы наблюдаются в точках наибольшей глубины расположения измерительных точек, а из всех режимов проветривания объекта наихудшими вариантами стали эксперименты №3 и №4.

Выводы. Проведённые измерения концентраций вредных веществ и углекислого газа, образующихся при ацетилено-кислородной сварке показали, что они превышают санитарно-гигиенический норматив ПДК, установленный для рабочей зоны. Стеснённые условия сварочных работ создают неблагоприятные условия и по концентрации CO_2 в воздухе рабочей зоны. При длительном ведении таких работ у сварщика возникает патология, связанная с недостатком кислорода в воздухе. Аналогичные

исследования по температуре воздуха рабочей зоны показали, что сварщик находится в неблагоприятных условиях производственного микроклимата, прежде всего по температуре.

Полученные результаты и предварительно проведённые модельные расчёты позволили выработать требования к необходимым условиям верификации математической модели и прежде всего требования к планированию и проведению экспериментов:

1. Эксперимент должен длиться до установившегося состояния теплового равновесия, когда во времени температуры и концентрации в измерительных точках не изменяются. По опыту авторов статьи в предыдущих исследованиях это время составляет 15-20 минут и оно значительно больше времени формирования тепловой струи при сварке.

2. Для верификации математической модели тепломассопереноса загрязнений необходимы точные детальные знания о источнике загрязнения, полученные не на основании паспортных характеристик сварочного оборудования или в результате расчётов, а путем измерения необходимых параметров. Так в наших экспериментах при ацетилено-кислородной сварке необходимо было измерять расходы кислорода и ацетилена, поступающие на газовую горелку.

Сформулированные требования необходимо учесть при планировании последующих экспериментов, например, в опытах с порошковой проволокой INNERSHIELD.

Литературные источники

1. Гайдено А.Л., Ситников А.Н., Булыгин Ю.И., Корончик Д.А., Алексеенко Л.Н. Моделирование тепломассопереноса загрязнений при сварочных работах в стеснённых условиях В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования в России: проблемы и перспективы развития

Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. г. Ростов-на-Дону, 2015. С. 82-97.

2. Методология и принципы поиска решений, обеспечения безопасности работы сварщиков в стеснённых условиях и на труднодоступных объектах/ Д.А. Корончик [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т.16, №3(86). — С.41–47.

3. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд. – М.: Химия, 1991, 368 с.

4. Рыкалин Н.Н. Расчёты тепловых процессов при сварке. – М.: Машиностроение, 1951, 296 с.

5. Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.2100-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны (дополнение N 2 к ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны).

6. ГОСТ 8050-85. Двуокись углерода газообразная и жидкая. Технические условия.

7. ГОСТ 12.2.054-81. Установки ацетиленовые.

8. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд. – М.: Химия, 1991, 368 с.

9. Гришагин В. М., Федько В. Т., Сапожков С. Б. Санитарно-гигиенические условия сварочного производства и их особенности при сварке в CO₂, Безопасность жизнедеятельности, М.:2001. №10. С.25-34.

10. Николаев Г.А. и др. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. Т.1. – М.: Машиностроение, 1978.-504 с.