

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»



ХОНДАК ІННА ІВАНІВНА

УДК 658.382.3

**ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ
ЗВАРЮВАННІ ЗА РАХУНОК ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЗАХИСТУ**

05.26.01 – охорона праці

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Березуцький Вячеслав Володимирович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри безпеки праці та
навколишнього середовища.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Беліков Анатолій Серафимович**, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», завідувач кафедри безпеки життєдіяльності;

кандидат технічних наук, доцент **Стрежекуров Едуард Євгенович**, Дніпровський державний технічний університет, доцент кафедри електротехніки та електромеханіки.

Захист відбудеться 05 травня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.085.01 при Державному вищому навчальному закладі «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» за адресою: 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, ауд. 202.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» (49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а) та на сайті: <https://pgasa.dp.ua/dissertation/>.

Автореферат розісланий 02 квітня 2021 р.

Учений секретар

спеціалізованої вченої ради



С. В. Шатов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із основних технологічних процесів у будівництві є електродугове зварювання та інші споріднені технології, що характеризуються шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які, за певних умов, можуть призводити до професійних захворювань та нещасних випадків робочих зварювальних професій. В Україні налічується 39 підприємств-виробників зварювального обладнання, сертифікованих в системі УкрСЕПРО, виробничі потужності яких дозволяють сумарно виробляти 20-25 тис. од. обладнання в рік.

За 2019 рік у порівнянні з 2018 роком кількість професійних захворювань збільшилась на 28,3 %, або на 531 захворювання (з 1879 до 2410). У структурі професійних захворювань перше місце належить хворобам органів дихання – 41,1 % від загальної кількості діагнозів по Україні (2343 випадки). Так, за статистикою, понад 50 % професійних захворювань зварювальників — це хвороби органів дихання і різні патології, пов'язані з вдиханням зварювального аерозолу (ЗА). Аналіз доступних джерел інформації показує, що недостатньо заходів та уваги приділяється виявленню та захисту від монооксиду вуглецю, який є небезпечним для працівників при виконанні процесів зварювання, особливо у приміщеннях, де немає вентиляції, або вона недосконала.

Недивлячись на постійне удосконалення способів дугового зварювання та зварювальних матеріалів, до цього часу багато гігієнічних проблем зварювального виробництва остаточно не вирішено. Як наслідок, залишаються незадовільними умови праці електрозварювальників, що негативно позначається на їх здоров'ї та працездатності.

Отже, розроблення нових засобів і заходів захисту зварювальників від впливу небезпечних і шкідливих чинників із метою зниження травматизму і професійних захворювань має суттєву науково-практичну значимість. Актуальність вирішення вказаної задачі визначила напрям досліджень, проведених в даній дисертаційній роботі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з Законом України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2695-ХІІ, Законом України «Про затвердження Загальнодержавної соціальної програми поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки» від 4 квітня 2013 р. № 178-VII. Наукові дослідження, викладені в дисертації, виконані згідно з напрямком наукової діяльності кафедри безпеки праці та навколишнього середовища Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») та кафедри зварювання НТУ «ХПІ», відповідно до теми науково-дослідної роботи «Теоретичні і практичні основи збільшення надійності експлуатації ТЕС» (№ держреєстрації 0120U101658, 2020-2022 рр., рівень участі здобувача - виконавець).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення заходів та засобів захисту працівників від негативного впливу аерозолів та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- провести аналіз умов праці на робочих місцях зварювання будівельних металоконструкцій, визначити шкідливі виробничі чинники та джерела їх утворення, оцінити ризики та небезпеки роботи електрозварювальників при різних режимах роботи вентиляції та у локалізованих просторах;

- виконати аналіз методів і засобів захисту людини від впливу шкідливих та небезпечних виробничих чинників на місцях зварювання будівельних металоконструкцій, удосконалити методика аналізу чадного газу на робочих місцях;

- провести теоретичне дослідження, спрямоване на побудову математичних моделей залежності концентрації чадного газу та зварювального аерозолу в повітрі робочих зон від електричного струму процесу зварювання, часу та відстані джерела утворення газу до органів дихання працівника, навести порівняльну характеристику складу інгредієнтів у різних типах електродів;

- розробити комплекс заходів профілактичного характеру, удосконалити засіб ефективного захисту обличчя людини від впливу електричної дуги з одночасним контролем чадного газу;

- провести дослідно-експериментальну оцінку результатів проведених досліджень.

Об'єкт дослідження - процес удосконалення заходів та засобів захисту працівників від зварювального аерозолу та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Предмет дослідження - методи аналізу та засоби захисту працівників від зварювального аерозолу та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Методи дослідження. В роботі використовувались експериментальні і аналітичні методи досліджень, для аналізу та удосконалення заходів та засобів захисту працівників від монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні. Експерименти проводились у лабораторії зварювання кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Лабораторія є ізольованим приміщенням площею 240 (15×16) м², висота приміщення – 6 м. Елементами, що зварювались, були зразки металу зі сталі ВСТЗСП товщиною 8 мм. Зварювання виконувалось електродами УОНИ-13-55 із основним покриттям, діаметром електродів 3 мм, а також із рутилово-целюлозним 6013 Э46 – Е60/13-d –УДЕ 431(3) – Р21 ТЕКНМАНН, із основним покриттям УОНИ-13/45 ПИОНЕР. Дослідження щодо визначення рівня концентрацій СО проводилось сигналізатором-аналізатором газів багатокомпонентним індивідуальним «ДОЗОР-С-М». Використовувався апарат електродугового зварювання, місцева витяжна вентиляція, пиловсмоктувач, ваги аналітичні ТВЕ-0,21-0,001, фільтри аналітичні АФА ВП 20. При проведенні досліджень було виконано планування повного факторного експерименту типу ПФЕ-2².

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше досліджено утворення монооксиду вуглецю в процесі зварювання при виконанні робіт при різних режимах роботи систем вентиляції та при її відсутності, у тому числі в замкнутому просторі, побудовані математичні моделі

залежності утворення концентрації чадного газу та зварювального аерозолу в повітрі робочих зон від електричного струму, часу та відстані зони дихання працівника до джерела утворення газів із урахуванням характеристик основних типів електродів, які використовуються на виробництві;

- вперше було застосовано елементи теорії надійності щодо побудови дерева відмов системи захисту людини від чадного газу і встановлено, що ризик отруєння чадним газом значно перевищує допустиму величину (10^{-6}) при використанні шоломів захисту зварювальника, які не облаштовані системою контролю та сигналізації щодо наявності монооксиду вуглецю. Виявлено основні причини відмов елементів і визначено вихідні дані для розрахунку ймовірності відмови системи;

- вперше встановлено, що з трьох типів електродів, які найбільш розповсюджені на підприємствах при виконанні зварювальних робіт, найбільша концентрація ЗА утворюється у робочій зоні при використанні електродів із основним покриттям, менше за всіх - з рутиловим. Дослідженнями доведено, що з трьох типів електродів менше ЗА утворюється при роботі з рутилово-целюлозним покриттям. Встановлено, що при використанні електродів із рутиловим типом покриття через відповідний час (310-320 с) ці електроди стають більш небезпечними, чим основні, за кількістю утворень ЗА. Визначено, що концентрація зварювального аерозолу зменшується при збільшенні відстані від джерела нелінійно;

- вперше визначено ризик отруєння зварювальника монооксидом вуглецю за шкідливістю його утворення, при дослідженні трьох типів електродів, які розподілились таким чином (від найбільш небезпечного до практично безпечного): рутилово-целюлозні; основні; рутилові;

- вперше створено навчальну комп'ютерну програму з питань оцінювання впливу шкідливих виробничих чинників у робочій зоні в процесі зварювання, а саме: рівня шуму, температури повітря робочої зони, електромагнітних випромінювань, інфрачервоного випромінювання, ультрафіолетового випромінювання на зварювальника, а також запропоновані заходи щодо зменшення цього впливу;

- удосконалено методику дослідження утворення монооксиду вуглецю у робочій зоні зварювання. Встановлено, що викиди зварювального аерозолу можуть потрапляти у зону дихання не тільки зварювальника, а також оточуючих при відсутності припливно-витяжної вентиляції та неефективній місцевій витяжній вентиляції, використання тільки витяжної вентиляції без припливно-витяжної не може забезпечити припустимий рівень забруднень у робочій зоні зварювання та у приміщенні. Визначено, що працівнику необхідно проводити підготовку до виконання процесу зварювання та робити вибір електродів із меншою кількістю забруднюючих викидів ЗА та монооксиду вуглецю у повітря робочої зони.

Практичне значення отриманих результатів. Удосконалено методику відбору монооксиду вуглецю із використанням приладу «ДОЗОР-С-М». Відмінною новизною удосконаленого методу є необхідність використання додаткового обладнання для уловлювання легколетючого газу.

Створено комп'ютерну програму «Зварювальник», яка може бути використана в навчальному процесі в якості лабораторної роботи для студентів денної, заочної і дистанційної форм навчання в різних закладах вищої освіти України і буде цікавою для всіх, хто займається питаннями охорони праці та безпеки життєдіяльності, особливо процесами зварювання. Вона також може бути корисною для тренінгу спеціалістів в області захисту навколишнього середовища. Реалізований підхід є вирішенням висвітленої проблеми сучасних заходів навчання та оцінювання знань студентів закладів вищої освіти. Використання цього підходу дозволяє автоматизувати навчальний процес, а також готує майбутнього спеціаліста до умов вирішення реальних проблем.

З метою удосконалення стандартного засобу оцінювання чадного газу на робочих місцях автором розроблений патент на створення нової модифікації сучасної маски зварювальника, яка забезпечує адекватний і ефективний захист обличчя людини від впливу електричної дуги і одночасно виявляє і вимірює чадний газ, що дуже важливо для працюючого, особливо в замкнутих приміщеннях.

Результати дисертації впроваджені в виробничому структурному підрозділі «Харківське територіальне управління» філії «Центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд (БМЕС)» акціонерного товариства «Укрзалізниця» на дільниці із забезпечення виробництва станції Безлюдівка в цеху з виготовлення бетону та розчинів, цементному складі підвального приміщення; апробована в промислових умовах захисна маска зварювальника, яка забезпечує ефективний захист обличчя людини від впливу електричної дуги, одночасно виявляє і вимірює чадний газ, що дуже важливо для працюючого, особливо в замкнутих приміщеннях.

Результати також використовуються на кафедрі охорони праці Харківського національного університету радіоелектроніки у вигляді комп'ютерної програми «Зварювальник», за допомогою якої проводиться оцінювання впливу шкідливих виробничих чинників у процесі зварювання, а саме: рівня шуму, температури повітря робочої зони, електромагнітного випромінювання, інфрачервоного випромінювання, ультрафіолетового випромінювання на зварювальника, а також запропоновані заходи щодо зменшення цього впливу.

Впроваджені результати дослідження при реконструкції лабораторії зварювання у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», враховано при модернізації системи припливно-витяжної вентиляції та визначення режимів праці працівників та студентів, які навчаються.

Особистий внесок здобувача в наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає в:

- проведенні аналізу умов праці на робочих місцях зварювання металоконструкцій та визначенні шкідливих виробничих чинників та джерел їх утворення [1, 2, 3, 4];

- виконанні теоретичних досліджень із удосконалення заходів та засобів захисту працівників від монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні [5, 10, 12];

- побудові математичних моделей залежності концентрації чадного газу в повітрі робочих зон від електричного струму процесу зварювання, часу та відстані джерела утворення газу до органів дихання працівника і порівнянні складу інгредієнтів у різних типах електродів [6, 10, 13];

- визначенні залежності концентрації зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю в повітрі робочих зон на робочому місці зварювальника від електричного струму зварювального процесу та різних типів електродів, часу та відстані органів дихання працівника від джерела утворення викидів [5];

- побудові математичних моделей залежності концентрації зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю в повітрі робочих зон від характеристик процесу зварювання [7];

- визначенні небезпеки та ризику отруєння чадним газом зварювальників у локалізованих просторах (замкнутих приміщеннях) [5, 15, 17];

- розробленні пропозицій щодо попередження розповсюдження чадного газу у часі і просторі робочих зон та мінімізації ризику отруєння чадним газом [17];

- застосуванні теорії надійності до виявлення елементів із високим ризиком у дереві відмов при проектуванні та реконструкції систем захисту людини від чадного газу в зварювальному виробництві [17];

- створенні нової модифікації сучасної маски зварювальника, яка забезпечує адекватний і ефективний захист обличчя людини від впливу електричної дуги і одночасно виявляє і вимірює чадний газ, що дуже важливо для працюючого, особливо в замкнутих приміщеннях [13];

- створенні нової комп'ютерної програми «Зварювальник», яка може бути використана в навчальному процесі при підготовці студентів із охорони праці та безпеки життєдіяльності [16].

Апробація матеріалів роботи. Результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідалися і обговорювалися на науково-технічних конференціях: X, XI, XII Міжнародних науково-практичних конференціях «Безпека людини у сучасних умовах» (м. Харків, 2018-2020 рр.), XXVII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2019 р.), Всеукраїнській конференції з міжнародною участю «Проблеми зварювання та споріднених технологій» (м. Миколаїв – м. Коблеве, 2019 р.), VII Міжнародній науково-практичній конференції «Science, society, education, topical issues and development prospects» (м. Харків, 2020 р.), VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Безпека життєдіяльності в XXI столітті» (м. Дніпро, 2020 р.).

Публікації. Основні матеріали дисертаційної роботи повною мірою висвітлені в 17 друкованих працях, у тому числі: 1 колективній монографії, 6 статтях у наукових фахових виданнях України, з них 1 – у збірнику, включеному до наукометричної бази Index Copernicus, 1 – у збірнику, включеному до наукометричної бази Scopus, 7 працях апробаційного характеру, 1 патенті України на

корисну модель, 2 працях, які додатково відображають матеріали дисертації.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел зі 118 найменувань. Загальний обсяг дисертації – 219 сторінок. Дисертація містить 63 рисунки, 22 таблиці, 5 додатків на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, мету і завдання, предмет та об'єкт дослідження, наведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості щодо їх впровадження, апробації та публікацій.

В **першому розділі** на підставі розгляду літературних джерел проаналізовано основні види зварювання, а також небезпек, які з ними пов'язані. Розглянуто вплив небезпечних і шкідливих виробничих чинників при зварюванні металевих будівельних конструкцій, запропоновано їх класифікацію відповідно до різних процесів зварювання. Приділено увагу речовинам, які уражують робітників при зварюванні і різанні кольорових металів. Описано професійні захворювання, а також заходи і засоби захисту зварювальників у процесі роботи від впливу шкідливих і небезпечних чинників. Класифіковано найпоширеніші сучасні респиратори в Україні для зварювальників. Виконано аналіз наукових досліджень щодо забезпечення безпеки зварювальних робіт. Особливу увагу було приділено питанням утворення зварювального аерозолю та чадного газу при різних видах зварювання, розглянуто питання з дослідження впливу чадного газу (СО) на зварювальника і засобів захисту від нього. Розглянуто небезпеки, пов'язані з утворенням чадного газу в зоні зварювання, особливо в замкнутих просторах і просторах, які погано вентилуються. Проаналізовано питання безпечної праці осіб, безпосередньо зайнятих при процесах зварювання, і осіб, які знаходяться поблизу робочого місця зварювальника.

Питанням безпеки праці в зварювальних процесах та пошуку наукових підходів щодо їх вирішення присвячено дослідження вітчизняних і зарубіжних фахівців, таких як: О.Г. Левченко, А.М. Ігнатова, А.В. Булат, О.В. Демецька, А.О. Лукьяненко, Д.А. Кузнецов, К.Ю. Кириченко, О.М. Савицький, В.М. Гришагин, М. Кобаяші, Р. Хейл, Д. Хілл, К.А. Олейниченко, В.А. Роянова, С.В. Гулакова, Б.І. Носовський, О.І. Шапоренко.

Здійснено аналіз виконання зварювальних робіт і головних засобів захисту. Визначено, що питання дослідження умов праці на робочих місцях недостатньо досліджено, а саме: питання з впливу емісій зварювального аерозолю та чадного газу на робочому місці зварювальника недостатньо вивчено, тому проведення досліджень із метою оцінювання виділення та розповсюдження монооксиду вуглецю в робочій зоні зварювальника та визначення необхідних засобів захисту та системи вентиляції є актуальною задачею.

У **другому розділі** в результаті проведених досліджень зварювальних робіт встановлено, що найчастіше використовуються такі групи електродів: із основним типом покриття, рутиловим та рутилово-целюлозним. Дослідження

проводились у лабораторії зварювання на стадії її проектування для оцінювання ефективності роботи вентиляції на постах зварювання. Дослідження планувались при ймовірних ризиках, що виникають у ситуаціях, коли працює припливно-витяжна вентиляція, вентиляція відсутня та процес зварювання виконується у замкнутому просторі. Розглянуто методику дослідження розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі у просторі робочої зони зварювальника. Для дослідження джерел утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів у робочій зоні зварювальника було проведено експеримент в умовах, наближених до виробничих. Експеримент проводився у лабораторії зварювання кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Лабораторія є ізольованим приміщенням площею 240 (15×16) м², висота приміщення – 6 м. У приміщенні проектується система вентиляції. Дослідження спрямовані на визначення кращих підходів до розташування робочих місць зварювальників, проектування загальнообмінної вентиляції та зменшення ризику негативного впливу чадного газу на зварювальників. Перед початком зварювання було визначено місце розташування зварювальника на одному з 5 спроектованих зварювальних постів. При дослідженнях було використано апарат електродугового зварювання А1416. Режими зварювання: напруга електричної мережі – 380/220 В; напруга зварювальної дуги 10-30 В; зварювальний струм 100-200 А, місцева витяжна вентиляція, пиловсмоктувач, ваги аналітичні ТВЕ-0,21-0,001, фільтри аналітичні АФА ВП 20. Елементами, що зварювались, були зразки металу зі сталі ВСТЗСП, товщиною 8 мм.

Зварювання виконувалось електродами УОНИ-13-55 із основним покриттям, діаметром 3 мм. Вибір режиму зварювання та характеристика джерела живлення електричним струмом вказують на формування зварювального аерозолі та наявність його негативного впливу на працівників у лабораторії. Оцінювання емісій ЗА на наявність та вимірювання концентрацій монооксиду вуглецю та SO₂ виконувались у двох режимах при ручному дуговому зварюванні: перший - в зоні зварювання в замкнутому об'ємі; другий – в зоні зварювання під витяжним зонтом (вентиляцію штучну не включено). При проведенні досліджень було враховано, що монооксид вуглецю, який виділяється у процесі зварювання, має надзвичайну небезпеку через те, що його важко визначити у робочій зоні та він має тяжкі наслідки для здоров'я робітника. Чадний газ небезпечний тим, що, потрапляючи в кров, він сполучається з гемоглобіном та робить його нездатним розносити кисень по організму. Через це людина гине як від задухи.

Перебування протягом двох годин у приміщенні з концентрацією СО у повітрі лише 0,1 % призводить до втрати свідомості, після чого людина може швидко померти. Втрата свідомості супроводжується таким знесиленням, що людина, навіть помітивши небезпеку, вже неспроможна врятуватись. Такі симптоми, як погіршення світлової та кольорової чутливості зору, погіршення слуху, головний біль, відчуття тиску, свідчать про небезпечну концентрацію чадного газу в повітрі (0,05 % СО). При вищих концентраціях газу

відчуватиметься сильний головний біль, слабкість, запаморочення, нудота. В процесі зварювання чадний газ виділяється і зварювальник ним дихає, таким чином, без достатнього захисту працюючого він обов'язково потрапляє в кров. Це може призвести до проблем із кров'ю і розвитку такого захворювання, як лейкемія.

Дослідження з визначення рівня концентрацій CO проводилося сигналізатором-аналізатором газів багатокомпонентним індивідуальним «ДОЗОР-С-М». Сигналізатор призначений для вимірювання концентрації компонентів в газовій суміші димових газів.

Для розрахунків небезпеки впливу всі робочі місця мали максимальне навантаження.

В процесі проведення досліджень було використано стандартні методики вимірювання, але враховуючи значну складність визначення CO у відкритому приміщенні приладами типу ДОЗОР, через високу летючість газу, було запропоновано доповнити їх нововведеннями. Було запропоновано використовувати додатково куполоподібний навіс (внутрішній об'єм 1 м³) над зоною, яка досліджувалась, в якій розташовували штангу приладу вимірювання з аналізатором. Цей навіс дозволяє утримувати газ та концентрувати його у певній зоні. Без застосування такого навісу практично неможливо визначити динаміку утворення чадного газу у зоні зварювання.

Для виявлення залежності утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів у робочій зоні зварювальника були проведені відповідні дослідження при електродуговому зварюванні в лабораторії зварювання НТУ «ХП».

Електроди, які були використані в експерименті:

а) з рутилово-целюлозним покриттям: E46 – MAX weld РЦ, E432(3) – РЦ 11;

б) з рутиловим покриттям: E 6013 Э46 – E60/13-d –УДЕ 431(3) – P21 ТЕКНМАНН;

в) з основним покриттям: УОНИ-13/45 «ПИОНЕР».

Дослідження було виконано у відповідності з планом експерименту типу ПФЕ-2². Натуральні величини факторів при проведенні експерименту відповідно замінені кодованими значеннями. Відтворюваність результатів експериментів було перевірено шляхом постановки паралельних дослідів. Зварювання проводилось у навчальній лабораторії майстром навчального процесу. Вимоги до якості зварювання і товщини металу, а також глибина прожогу не розглядались.

На основі проведених досліджень запропоновано методику комплексного оцінювання виділення вуглецю в процесі зварювання, що дозволяє уловити чадний газ безпосередньо в зоні дихання зварювальника, врахувати режим зварювання, тип електродів, режим вентиляції. Запропонована методика дозволяє запропонувати комплекс заходів, направлених на захист працівників від впливу вуглецю при електродному зварюванні.

В **третьому розділі** надані результати досліджень щодо аналізу вентиляції при зварюванні на прикладі електродів із основним типом покриття. Проведено оцінювання ефективності витяжної вентиляції на ділянці зварювання.

Елементами, що зварювались, були зразки металу зі сталі ВСТЗСП, товщиною 8 мм. На практиці одними з найбільш застосовуваних електродів є електроди з основним видом покриття, тому зварювання виконували електродами УОНИ-13-45 із основним покриттям, діаметром електродів 3 мм. Вибір режиму зварювання та характеристика джерела живлення електричним струмом вказують на формування зварювального аерозолю та наявність його негативного впливу на працівників на ділянці зварювання.

Оцінка емісій зварювальних аерозолів на наявність та вимірювання концентрацій монооксиду вуглецю виконувались при ручному дуговому зварюванні в зоні зварювання під витяжним зонтом. На робочому місці зварювальника витяжна вентиляція у формі зонти розміром $0,82 \times 0,40$ (м²), в якому 8 отворів у формі рівнобічних трикутників розміром $0,05 \times 0,2 \times 0,2$ (м³). Швидкість руху повітря біля входу в отвори: 1,3-1,6 (м/с). На робочому місці на відстані 20 см від отворів швидкість руху повітря складає 0,2 м/с, а в області проведення зварювальних робіт на відстані 0,5 м швидкість руху повітря становить 0,05-0,1 м/с. Відповідно до ДБН В.2.5-67:2013, при зварювальних роботах на ділянці допустимий показник швидкості руху повітря в області проведення зварювальних робіт варіюється від 0,4 до 1,0 м/с.

Тому можна зробити висновок, що витяжна вентиляція на ділянці працює недостатньо ефективно, бо шкідливі речовини з робочої зони видаляються зі швидкістю, яка не відповідає нормативній.

На інших робочих місцях (4 стаціонарних робочих місця) витяжна вентиляція виконана у формі зонти розміром $0,4 \times 0,82$ (м²) з 12 вирізами у формі рівнобіжного трикутника розміром $0,035 \times 0,2 \times 0,2$ (м³). Швидкість руху повітря біля входу в отвори дорівнює 1,6-1,9 (м/с). На робочому місці на відстані 0,5 м від отворів швидкість руху повітря складає 0,2-0,3 м/с, що також нижче норми. За висновками експерименту щодо дослідження концентрації чадного газу, можна сказати, що витяжна вентиляція також є неефективною.

Зростання концентрації чадного газу залежно від сили струму і тривалості зварювання для електродів із основним типом покриття представлено на рис. 1.

Дослідження концентрації зварювального аерозолю, який виділявся від електродів із основним типом покриття, проводилось на відстані 0,2 м, 0,5 м, 1,0 м, при струмі 200 А і часі 180 с.

На рис. 2 показані зразки фільтрів із уловленим зварювальним аерозолем при зварюванні електродами з основним типом покриття на різних відстанях:

- зразок А отриманий при зварюванні основними електродами з витяжною вентиляцією (струм 200 А, час 180 с), на відстані 0,2 м від місця зварювання;
- зразок Б отриманий при зварюванні основними електродами з витяжною вентиляцією (струм 200 А, час 180 с), на відстані 0,5 м від місця зварювання;
- зразок В отриманий при зварюванні основними електродами з витяжною вентиляцією (струм 200 А, час 180 с), на відстані 1,0 м від місця зварювання;
- зразок Г отриманий при зварюванні електродами з основним типом покриття з використанням витяжної вентиляції при струмі 200 А, часі 180 с, безпосередньо біля органів дихання зварювальника.

Згідно з експериментальними даними, концентрація зварювального аерозолі зменшується при збільшенні відстані від джерела.

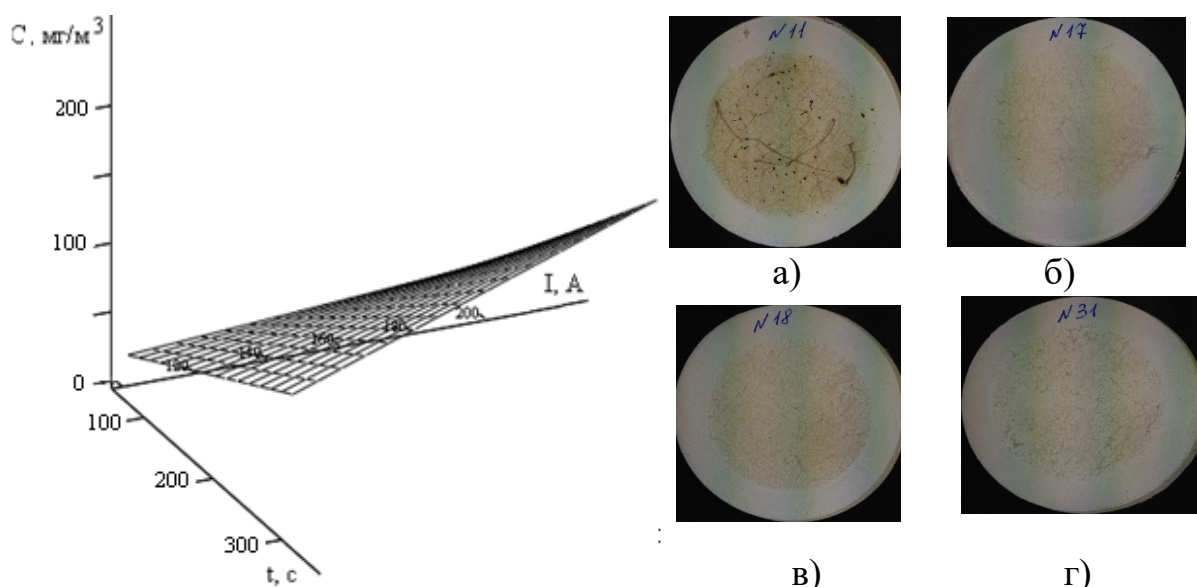


Рисунок 1 – Залежність концентрації чадного газу від величини струму I і тривалості зварювання t для електроду з основним типом покриття

Рисунок 2 – Зразки, які отримано при зварюванні основними електродами з витяжною вентиляцією (струм 200 А, час 180 с) на відстані від місця зварювання: а) 0,2 м, б) 0,5 м, в) 1,0 м, г) у зоні дихання зварювальника.

Це дозволяє припустити, що математична модель залежності концентрації аерозолі від відстані до джерела може бути представлена поліномом другого ступеня:

$$C(L) = a + L \cdot b + L^2 \cdot k, \quad (1)$$

де C – концентрація аерозолі, $\text{мг}/\text{м}^3$;

L – відстань до джерела, м;

a, b, k – невідомі коефіцієнти.

В результаті експерименту отримано три точки з координатами $(0,2; 2,0)$, $(0,5; 1,2)$, $(1,0; 0,5)$. Математичну модель розраховано за допомогою універсального методу (інтерполяція, точна в вузлах). Складемо таку систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 2,0 = a + 0,2b + 0,2^2 k \\ 1,2 = a + 0,5b + 0,5^2 k \\ 0,5 = a + 1,0b + 1,0^2 k \end{cases} \quad (2)$$

Вирішення системи рівнянь (2) методом Гаусса дає такі результати: $a=2,7$; $b=3,8$; $k=1,6$. Підставивши отримані значення в рівняння (1), отримаємо математичну модель:

$$C(L) = 2,7 - 3,8L + 1,6L^2, \quad (3)$$

за умови:

$$0,2 \leq L \leq 1.$$

Концентрація зварювального аерозолю зменшується при збільшенні відстані від джерела нелінійно. Викиди зварювального аерозолю можуть потрапляти у зону дихання не тільки зварювальника, а також оточуючих при відсутності припливно-витяжної вентиляції та неефективній місцевій витяжній вентиляції. Використання тільки витяжної вентиляції без припливно-витяжної не може забезпечити допустимий рівень забруднень у робочій зоні зварювання та у приміщенні.

Проведено оцінювання характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолю. У лабораторії, де виконувались дослідження, розташовано 5 робочих місць для ручного електродугового зварювання.

Вимірювання проводилось на одному робочому місці. Виконували вимірювання і аналіз концентрації чадного газу на робочому місці і на основі отриманих експериментальних даних проведено математичне моделювання вмісту чадного газу в повітрі робочої зони з урахуванням 5 робочих місць.

Проведено оцінювання ризику отруєння чадним газом зварювальників за методом Файн-Кінні:

$$R = P \cdot E \cdot D, \quad (4)$$

де P – ймовірність небезпек;

E – серйозність наслідків;

D – ймовірність пошкоджень.

Серйозність наслідків може бути визначена за двома варіантами: перший – як отруєння (травма) з утратою працездатності на 1 день, відповідно – 1; смертельний випадок – 50. У першому варіанті $R=6$, тобто ризик незначний. У другому варіанті $R=300$, що означає високий рівень ризику та необхідність вживання негайних дій. У процесі експериментальних досліджень встановили залежність концентрації чадного газу від часу роботи зварювального апарату в обмеженому просторі і під витяжним зонтом.

В експерименті змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон (кабін, колодязів, шахт). Обмін повітря (L) тут здійснюється через вентиляційний отвір. З метою отримання математичної моделі загазованості повітря робочої зони чадним газом була використана прямопропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення газу CO :

$$L = J \cdot 0,0052. \quad (5)$$

Коефіцієнт пропорційності 0,0052 отриманий при обробленні експериментальних даних і відповідає окремому випадку. При зміні обсягу і площі вентиляційного отвору його значення також зміниться. Важливим є не саме значення, а можливість використання лінійної моделі. Отримана залежність є середньостатистичним результатом експериментальних вимірювань, відображає зміну концентрації чадного газу в залежності від часу в побудованій математичній моделі, отриманій методом найменших квадратів. В даному експерименті змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон. Аналогічно була отримана математична модель загазованості повітря

робочої зони на межі зовнішнього контуру витяжного зонту. Отримана динаміка концентрації чадного газу під витяжним зонтом при відмові вентиляції, де також була використана прямопропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення чадного газу.

Застосовано математичні моделі щодо розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи. У реальних виробничих умовах чадний газ видаляється з робочої зони за допомогою пристроїв місцевої витяжної вентиляції. Зазвичай ці пристрої мають обмежений внутрішній об'єм, всередині якого відбувається інтенсивне перемішування газоповітряної суміші. Далі будемо розглядати їх в якості локальних об'ємів із квазіоднорідної газоповітряної суміші. Очевидно, що в приміщенні реального цеху або лабораторії таких пристроїв може перебувати кілька (n). Зазвичай їх кількість дорівнює кількості робочих місць.

Особливий інтерес із точки зору забезпечення безпеки виробничих процесів із виділенням чадного газу представляють ситуації, пов'язані з відмовою системи вентиляції. Далі буде розглянуто виробниче приміщення, оснащене системою комбінованої вентиляції. П'ять робочих місць оснащені пристроями місцевої витяжної вентиляції, підключеними до загального повітропроводу і вентилятора. Також у приміщенні є загальна припливна вентиляція. Для розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи пропонується така модель, яка заснована на системі диференціальних рівнянь (6), (7):

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = J_1 + K_1(m - m_1), \quad (6)$$

$$\frac{dm_n(t)}{dt} = J_n + K_n(m - m_n), \quad (7)$$

$$K = \frac{L}{V}, \quad (8)$$

де L – продуктивність вентиляційної системи, м³/год;

V – об'єм приміщення, м³.

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_1 \cdot m_1 + \dots + K_n \cdot m_n - K \cdot m \cdot V(t), \quad (9)$$

де $v(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (працездатність) вентиляційної системи:

$$v(t) = \frac{\text{sign}(0,6-t)+1}{2}, \quad (10)$$

де $m_1 \dots m_n$ – кількості чадного газу в повітрі приміщення у момент часу t , год;

$J_1 \dots J_n$ – інтенсивності виділення чадного газу у відповідних локальних об'ємах, мг/год;

$K_1 \dots K_n$ – кратності повітрообміну локальних об'ємів, які розраховуються за формулою (8), 1/год;

n – кількість локальних об'ємів;

$v(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (відмови) загальної вентиляції.

Рівняння (6), (7), (9) відображають динаміку вмісту чадного газу у відповідному локальному об'ємі при одночасній відмові місцевої вентиляції на n робочих місцях. Така ситуація може виникнути при розгерметизації або засміченні загального повітропроводу, а також при відмові вентилятора. Праві частини рівнянь відображають одночасне надходження і видалення чадного газу. При цьому надходження в кожен локальний обсяг здійснюється двома шляхами: від відповідного внутрішнього джерела $J_1 \dots J_n$; від повітря, що надходить з приміщення (складові $K_{1m} \dots K_{nm}$).

Рівняння відображає динаміку вмісту чадного газу в об'ємі приміщення за межами локальних зон. Останній доданок відображає видалення чадного газу за допомогою загальної вентиляції. Попередні складові відображають його надходження в приміщення з локальних зон.

Дослідження довели, що концентрація чадного газу за межами локальних об'ємів пристроїв місцевої вентиляції, тобто в повітрі робочих зон, залишається постійною і не перевищує ГДК (20 мг/м^3), Це свідчить про те, що загальнообмінна вентиляція в розглянутих умовах виконує роль «гарячого» резерву місцевої вентиляції, достатнього для забезпечення безпеки за фактором чадного газу в повітрі робочих зон. При відмові загальнообмінної вентиляції концентрація чадного газу зростає в експоненційній залежності, в результаті чого безпека не забезпечується. Очевидно, що для її забезпечення потрібне вжиття додаткових заходів (сигналізація, евакуація, застосування засобів індивідуального захисту та ін.).

Для виявлення залежності утворення монооксиду вуглецю та зварювального аерозолу від різних типів електродів у робочій зоні зварювальника було проведено відповідні дослідження при електродуговому зварюванні в лабораторії зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Для проведення досліджень було виконано планування експерименту типу ПФЕ- 2^2 . У дослідженнях використовувались найпоширеніші у застосуванні електроди з основним (В), рутиловим (R) та рутилово-целюлозним (RC) покриттям. Побудовані математичні моделі процесу утворення та розповсюдження газу монооксиду вуглецю у робочому просторі зварювальника для електродів із різним типом покриття (11)–(13).

Математична модель процесу зварювання з рутиловими електродами набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 44,675 + 18,825X_1 + 3,825X_2 + 2,075X_1 X_2, \quad (11)$$

де X_1 – сила струму I (А);

X_2 – час зварювання t (с).

Математична модель процесу зварювання з рутилово-целюлозними електродами набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 131,625 + 46,158X_1 + 7,242X_2 + 8,108X_1 X_2. \quad (12)$$

Математична модель процесу зварювання з основними електродами набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 74,075 + 6,575X_1 + 17,575X_2 + 3,075X_1 X_2. \quad (13)$$

На рис. 3, рис. 4 зображені графіки залежності СО від часу та сили струму відразу трьох типів електродів із основним, рутиловим та рутилово-целюлозним покриттям. Встановлено, що найбільшу кількість монооксиду вуглецю при силі струму 200 А виділяють електроди з рутилово-целюлозним покриттям, на другому місці – електроди з основним покриттям, а на третьому – з рутиловим. Але через проміжок часу у 300 с при електричному струмі 100 А більше СО утворюється при використанні основних електродів.

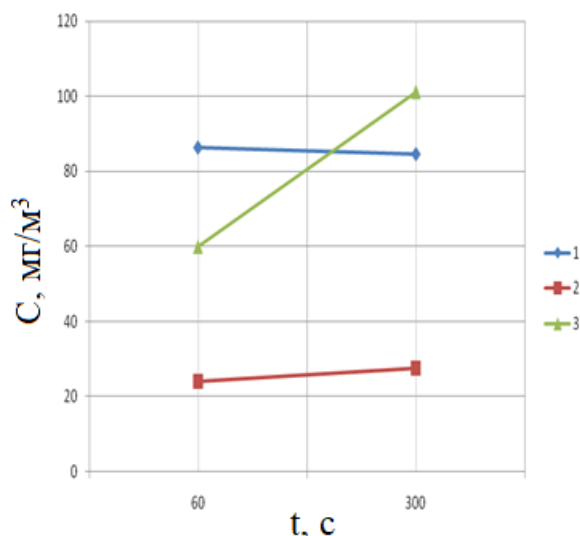


Рисунок 3 – Залежність концентрації чадного газу від тривалості зварювання t при струмі 100 А: 1 – рутилово-целюлозний електрод; 2 – рутиловий електрод; 3 – основний електрод.

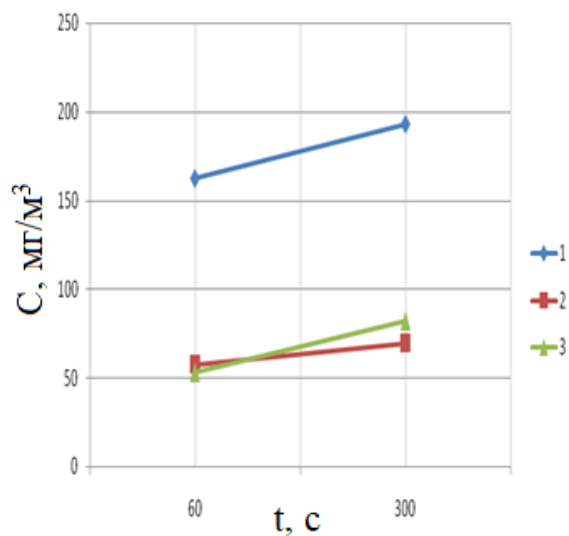


Рисунок 4 – Залежність концентрації чадного газу від тривалості зварювання t при струмі 200 А: 1 – рутилово-целюлозний електрод; 2 – рутиловий електрод; 3 – основний електрод.

Побудовані математичні моделі залежності концентрації зварювального аерозолу в повітрі робочих зон від електричного струму, часу та відстані до джерела для електродів з різним типом покриття (14)–(18) при вентиляції, яка працює, та вентиляції, яка не працює.

Математична модель процесу зварювання при використанні рутилово-целюлозних електродів і вентиляції набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 1,285 + 0,245X_1 + 0,265X_2 + 0,235X_1 X_2. \quad (14)$$

Математична модель процесу зварювання з рутиловими електродами і вентиляцією набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 2,4825 - 0,0375X_1 + 0,9675X_2 + 0,4575X_1 X_2. \quad (15)$$

Математична модель процесу зварювання з основними електродами при використанні вентиляції та пиловсмоктувача набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 2,36 + 0,315X_1 + 0,96X_2 + 0,125X_1 X_2. \quad (16)$$

Математична модель процесу зварювання з основними електродами при використанні вентиляції набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 2,63 + 0,405X_1 + 1,095X_2 - 0,11X_1 X_2. \quad (17)$$

Математична модель процесу зварювання з основними електродами без використання вентиляції набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 3,225 + 0,26X_1 + 1,015X_2 + 0,03X_1X_2. \quad (18)$$

На рис. 5 розглянуто залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів із основним типом покриття в 3 ситуаціях:

- 1) коли присутня вентиляція;
- 2) одночасно є вентиляція і пиловсмоктувач;
- 3) без вентиляції.

Дослідження довели, що одночасне використання вентиляції та пиловсмоктувача ефективніше, ніж просто витяжної вентиляції.

Результати досліджень доводять, що найбільша концентрація ЗА спостерігається від електродів із основним покриттям, менша – з рутиловим (рис. 6). Встановлено, що з трьох досліджених типів електродів менше ЗА утворюється при роботі з рутилово-целюлозним покриттям. Результати дослідження вказують на те, що при використанні електродів із рутиловим типом покриття через 310-320 с ці електроди стають більш небезпечними, чим основні.

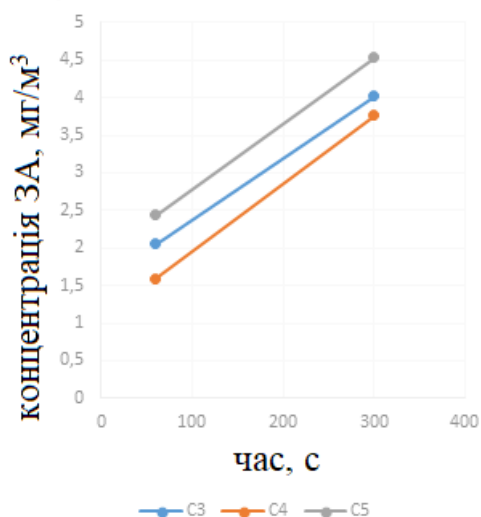


Рисунок 5 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів із основним типом покриття (С3 – з вентиляцією, С4 – з вентиляцією та пиловсмоктувачем, С5 – без вентиляції) при I=150 А.

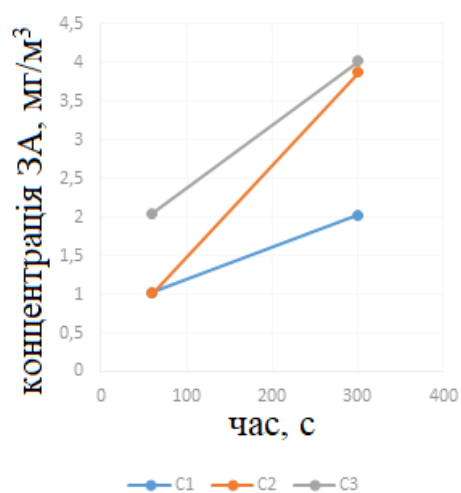


Рисунок 6 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні вентиляції та електродів із різним типом покриття (С1 – рутилово-целюлозне, С2 – рутилове, С3 – основне) при I=150 А.

У четвертому розділі з метою удосконалення стандартного засобу оцінювання і дослідження чадного газу на робочих місцях розглядається розроблена та створена автором нова модифікація сучасної маски зварювальника, яка забезпечує адекватний і ефективний захист обличчя людини

від впливу електричної дуги і одночасно виявляє і вимірює чадний газ, що дуже важливо для працюючого, особливо в замкнутих приміщеннях.

Поставлене завдання вирішується тим, що до захисної маски зварювальника, яка містить корпус маски, світлозахисний фільтр, наголівник, додатково введено сигналізатор чадного газу, який розташований всередині корпуса маски у верхній її частині за допомогою фіксуючих елементів вузла кріплення.

Ця захисна маска зварювальника використовується наступним чином. Перед початком роботи зварювальник перевіряє стан сигналізатора чадного газу, вмикає його, надягає маску на голову за допомогою наголівника, встановлює в робоче положення та виконує зварювальні роботи. Під час роботи всередину маски можуть потрапляти зварювальний аерозоль та газоподібні шкідливі речовини. Сигналізатор чадного газу виявляє і визначає наявність монооксиду вуглецю в повітрі робочої зони безпосередньо під захисною маскою зварювальника. Коли пристрій працює в нормальному режимі, зелений світлодіод блимає кожні 30 с. Якщо виявлено небезпечний рівень чадного газу, починає блимати червоний світлодіод і звучить сигнал тривоги. Сигналом тривоги є повторення чотирьох коротких голосних звукових сигналів. Зварювальник після сигналу тривоги обов'язково повинен застосувати індивідуальні засоби захисту органів дихання і залишити виробничу ділянку.

Сам винахід складається з маски зварювальника «Хамелеон Stark WM 1000» і сигналізатора наявності чадного газу L 326, який розміщений під маскою.

Таким чином, захисна маска дозволить захистити зварювальника від випромінювань зварювання, диму, бризок розпечених частинок, а також від впливу чадного газу. Це дасть можливість застосовувати її в будь-яких приміщеннях, особливо з обмеженим простором. Відмовитись від проведення зварювальних робіт при будівництві в замкнутих просторах неможливо, але зменшити ризик отруєння зварювальника чадним газом можна завдяки застосуванню захисної маски, яку обладнано сигналізатором газу. Цей винахід дає поштовх до впровадження захисних масок, обладнаних газоаналізаторами, які будуть реагувати не лише на чадний газ, але й ряд інших газів, які можуть утворюватись на робочих місцях при зварюванні і потрапляти до органів дихання зварювальників.

Також доопрацьований пристрій «Каска», розроблений Ю.А. Гасило, В.В. Сафоновим, Е.Є. Стрежекуровим, а саме: оснащено – датчиком-сигналізатором (або двома) перевищення допустимої концентрації газів (СО), з'єднавши його з елементом включення подачі чистого повітря у зону дихання при виконанні зварювальних робіт.

Датчик необхідно розташовувати у зоні можливого накопичення газу СО як найбільш небезпечного за наслідками дії на працівника. Зона накопичення газу знаходиться у верхній частині захисного пристрою під захисною маскою зварювальника. Також, для аналізу стану накопичення СО у приміщенні, другий датчик необхідно встановлювати зовні маски.

Таким чином, є два варіанти використання захисних індивідуальних засобів захисту (ЗІЗ) органів дихання зварювальника:

- захисна маска зварювальника без каски (із сигналізатором CO);
- захисна каска із вентиляцією повітря (із двома сигналізаторами CO).

Відповідно до характеру робіт, можна обирати варіанти ЗІЗ органів дихання працівника при виконанні зварювальних робіт.

Побудовано дерево відмов системи захисту зварювальника від чадного газу з використанням захисної маски, яку обладнано сигналізатором газу.

Ймовірності P_1 , P_2 і P_4 розраховуються за допомогою формули (19):

$$P_x(t) = 1 - e^{-t \cdot \lambda_x}, \quad (19)$$

де x – умовне позначення подій;

t – тривалість експлуатації елемента;

λ_x – інтенсивність подій x (ця величина залишається постійною під час експлуатації).

Ймовірність відмови доповненої системи захисту розраховується за формулою:

$$P_5 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_6), \quad (20)$$

де P_6 – ймовірність відмови захисту на окремому робочому місці,

$$P_6 = P_7 \cdot P_8, \quad (21)$$

де P_7 – ймовірність відмови вентиляції на окремому робочому місці;

P_8 – ймовірність відмови сигналізатора:

$$P_7 = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_4). \quad (22)$$

Підставляючи певні чисельні значення в формули (19-22), отримаємо: $P_8 = 0,0009$; $P_7 = 0,0523$; $P_6 = 0,0005$. Ймовірність відмови доповненої системи захисту дорівнює:

$$P_5 = 1 - (1 - 0,0005)^5 = 0,0022.$$

Розроблено програму «Зварювальник» для симуляції впливу шкідливих чинників (концентрації зварювального аерозолу; концентрації чадного газу, рівня шуму; температури повітря; електромагнітного випромінювання; ультрафіолетового випромінювання; інфрачервоного випромінювання) на організм зварювальника під час робочого процесу та засобів їх нормалізації для засвоєння та закріплення знань з охорони праці та безпеки життєдіяльності. Програмний продукт створений на мові C++ з використанням додаткових графічних бібліотек.

ВИСНОВКИ

На основі виконаних досліджень, викладених у дисертації, сформульовані та обґрунтовані наукові пропозиції, сукупність яких є теоретичним узагальненням та новим вирішенням актуальної науково-прикладної задачі вдосконалення заходів та засобів захисту працівників від зварювального аерозолу та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Найбільш важливі наукові та практичні результати, висновки і рекомендації полягають в такому:

1. На підставі доступної науково-технічної інформації проаналізовано основні зварювальні процеси, які надали пояснення причини виникнення шкідливих та небезпечних виробничих чинників під час зварювального процесу металевих будівельних конструкцій. Визначені домінуючі шкідливі та небезпечні виробничі чинники, а саме: підвищена концентрація зварювального аерозолю та підвищена концентрація чадного газу у повітрі робочих зон.

2. За допомогою повного факторного експерименту типу ПФЕ-2² вперше побудовані математичні моделі вмісту чадного газу та зварювального аерозолю в повітрі робочих зон з урахуванням умов зварювання (електричного струму, часу, типу електрода та відстані до джерела). Це дозволило дослідити зміни концентрацій зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю, які утворюються при ручному електродуговому зварюванні та використанні електродів з основним типом покриття, рутиловим та рутилово-целюлозним.

3. Оцінка отриманих математичних моделей процесу утворення та розповсюдження газу монооксиду вуглецю у робочому просторі зварювальника довела, що процес накопичення газу у приміщенні може мати як експоненціальну залежність, так і лінійну та логарифмічну. Кожен із цих варіантів залежить від стану вентиляції приміщення, де відбувається процес зварювання, його розмірів, електродів, що використовуються, та експозиції самого процесу зварювання. За проведеним аналізом, найбільш шкідливими електродами по виділенню $3A \epsilon$: з основним типом покриття; з рутиловим типом покриття; з рутилово-целюлозним типом покриття.

4. Досліджена залежність концентрації зварювального аерозолю від часу і сили струму при використанні електродів з основним типом покриття при використанні вентиляції, без вентиляції та одночасно з вентиляцією і пиловсмоктувачем. Встановлено, що використання тільки витяжної вентиляції без припливно-витяжної не може забезпечити припустимий рівень забруднень у робочій зоні зварювання та у приміщенні.

5. За допомогою дерева відмов визначений ризик отруєння чадним газом, який значно перевищує значення 10^{-6} , яке на сьогодні є допустимим для технічних ризиків. Високий ризик утворення монооксиду вуглецю при ручному електродуговому зварюванні підтверджує і розрахунок за методом Файн-Кінні (більш $R=300$) і означає існування високої загрози життю та здоров'ю зварювальників.

Складено розрахункову формулу ймовірності відмови системи захисту людини від чадного газу в приміщенні зварювального цеху.

6. Визначено необхідність перевірки концентрації чадного газу при роботі у приміщенні з вентиляцією через кожну годину та при її відсутності – через кожні 0,5 години. З метою запобігання нещасним випадкам та удосконалення стандартного засобу оцінки чадного газу на робочих місцях автором доопрацьована маска зварювальника і «каска», які забезпечують адекватний і ефективний захист обличчя людини від впливу електричної дуги і одночасно

виявляють і вимірюють чадний газ, що дуже важливо для працюючого, особливо в замкнених приміщеннях.

7. Вперше була створена навчальна комп'ютерна програма з оцінки впливу шкідливих виробничих чинників в процесі зварювання будівельних конструкцій, а саме рівня шуму, температури повітря робочої зони, ЕМВ, інфрачервоного випромінювання, ультрафіолетового випромінювання на зварювальника, а також запропоновані заходи щодо зменшення цього впливу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Березуцька Н.Л., Хондак І.І., Дослідження надійності системи «Людина-Машина-Середовище». *Безпека людини у сучасних умовах: монографія*. Харків: ФОП Мезіна В.В., 2018. С. 200-207.

2. Дзюндзюк Б.В., Хондак І.І. Обеспечение электромагнитной безопасности в местах жилой застройки. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2010. № 4/8 (46). С. 32-35.

3. Дзюндзюк Б.В., Хондак І.І., Березуцька Н.Л. Вплив шкідливих факторів на психологію та фізіологію праці. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2011. № 24. С. 134-139.

4. Березуцький В. В., Хондак І. І. Зварювання металевих виробів та безпека. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії*. 2018. №. 41 (1317). С. 91-102.

5. Berezutskiy V., Hondak I., Berezutska N., Dmitrik V., Gorbenko V., Makarenko V. Assessment and prevention of the propagation of carbon monoxide over a working area at arc welding. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. № 3/10 (99). P. 38–49. (*Scopus*).

6. Березуцький В. В., Хондак І. І., Березуцька Н. Л., Халіль В. В. Аналіз вентиляції при зварюванні з використанням електродів з основним типом покриття. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Технології в машинобудуванні*. 2020. № 1. С. 48–53.

7. Березуцький В.В., Хондак І.І. Дослідження залежності утворення зварювального аерозолі під час електродугового зварювання з використанням електродів з основним, рутіловим та рутілово–целюлозним покриттям. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 6. С. 10-28. (*Index Copernicus*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Хондак І.І. Вплив шкідливих виробничих чинників на здоров'я людини в процесі зварювання. *Безпека людини у сучасних умовах: матеріали Х міжнар. наук.-метод. конф.*, 6-7 грудня 2018 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 85-87.

9. Хондак І.І. Чадний газ в навколишньому середовищі в процесі зварювання. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'є (Microcad-2019): тези доповідей XXVII міжнар. наук.-практ. конф.*, 15-17 травня 2019 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. Ч. IV. С. 58.

10. Березуцький В.В., Хондак І.І., Комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження вмісту чадного газу в замкненому просторі в процесі зварювання. *Проблеми зварювання та споріднених технологій*: матеріали Всеукр. конф., 17-19 вересня 2019 р. Миколаїв-Коблеве, 2019. С. 22-23.

11. Хондак І.І. Застосування сучасних засобів виявлення і виміру чадного газу в процесі зварювання для захисту людини. *Безпека людини у сучасних умовах*: матеріали XI міжнар. наук.-метод. конф., 5-6 грудня 2019 р. Харків: НТУ «ХПІ», 2019. С. 215-217.

12. Березуцький В.В., Хондак І.І. Вплив зварювального аерозолю на зварювальника при роботі з різними типами електродів. *Science, society, education, topical, issues and development prospects: abstracts of VII intern. scient. and pract. conf.*, 7-9, June 2020. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 301-303.

13. Березуцький В.В., Хондак І.І. Вплив шкідливих чинників на зварювальника. *Безпека життєдіяльності в XXI столітті*: тези доповідей VIII міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 листопада 2020 р. Дніпро: ПДАБА, 2020. С. 8-10.

14. Хондак І.І. Ризик професійних захворювань зварювальників. *Безпека людини у сучасних умовах*: матеріали XII міжнар. наук.-метод. конф., 3-4 грудня 2020 р., Харків: НТУ «ХПІ», 2020. С. 175-176.

Наукові праці, які додатково відображають матеріали дисертації:

15. Захисна маска зварювальника: пат. 142484 Україна: МПК А61F 9/06 (2006.01) / Березуцький В.В., Хондак І.І. № у 2019 11431; заявл. 25.11.2019; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11. Власник: Харк. нац. ун. радіоел-ки.

16. Березуцький В. В., Хондак І. І. Програма «Зварювальник» для дослідження впливу чинників виробничого середовища на здоров'я працюючого. *International academy journal. Web of Scholar*. 2020. № 3 (45). P. 20-26. (*Index Copernicus*).

17. Березуцький В.В., Хондак І.І. Оцінка ризику утворення чадного газу при ручному дуговому зварюванні. *World science*. 2020. № 7 (59). P. 130-136. (*Index Copernicus*).

АНОТАЦІЯ

Хондак І.І. Підвищення безпеки працівників при електродуговому зварюванні за рахунок вдосконалення заходів захисту. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 – охорона праці. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Проведено аналіз стану питання з охорони праці в світі та Україні в зварювальному виробництві, визначено шкідливі виробничі фактори і виділено серед них домінуючі. Розкрито основні методи і засоби вимірювань зварювального аерозолю та чадного газу на робочих місцях зварювальника з урахуванням типу покриття електрода. Побудовано математичні моделі вмісту

чадного газу та зварювального аерозолю в повітрі робочих зон у залежності від умов зварювання (електричного струму, часу, типу електрода та відстані до джерела). Проаналізовано основні причини відмов системи захисту, складено дерево відмов і запропоновано розрахункову формулу для визначення ймовірності відмови системи. Продемонстровано ефективність управління ризиком шляхом оптимізації вибору найбільш значущих елементів і умов їх експлуатації. Розроблено засіб ефективного захисту обличчя зварювальника від електричної дуги з одночасним контролем чадного газу в повітрі робочої зони.

Ключові слова: електродугове зварювання, зварювальне виробництво, чадний газ, зварювальний аерозоль, електроди, ризик, дерево відмов, безпека праці.

АННОТАЦИЯ

Хондак И.И. Повышение безопасности работников при электродуговой сварке за счет усовершенствования мер защиты. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.01 – охрана труда. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Министерства образования и науки Украины, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры» Министерства образования и науки Украины, Днепр, 2021.

Проведен анализ состояния вопроса охраны труда в мире и Украине в сварочном производстве, определены вредные производственные факторы и выделены среди них доминирующие. Рассмотрены основные методы и средства измерений сварочного аэрозоля и угарного газа на рабочих местах сварщика с учетом типа покрытия электрода. Построены математические модели содержания угарного газа и сварочного аэрозоля в воздухе рабочих зон в зависимости от условий сварки (электрического тока, времени, типа электрода и расстояния до источника). Проанализированы основные причины отказов системы защиты, составлено дерево отказов и предложена расчётная формула для определения вероятности отказа системы. Продемонстрирована эффективность управления риском путём оптимизации выбора наиболее значимых элементов и условий их эксплуатации. Разработано средство эффективной защиты лица сварщика от электрической дуги с одновременным контролем угарного газа в воздухе рабочей зоны.

Ключевые слова: электродуговая сварка, сварочное производство, угарный газ, сварочный аэрозоль, электроды, риск, дерево отказов, безопасность труда.

SUMMARY

Hondak I.I. Improving the safety of workers in electric arc welding by improving protection measures. – On the rights of the manuscript.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.26.01 – Labour protection. – National technical university «Kharkiv Polytechnic

Institute» of the Ministry of education and science of Ukraine, State higher educational establishment «Prydniprovskya State Academy of Civil Engineering and Architecture» of the Ministry of education and science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The dissertation analyses the state of labour protection in the world and Ukraine in the welding industry, identifies harmful production factors and highlights the dominant ones.

Much attention is paid to studying substances that affect workers when welding and cutting non-ferrous metals. Occupational diseases are described, as well as measures and means of protection of welders in the process of work from the influence of harmful and dangerous factors. The classification of the most widespread modern respirators in Ukraine for welders is carried out. The analysis of scientific studies on maintaining safety of welding works is also performed. Particular attention was paid to the build-up of welding aerosol and carbon monoxide emissions in different types of welding, the impact of CO on welders and means of protection against it. The hazards associated with carbon monoxide formation in the welding area is under research as well, especially in confined spaces and poorly ventilated areas. The issues of work safety of persons directly involved in welding processes and for people in the vicinity of the welder's workplace was analysed.

The analysis of performance of welding works and the main means of protection is laid out. It is determined that the issue of study on working conditions in the workplace is insufficiently researched, so it is relevant. The issue of the impact of CO emissions on the welder's workplace is insufficiently studied, so there is a need for additional research to assess the spread of carbon monoxide in the working area of the welder and selection of necessary protection and ventilation systems.

The main methods and means of measuring welding aerosol and carbon monoxide at the welder's workplaces are revealed, taking into account the type of electrode coating. As a result of the study of main welding works it has been established that the following groups of electrodes are most frequently used: basic cover type, rutile and rutile-cellulose type.

The method of studying the distribution of carbon monoxide of welding aerosol in the working area of the welder in order to improve it, namely: the study of sources of carbon monoxide from different types of electrodes in the working area of the welder was conducted in conditions close to production.

While applying the method of CO research the need for additional equipment and measuring devices was established in order to estimate build-up of the gas in spaces above the welding zone and determine its concentration due to its high volatility.

Given the significant complexity of the determination of CO in the open by devices such as DOZOR, due to high volatility of the gas, it was proposed to supplement them with innovative novelty. An additional dome-shaped canopy (internal volume of one cubic meter) over the area of study was implemented as a proposition. The canopy housed the rod of the measuring instrument with the analyzer. This canopy allows to contain gas and concentrate it in a certain area. With no such canopy it would be almost impossible to determine the dynamics of carbon monoxide build-up in the welding zone.

Mathematical models of carbon monoxide and welding aerosol content in the air of working areas depending on welding conditions (electric current, time, electrode type and distance to the source) are constructed.

Computational models of the correlation between concentration of welding aerosol in the air and the electric current, time and distance to the source for electrodes with different types of coating during ventilation and ventilation that do not work are also listed within the study.

The main causes of protection system failures are analysed, a tree of failures and a calculated formula for the probability of system failure are compiled. Demonstrated the effectiveness of risk management by optimizing the choice of the most important elements and conditions of their operation.

In order to improve the standard means of assessing carbon monoxide in the workplace, a new modification of the modern welder's mask developed and created by the author is considered, which provides adequate and effective protection of the human face from electric arc indoors.

The «Zvaryvalnik» program is developed to simulate influence of most common threats: welding aerosol; carbon monoxide, noise; air temperature; electromagnetic radiation; ultraviolet radiation; infrared radiation into the worker during the process and the means of their optimization to consolidate knowledge and experience on industrial safety and personal health.

Key words: electric arc welding, welding production, carbon monoxide, welding spray, electrodes, risk, failure tree, labour safety.