

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ХОНДАК ІННА ІВАНІВНА

УДК 658.382.3

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

05.26.01 – охорона праці
19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 І. І. Хондак

Науковий керівник: Березуцький Вячеслав Володимирович, доктор технічних наук, професор

Дніпро – 2021

АНОТАЦІЯ

Хондак І.І. Підвищення безпеки працівників при електродуговому зварюванні за рахунок вдосконалення заходів захисту. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.26.01 «Охорона праці» (19 – Архітектура та будівництво). – 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.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню заходів та засобів захисту працівників від негативного впливу зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Об'єктом дослідження є процес удосконалення заходів та засобів захисту працівників від зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Предметом дослідження є методи аналізу та засоби захисту працівників від зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні

На підставі аналізу літературних джерел визначено 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 в процесі роботи від впливу шкідливих і небезпечних чинників. Здійснено класифікацію найбільш поширених сучасних респіраторів в Україні для зварювальників. Виконано аналіз наукових досліджень щодо забезпечення безпеки зварювальних робіт. Особливу увагу приділено питанням утворення зварювального аерозолю та чадного газу при різних видах зварювання, розглянуто питання з дослідження впливу 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 у процесах зварювання, і для осіб, які знаходяться поблизу робочого місця зварювальника.

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

Використано методи дослідження температури, атмосферного тиску, відносної вологості, швидкості руху повітря, штучного освітлення, окису сірки (IV), електромагнітних полів, рівня шуму, концентрації чадного газу для аналізу умов праці зварювальника.

В результаті проведених досліджень основних зварювальних робіт встановлено, що найбільш часто використовуються такі групи електродів: з 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 аерозолю у просторі робочої зони зварювальника з метою її вдосконалення, а саме: дослідження джерел утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів у робочій зоні зварювальника було проведено експеримент в умовах, наближених до виробничих.

У процесі застосування методу дослідження СО було встановлено необхідність додаткових облаштувань у приладах вимірювання з метою концентрування газу у просторі над зоною зварювання та визначення його концентрації через його високу летючість.

В процесі проведення досліджень було використано стандартні методики вимірювання, але враховуючи значну складність визначення СО 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, що досліджувалась, в якій розташовували штангу приладу вимірювання із 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. Дослідження було виконано у відповідності з планом експерименту типу ПФЕ-2².

На основі проведених досліджень запропонована методика 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.

Надані результати досліджень аналізу вентиляції при зварюванні на прикладі електродів з основним типом покриття. Проведено оцінювання ефективності витяжної вентиляції на ділянці зварювання. Зроблений аналіз характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі. Проведено оцінювання ризику отруєння чадним газом зварювальників за методом Файн-Кінні. Для виявлення залежності утворення монооксиду вуглецю та зварювального

аерозолі 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-2². У дослідженнях використовувались найбільш поширені 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.

Побудовані математичні моделі залежності концентрації зварювального аерозолі в повітрі робочих зон від електричного струму, часу та відстані до джерела для електродів із різним типом покриття при вентиляції, яка працює та вентиляції, яка не працює.

З метою удосконалення стандартного засобу оцінювання 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.

Але до недоліків цього пристрою слід віднести те, що працівник повинен перервати свою працю та зайнятися своїм захистом, покинувши небезпечну зону. Тобто він втрачає робочий час. Тому в роботі запропоновано обладнати пристрій Гасило Ю.А., Сафонова В.В., Стрежекурова Е.Є. «Каска», який захищає голову та обличчя працюючого від надлишкових тепло- та пилогазових виділень, датчиком-сигналізатором (або двома) перевищення допустимої концентрації газів (СО), з'єднавши його із 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, а також для аналізу стану накопичення СО у приміщенні, другий

датчик необхідно встановлювати зовні маски. Таким чином, досягається ефективний контроль за концентрацією газів та включення подачі очищеного повітря у разі збільшення її до неприпустимих рівнів у разі необхідності. Таким чином, є два варіанти використання захисних індивідуальних засобів органів дихання зварювальника:

1. Захисна маска зварювальника без каски (із сигналізатором на CO);
2. Захисна каска із вентиляцією повітря (із двома сигналізаторами CO).

Відповідно до характеру робіт можна обирати варіанти засобів індивідуального захисту органів дихання працівника при виконанні зварювальних робіт.

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

Розроблена програма «Зварювальник» для симуляції впливу шкідливих чинників: зварювального аерозолі; чадного газу; 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 із охорони праці та безпеки життєдіяльності.

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

SUMMARY

Hondak I.I. Improving the safety of workers in electric arc welding by improving protection measures. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences in specialty 05.26.01 «Labor protection» (19 – Architecture and civil engineering). – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» of Ministry of Education and Science of Ukraine, State Higher Educational Establishment «Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture» of Ministry of

Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The purpose of the dissertation is to improve measures and means of protection for workers from the negative impact of welding aerosol and carbon monoxide emissions.

The object of study is the process of improving measures and means of protection of workers from welding aerosol and carbon monoxide.

The subject of study is methods for analysis and means of protection for workers from welding aerosol and carbon monoxide emissions.

The main types of welding are identified as well as the dangers associated with it were based on the analysis of literature sources. The influence of dangerous and harmful production factors during welding of metal building structures is considered, their classification according to different welding processes is offered. 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 methods to study temperature, atmospheric pressure, relative humidity, air velocity, artificial lighting, sulfur oxide (IV), electromagnetic fields, noise level, carbon

monoxide build-up to were analysed the common operating conditions of the welder.

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 research was carried out in the welding laboratory at the stage of its industrial design, to assess the effectiveness of ventilation at welding stations. The studies were planned at the probable risks that might arise in situations with supply and exhaust ventilation shafts operational, not operational and welding process is performed in an enclosed space.

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.

In the process of research, standard measurement methods were used. 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.

To identify the correlation of carbon monoxide build-up from different types of electrodes in the working area of the welder appropriate studies were performed.

The study was performed in accordance with the experimental design type FFE-2².

Based on the research a method of complex assessment of carbon emissions during welding was proposed. This method allows to capture carbon monoxide directly in the breathing zone of the welder, taking into account the welding mode, type of electrodes, ventilation mode.

The proposed technique allows to formulate a set of measures to protect workers from the effects of CO during electrode welding.

Presents the results of the study analysis for ventilation during welding taking main type of coating electrodes as an example. Efficiency of exhaust ventilation assessment is also carried out. The analysis of the nature of the build up and distribution of carbon monoxide by welding aerosol is under research. The risk of carbon monoxide poisoning of welders was assessed by the Fine-Kinney method. In order to identify the correlation between formation of carbon monoxide and welding aerosol and different types of electrodes in the working area of the welder one appropriate research was in the welding laboratory of in welding department National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute».

An experiment of the FFE-2² type was performed for the research. The most commonly used electrodes with basic (B), rutile (R) and rutile-cellulose (RC) coatings were used in the studies.

The study also provides scientific and quantitative models of the process of formation and distribution of carbon monoxide gas in the working space of the welder for electrodes with different types of coating

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.

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.

However, the disadvantages of this device include the fact that the employee must interrupt their work and do own protection, leaving the danger zone. That is working time loss. Therefore, we proposed to be equipped the device by Gasilo Y.A., Safonova VV, Strezhekurova EE "Kaska" a sensor-signaling device. This device protects the head and face of the worker from excessive heat and dust and after it modification also has a sensor-

signaling device (or two) that notifies the bearer of the exceeding permissible concentration of gases (CO). Having that connected to the element of clean air supply to the breathing zone during welding is a significant advantage.

The sensor of gas must be located in the area of possible CO build-up, as the most dangerous in terms of biohazard impact on the worker. The gas accumulation zone is located in the upper part of the protective device under the protective mask of the welder. To analyze the state of gas in the room the second sensor must be installed on the cover of mask. This allows for effective control over the concentration of gas and of the supply of purified air in the case of exceeding it to unacceptable levels within necessity. Thus, there are two options for the choice of individual protective respiratory equipment of the welder:

1. Protectional mask of the welder without helmet (with the CO signaling device);
2. Protective helmet with the air ventilated into (the two alarms installed of CO).

According to the view of the work options can be chosen for personal protective equipment of the respiratory organs of the employee for performing welding work.

A failure tree of the welder's protection system against carbon monoxide was made using a protective mask equipped with a gas detector.

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 aerosol, electrodes, risk, failure tree, labour safety.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

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, рутиловим та рутилово–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 X 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 «ХП», 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 «ХП», 2019. С. 215-217.

12. Березуцький В.В., Хондак І.І. Вплив зварювального аерозолі 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 «ХП», 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 «ХП», 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). Р. 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). Р. 130-136. (*Index Copernicus*).

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	17
ВСТУП	18
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	27
1.1 Аналіз стану охорони праці в світі та України в зварювальному виробництві.....	27
1.2 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники на робочих місцях зварювання металоконструкцій та їх вплив на здоров'я зварювальників.....	29
1.3 Загальна характеристика та нормування зварювальних аерозолів у робочій зоні	39
1.4 Аналіз сучасних методів та засобів захисту людини від шкідливих і небезпечних виробничих чинників на робочих місцях зварювального виробництва.....	46
1.5 Оцінювання ризику впливу чинників робочого середовища на працівника при виконанні зварювальних робіт.....	56
Висновки до розділу 1	61
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТАНІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ	63
2.1 Методика дослідження розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі у просторі робочої зони зварювальника.....	63
2.2 Методика дослідження мікрокліматичних параметрів на робочому місці зварювальника.....	67
2.2.1 Методика дослідження температури.....	67
2.2.2 Методика визначення атмосферного тиску.....	68

2.2.3 Методика визначення вологості.....	70
2.2.4 Методика визначення швидкості руху повітря.....	71
2.3 Методика визначення шуму на робочому місці зварювальника.....	72
2.4 Методика дослідження освітлення.....	73
2.5 Методика дослідження SO ₂ у повітрі приміщення.....	75
2.6 Методика дослідження електромагнітного поля у приміщенні.....	76
Висновки до розділу 2.....	78
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННІ МЕТАЛІВ.....	80
3.1. Аналіз вентиляції при зварюванні на прикладі електродів із основним типом покриття.....	80
3.2 Мінімізація небезпеки зварювальних процесів у локалізованих просторах та ризику отруєння чадним газом зварювальників.....	90
3.3 Побудова математичних моделей залежності концентрації чадного газу та зварювального аерозолю в повітрі робочих зон при використанні різних типів електродів.....	104
3.3.1 Оцінювання характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолю.....	104
3.3.2 Математична модель газової складової зварювального аерозолю (ГСЗА) щодо монооксиду вуглецю.....	107
3.3.3 Застосування математичної моделі щодо розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи.....	114
3.3.4 Аналіз впливу типів електродів на утворення монооксиду вуглецю в процесі зварювання.....	117
3.3.5 Математична модель залежності концентрації зварювального аерозолю у повітрі робочих зон від електричного струму, часу та відстані до місця зварювання.....	135
Висновки до розділу 3.....	157

РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКА ВІД ВПЛИВУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ.....	160
4.1 Розробка та створення нової модифікації маски зварювальника.....	162
4.2 Побудова дерева несправностей (відмов) і розрахункової формули ймовірності відмови системи захисту людини від чадного газу в приміщенні, де відбуваються процеси зварювання.....	169
4.3 Дослідно-експериментальна оцінка результатів проведених досліджень.....	171
Висновки до розділу 4	181
ВИСНОВКИ	183
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	185
ДОДАТОК А АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	198
ДОДАТОК Б ПОКАЗНИКИ НЕБЕЗПЕК ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ.....	203
ДОДАТОК В ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИКІВ.....	209
ДОДАТОК Г РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕМІСІЙ ЗВАРЮВАЛЬНОГО АЕРОЗОЛЮ ТА МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ.....	211
ДОДАТОК Д СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	214

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ЗКЗ – засоби колективного захисту

МОП – Міжнародна організація праці

ГДК – гранично допустима концентрація

ГДР – гранично допустимий рівень

ПЗ – професійне захворювання

ЗА – зварювальний аерозоль

СУОПП – система управління охороною праці на підприємстві

ЕМП – електромагнітні поля

НТУ «ХПІ» – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

БМЕС – центр будівельно-монтажних робіт та експлуатації будівель та споруд

АТ – Акціонерне товариство

СО – чадний газ, монооксид вуглецю

MIG – електродугове зварювання металевим електродом у середовищі інертних газів

MAG – електродугове зварювання у середовищі інертних газів

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із найважливіших питань безпеки людини на підприємстві є виконання вимог законів і нормативних актів із охорони праці на підприємстві. Вирішальним у досягненні цієї мети є втілення та активне застосування системи управління охороною праці на підприємстві. Ефективність роботи СУОПП оцінюється показниками виробничого травматизму та професійної захворюваності. На думку експертів [1], травматизм на виробництві посідає третє місце в переліку причин загибелі людей. В розвинутих країнах світу збиток від травматизму на виробництві і професійних захворювань складає до 4 % від об'єму валового національного продукту, а інколи досягає 10 %. Загальна кількість потерпілих від нещасних випадків на виробництві в Україні за 2019 рік складає 4394 (із них 410 смертельно) [1].

Аналіз стану професійних захворювань свідчить, що ситуація щодо професійних захворювань залишається нестабільною. 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 аерозолі [2].

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.

Виконаний аналіз методів оцінювання ризиків показав достатньо широку групу методів та підходів до оцінювання ризиків. Дослідження показали, що для оцінювання ризиків можна використовувати класичні прийоми теорії надійності

систем, а саме надійність систем і їх елементів, виходячи з ймовірності виходу їх з ладу за певний час роботи. Цікавим аспектом у цьому напрямі є розрахунок надійності людини як елемента системи «Людина-машина» та визначення ризику невиконання дій людиною в умовах наявності небезпек, таких як чадний газ.

Присутність СО призводить до кисневого голодування організму, що при значних концентраціях СО в повітрі і тривалому часі може спричинити серйозні захворювання або летальний наслідок.

Завдяки багаторічним дослідженням на декількох підприємствах вдалося встановити, що пневмокніоз і хронічний бронхіт розвиваються в осіб до 40 років, зайнятих на зварюванні сталі та сталевих конструкцій, при середньому стажі роботи за професією понад 14 років. Чимало зварювальників із великим стажем за станом здоров'я «недопрацьовують» навіть до пільгового пенсійного 55-річного віку (за умови повного стажу роботи зварювальника не менше 12 років) [2].

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.

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. Комплексний характер негативного впливу на здоров'я зварювальників небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також тяжкості і напруженості праці, вимагають здійснення різноманітних оздоровчих заходів.

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-XII, 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 методику 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 аерозолі та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

Предмет дослідження - методи аналізу та засоби захисту працівників від зварювального аерозолі 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 аерозолі 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 аерозолі 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 аерозолі 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 ділянці 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 (додаток А).

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 (додаток А).

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 (додаток А).

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 [53, 112, 113, 21];
- виконанні теоретичних досліджень із удосконалення заходів та засобів захисту працівників від монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні [69, 118, 106];
- 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 [76, 118, 116];

- визначенні залежності концентрації зварювального аерозолі 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 [69];

- побудові математичних моделей залежності концентрації зварювального аерозолі та монооксиду вуглецю в повітрі робочих зон від характеристик процесу зварювання [106];

- визначенні небезпеки та ризику отруєння чадним газом зварювальників у локалізованих просторах (замкнутих приміщеннях) [69, 107, 109];

- розробленні пропозицій щодо попередження розповсюдження чадного газу у часі і просторі робочих зон та мінімізації ризику отруєння чадним газом [109];

- 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 [109];

- 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 [116];

- створенні нової комп'ютерної програми «Зварювальник», яка може бути використана в навчальному процесі при підготовці студентів із охорони праці та безпеки життєдіяльності [117].

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.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІВНИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз стану охорони праці в світі та Україні в зварювальному виробництві

Однією із провідних технологій сучасного виробництва будівельних конструкцій є зварювання [3]. Зварювання та споріднені технології відіграють важливу роль в економіці різних країн. Розвиток цих напрямків диктується, з одного боку, наявністю в конкретній країні відповідного наукового та інженерного потенціалу, а з іншого – потребами галузей промисловості. Понад половини валового національного продукту промислово розвинутих країн створюється за допомогою зварювання та споріднених технологій. При цьому до $\frac{2}{3}$ світового споживання сталевих прокатів йде на виробництво зварних конструкцій (ЗК) та споруд.

У залежності від призначення ЗК та вимог, які до них висуваються, в будівництві використовують різні конструкційні матеріали. При цьому основним із них є сталь, виробництво якої складає близько 93 % від усього виробництва конструкційних матеріалів.

Покращення технології зварювання відіграє вирішальну роль у забезпеченні якості зварних з'єднань та в створенні вискоєфективного зварювального виробництва, в якому перші позиції займають дугове та контактне зварювання.

Зварювання є одним із основних технологічних процесів виготовлення та ремонту виробів у різних галузях промисловості, будівництва й транспорту. Без зварювання неможливе виробництво автомобілів, кораблів, літаків, мостів, котлів, турбін, реакторів та інших конструкцій. Зварювання дозволило створити принципово нові конструкції машин, внести корінні зміни в конструкцію й

технологію виробництва. Порівняно з іншими способами виготовлення конструкцій зварні є легшими та дешевшими. При цьому економія металу становить від 10 до 50 %. За допомогою зварювання одержують нероз'ємні з'єднання майже всіх металів і сплавів різної товщини — від сотих часток міліметра до декількох метрів. Поряд із традиційними конструкційними сталями зварюють спеціальні сталі та сплави на основі титану, цирконію, молібдену, ніобію й інших матеріалів, а також різномірні матеріали.

Існує велика кількість різновидів зварювання [4]. Основні види зварювання можна представити у вигляді схеми (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Основні види зварювання

Багато галузей промислового виробництва в світі, в тому числі і будівництво, потребують застосування зварювальних технологій. Зварювальні технології включають велику групу технологічних процесів з'єднання, роз'єднання (різання), наплавлення, пайки, напилення, спікання, локальної обробки матеріалів. Ці процеси виконуються із застосуванням на місці обробки термічної, термомеханічної або електричної енергії [5], які мають чинники, що негативно

впливають на людину. Тому створення безпечних умов праці є найважливішою задачею будь-якого виробництва. За правильну організацію і стан охорони праці несе відповідальність керівництво підприємства. Безпека зварювальних робіт цілком залежить від рівня професійної майстерності, знань і умінь виконання їх зварювальником.

1.2 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники на робочих місцях зварювання металоконструкцій та їх вплив на здоров'я зварювальників

Розглянемо основні небезпеки, що можуть призвести до виробничих травм при зварюванні:

- ураження електричним струмом при електрозварювальних роботах;
- ураження зору та відкритої поверхні шкіри випромінюванням електричної дуги;
- отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні;
- пожежна небезпека та опіки;
- вибухи ацетиленових генераторів від зворотних ударів полум'я, коли не спрацює водяний затвор;
- вибухи кисневих балонів у момент їх відкриття, якщо на штуцері балона чи на клапані редуктора є масло;
- небезпечна ситуація при необережному поводженні з пальником;
- механічні травми при заготівельних і складально-зварювальних операціях.

Виконання зварювання і різання електродами пов'язано з експлуатацією обладнання і використанням речовин, які при невмілому поводженні або грубому порушенні правил роботи можуть стати причиною травм і аварійних ситуацій, джерелом отруйної дії на організм зварювальника і забруднень навколишнього середовища, пожеж [6].

Щоб робота була безпечною для осіб, безпосередньо зайнятих у процесах зварювання, і для оточуючих, слід знати можливі шкідливі і небезпечні виробничі чинники, причини їх виникнення та вміти користуватися прийомами запобігання небезпеці, засобами індивідуального і колективного захисту, щоб уникнути розвитку професійних захворювань.

Зварювання є одним із основних промислових процесів, який використовують для з'єднання металів при виготовленні металоконструкцій в будівництві. Найбільшої шкоди сам процес зварювання і суміжні з ним процеси може завдати самим електрозварювальникам. В процесі виконання своєї роботи вони піддаються впливам шкідливих і небезпечних виробничих чинників різного походження.

Основні причини нещасних випадків при електрозварюванні – це відсутність засобів індивідуального захисту, ураження електричним струмом зварювальників із різних причин (наприклад, відсутність систем заземлення металевих частин; відсутність захисту на струмопровідних частинах), при газовому зварюванні – вибух газоповітряної суміші від джерела відкритого вогню, випромінювання від полум'я, іскріння розплавлених металів і шлаків. Ці чинники можуть привести до травматичних ушкоджень і професійних захворювань [7].

Електрозварювальники в процесі трудової діяльності піддаються впливу цілого комплексу небезпечних і шкідливих виробничих чинників фізичної та хімічної природи.

Під час застосування різного виду зварювальних технологій може підвищуватись рівень електромагнітних полів [8], з'являтися лазерне, ультрафіолетове, інфрачервоне, іонізуюче випромінювання, підвищуватись напруженість електростатичного поля, рівень шуму, ультразвуку, запиленість і загазованість повітря робочої зони; можливі значні статичні навантаження на руки і плечовий пояс [8, 9]. Всі ці чинники належать до шкідливих виробничих чинників (ШВЧ).

Небезпечні виробничі чинники (НВЧ), які можуть виникати при зварюванні, це – вплив електричного струму, іскри і бризки, викиди розплавленого металу і

шлаку; можливість вибуху балонів і систем, що знаходяться під тиском; рухомі механізми і виробни [7].

Найбільш поширеними професійними захворюваннями у зварювальників є захворювання дихальних шляхів: пневмоконіоз, професійний бронхіт, гіперчутливий пневмоніт, бронхіальна астма [7].

Психофізіологічна дія на зварювальника виявляється у вигляді фізичних та нервово-психічних навантажень [9,]. Фізичні навантаження викликають у людини статичні та динамічні напруження, що залежать від маси зварювального інструменту, гнучкості шлангів і дротів, тривалості безперервної роботи, підтримання робочої пози [9]. Нервово-психічні навантаження призводять до перенапруження зорових аналізаторів та виникнення нервово-емоційного напруження; при недостатньому захисті очей розвивається катаракта [9]. Під час праці на робітників впливають несприятливі метеорологічні фактори, що призводить до розвитку теплового дискомфорту [9]. Під час шліфувальних і зачищувальних робіт, під час газової різки металів у повітря виробничого середовища виділяється пил, який містить з'єднання марганцю, міді, заліза, цинку, свинцю [9].

При зварюванні виділяється дим, який складається з суміші дуже дрібних частинок і газів. Більшість компонентів диму, які виділяються при зварюванні: хром, нікель, миш'як, азбест, марганець, кремній, берилій, кадмій, оксиди азоту, хлорокис вуглецю, акролеїн, сполуки фтору, оксид вуглецю, кобальт, мідь, свинець, озон, селен і цинк можуть бути надзвичайно токсичними.

Деякі складові диму (цинк, магній, мідь і оксид міді) можуть викликати лихоманку. Отруєння цинком небезпечно для здоров'я, часто відбувається на виробничих майданчиках. Симптоми передозування проявляються не відразу [10].

Основні симптоми лихоманки, включаючи озноб, спрагу, підвищену температуру, болі в м'язах і грудях, кашель, задишку, втому, нудоту і металевий присмак у роті, можуть з'явитися через 6-12 годин після впливу [6, 10]. Дим також подразнює очі, слизову носа, дихальних шляхів, викликає кашель, задишку, бронхіт, набряк легенів (скупчення рідини в легенях) і пневмоніт (запалення

легенів). Шлунково-кишкові розлади: нудота, втрата апетиту, блювота, спазми і уповільнене засвоєння також пов'язані зі зварюванням. Тривала дія диму від дугового зварювання загрожує розвитком астми [11].

Важливе місце відводиться зварюванню кольорових металів [12]. Особливу увагу необхідно приділяти речовинам, які вражають робітників при зварюванні і різанні кольорових металів. Граничні допустимі концентрації їх часто бувають набагато вищими на практиці. Треба дотримуватись правил безпеки при зварюванні міді і мідних сплавів, тому що мідь і легувальні елементи в її сплавах інтенсивно випаровуються, а пари дуже токсичні. Особливу увагу слід приділяти концентрації марганцю, його наявність в повітрі більше за $0,3 \text{ мг/м}^3$ може викликати важкі захворювання нервової системи [13].

Найбільш небезпечним чинником при проведенні робіт із застосуванням електродугового та газового зварювання може бути виділення зварювального аерозолі (ЗА) в робочій зоні. Так, за статистикою, понад 50 % професійних захворювань зварювальників – це хвороби органів дихання (хронічний бронхіт, пневмоконіоз), можуть також розвиватися легкі форми марганцевих інтоксикацій і різні патології, пов'язані з вдиханням зварювального аерозолі [2].

Зварювальний аерозоль за характером утворення відноситься до аерозолів конденсації і являє собою дисперсну систему, в якій дисперсною фазою є дрібні частинки твердої речовини і дисперсійне середовище – газ або суміш газів. [14, 15]. В основному зварювальний аерозоль складається з заліза і його оксидів, але в його складі можуть бути такі речовини і їх сполуки, як марганець, хром, нікель, алюміній, мідь, цинк, фтор, кремній, азот і багато інших. Токсичність ЗА підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю [14]. Незважаючи на те, що промислові аерозолі з позиції професійної шкідливості вивчаються досить давно, дотепер не вирішено багато питань щодо залежності їхньої біологічної агресивності від основних фізико-хімічних властивостей. До останніх можна віднести дисперсність частинок, зокрема нанорозмірних фракцій

твердої складової зварювальних аерозолів (ТСЗА), їхні структурні параметри, розчинність окремих сполук [16].

Хімічний склад забруднень, які виділяються при зварюванні, залежить в основному від складу зварювальних матеріалів, за допомогою яких відбувається процес зварювання (дроту, покриттів, флюсів) і в меншій мірі від складу металів, які зварюються [14]. Тому створення нових марок зварювальних матеріалів обов'язково має супроводжуватись їхньою первинною санітарно-гігієнічною оцінкою відповідно до ДСТУ ISO 15011-4:2008 [17] та ДСТУ ISO 15011-1:2008 [18].

Вплив канцерогенних речовин шестивалентного хрому і нікелю у складі зварювального аерозолу на органи дихання може підвищувати ризик розвитку онкологічних захворювань. Марганець викликає інтоксикацію, симптомами якої є біль у верхніх кінцівках, погіршення пам'яті та головний біль. Сполуки хрому спричиняють утворення злоякісних пухлин. Цинк впливає на печінку, викликаючи зміни та запалення тканин. Нікель у вигляді зварювального аерозолу змінює реактивну спроможність організму – викликає алергію. Оксиди азоту, озон, фтористий водень чинять переважно подразнюючу дію, що викликає подразнення очей та верхніх дихальних шляхів, кашель, біль у грудях, головний біль. Фтористий водень, унаслідок утворення в організмі токсичного фтор-іона, уражає опорно-руховий апарат, порушує процеси мінерального обміну [9].

Інтенсивність праці та параметри мікроклімату впливають на стан людини, яка працює в запиленому та загазованому приміщенні. При цьому посилена дихальна діяльність призводить до поглинання підвищених доз повітря, а разом із ним — шкідливих речовин; високі температури повітря посилюють шкідливу дію хімічних речовин на організм людини.

Максимальну небезпеку заподіяння шкоди здоров'ю викликають шкідливі речовини у формі твердих частинок. Але при різних технологіях виникають і шкідливі речовини у формі газоподібних частинок, насамперед, сюди відносяться: окис вуглецю; окис азоту; двоокис азоту; озон [19].

Більшу частину газів, які виділяються або використовуються під час зварювання, складають: озон, азот і монооксид вуглецю (чадний газ), крім того, виділяються і інші небезпечні гази - фосфін і фосген. Озон утворюється в результаті хімічної реакції під впливом ультрафіолетового випромінювання на атмосферний кисень. Озон - це безбарвний газ, сильно подразнює слизову і дихальні шляхи. Азот (оксид азоту) утворюється в результаті хімічної реакції атмосферного азоту і кисню під впливом випромінювання зварювальної дуги і нагрітого металу. Азот негативно впливає на легені. Чадний газ утворюється під час зварювання електродом, що плавиться в середовищі активних газів (MAG) в процесі розщеплення вуглекислого газу. Чадний газ зупиняє процес збагачення крові киснем [6]. Озон і оксиди азоту в великих дозах смертельні, а в малих можуть викликати подразнення слизової оболонки носа і носоглотки і серйозні респіраторні, легеневі захворювання. Двоокис азоту є небезпечним вже у відносно малих концентраціях, а у великих концентраціях він може призвести до смертельного набряку легенів. У результаті впливу ультрафіолетового випромінювання зварювальної дуги хлоровані вуглеводневі розчинники: типу трихлоретилен, трихлоретан, хлористий метилен і тетрахлоретилен, вступають у хімічну реакцію, виділяючи газ фосген (хлорокис вуглецю). Навіть дуже маленька кількість хлорокису вуглецю може бути смертельною, хоча ранні ознаки отруєння – запаморочення, озноб і кашель – зазвичай проявляються через 5 або 6 годин [6].

Все це впливає на здоров'я людини та на стан навколишнього середовища.

Вплив всіх цих чинників безпеки призводить до розвитку хронічних бронхітів, захворювання опорно-рухового апарату, периферичної нервової системи, дерматозів, хронічної інтоксикації марганцем та іншими токсичними компонентами зварювального аерозолю [20].

Щоб уникнути несприятливого впливу виробничих факторів, характерних для електрозварювання, необхідно перешкоджати потраплянню до органів дихання зварювального аерозолю.

Всі види зварювання та різання металів є небезпечними у відношенні розвитку електроофтальмії. Електрозварювальні роботи небезпечні також з точки

зору можливості електротравм. У операторів плазмових установок під впливом шуму й ультразвуку можуть розвиватися астеноневротичний синдром, вегетосудинна дисфункція, стійке зниження слуху, у клепальників – вібраційна патологія. Останніми роками встановлено, що багато компонентів зварювального аерозолі, не викликаючи специфічних професійних хвороб, при тривалому впливі накопичуються в організмі і збільшують ризик виникнення серцево-судинних і онкологічних захворювань [9].

Тому для попередження виникнення загальних і професійних захворювань важливе значення має ефективна вентиляція з урахуванням особливостей технологічного процесу, а також застосування засобів індивідуального захисту [20].

Незважаючи на постійне удосконалення способів зварювання та зварювальних матеріалів, багато гігієнічних проблем зварювального виробництва остаточно не вирішено, а саме: утворення і накопичення СО в замкнутому, не-вентильованому приміщенні. Як наслідок, залишаються незадовільними умови праці електрозварювальників, що негативно позначається на їх здоров'ї та працездатності. Комплексний характер негативного впливу на здоров'я зварювальників небезпечних та шкідливих виробничих чинників, а також тяжкості і напруженості праці, вимагають здійснення різноманітних оздоровчих заходів.

Як вже було сказано вище, процес зварювання характеризується наявністю шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

Автором всі шкідливі виробничі чинники при різних видах зварювання і споріднених процесах було зведено в таблицю Б.1 у додатку Б [21].

Проаналізувавши наявність шкідливих чинників при різних видах зварювання і споріднених процесах, можна зробити висновок, що робота зварювальника є однією з найбільш професійно шкідливих [5, 22]. Всі ці чинники, за певних умов, можуть призводити до професійних захворювань та нещасних випадків робочих зварювальних професій [8, 23].

У структурі діагнозів професійних захворювань серед українських працівників хвороби органів дихання складають більше 40 % (262 випадки).

Загалом за підсумками першого кварталу 2018 року Фондом соціального страхування України зареєстровано 649 випадків захворювань, що були набуті в результаті професійної діяльності [24].

На сьогоднішній день немає статистики і недостатньо розглянуті питання по дослідженню кількості СО, яка потрапляє до організму зварювальника в процесі праці.

Оксид вуглецю утворюється при наступних процесах: газово-пресованому зварюванні, зварюванні металевим електродом у середовищі інертного газу (MIG); дуговому зварюванні металевим електродом в газовому середовищі (GMAC), зварюванні вольфрамовим електродом в інертному газі (TIG); дуговому зварюванні вольфрамовим електродом в газовому середовищі (GTAW); дуговому зварюванні в середовищі гелію, плазмовому зварюванні (PAW) і плазмовому зварюванні напиленням; дуговому різанні вольфрамовим електродом, зварюванні трубчастим електродом (FCAW); дуговому зварюванні розплавленим електродом в середовищі активного газу (MAG), повітряно-дуговому різанні [25].

Вуглекислий газ потрапляє в зону зварювання і під впливом високої температури дуги розпадається на чадний газ і кисень. Процес розпаду відбувається за реакцією: $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$ [20]. В результаті реакції в зоні зварювання утворюється суміш із трьох газів: вуглекислого, чадного і кисню. Чадний газ у зоні зварювання являє велику небезпеку, особливо в замкнутих просторах і просторах, які погано вентилуються.

Чадний газ не має запаху, безбарвний, тому його неможливо відчутти. Він утворюється в результаті горіння в умовах нестачі кисню. Тобто якщо в приміщенні немає достатнього доступу свіжого повітря, погано працює вентиляція, то там може збиратись чадний газ. Крім того, вітряна погода може спричинити зворотну тягу в вентиляційних каналах, а через це небезпечні продукти горіння не виводяться назовні і накопичуються у приміщенні.

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.

Знаходження протягом двох годин у приміщенні з концентрацією CO 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 % CO).

При вищих концентраціях газу відчуватиметься сильний головний біль, слабкість, запаморочення, нудота [26].

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.

Інтенсивна світлова радіація під час дугового зварювання може викликати пошкодження очей, а інфрачервоне випромінювання може пошкодити рогівку очей і призвести до катаракти. Навіть короточасний вплив (менше ніж одна хвилина) невидимого оку ультрафіолетового випромінювання зварювальної дуги може привести до серйозних наслідків, коли зварювальники за їх висловом «встигають нахапатися зайчиків». Перші ознаки такого впливу зазвичай проявляються через кілька годин і включають відчуття попадання піску або абразивних частинок в очі, розмитий зір, інтенсивні болі, сльозотечіння очей і головні болі.

Інтенсивна світлова радіація дуги може впливати на персонал, що працює поблизу. Приблизно половина пошкоджень зору доводиться на персонал, який безпосередньо не бере участі в процесі зварювання. Зварювальники, що працюють без належного захисту, через негативний вплив ультрафіолетового випромінювання, можуть бути схильні до хронічних захворювань очей, що призводить до погіршення зору.

Надмірна доза ультрафіолетових променів призводить до опіків шкіри, збільшується ризик захворювання на рак шкіри. Променеві опіки очей проявляються не відразу, а через 4-6 годин [7]. Надмірний шум в процесі

зварювання призводить до пошкодження слуху зварювальника. Високий рівень шуму також викликає нервову напругу і збільшує кров'яний тиск, і може сприяти розвитку хвороб серця.

Певні спеціалізовані види зварювання можуть створювати надмірний рівень шуму [27, 28]. Тривале перебування в умовах підвищеного шуму викликає перевтому, збудження і дратівливість робочого персоналу. Тому, працюючи в умовах підвищеного шуму, потрібно визначати рівень шуму. Якщо рівень шуму перевищує 85 децибел, роботодавець зобов'язаний вжити певних заходів і забезпечити необхідними засобами захисту слухових органів.

Зварювальники часто скаржаться на болі спини, плечового пояса, тендиніт, слабкість у м'язах, защемлення нервових закінчень, холодні кінцівки рук (порушений кровообмін) і захворювання колінних суглобів. Робоче положення під час зварювання (особливо при зварюванні на стелі), вібрація, підйом вантажів – все це може сприяти розвитку цих захворювань.

Значна частина зварювальних робіт проводиться за межами цехів, де можна в значній мірі контролювати умови – на відкритих будівельних майданчиках, при ремонті великих споруд і машинного обладнання. Зварювальнику доводиться переносити все своє обладнання, встановлювати його і працювати, наприклад, в тісному замкнутому просторі або на хитких лісах. Через те, що потрібно дотягуватися до потрібної точки, опускатися на коліна або приймати інші незручні положення, зварювальник стикається з ризиком отримання кістково-м'язових травм, змушений відчувати велике фізичне напруження, надмірну втому. Робітникам в герметичному захисному одязі загрожує і тепловий стрес, особливо в жарку погоду [24].

Зварювальні роботи відносяться до категорії підвищеної небезпеки [29], як для самого зварювальника, так і для людей, що знаходяться в безпосередній близькості від робочого місця.

1.3 Загальна характеристика та нормування зварювальних аерозолів у робочій зоні

У роботі [30] досліджено модель утворення твердої складової зварювального аерозолу (ТСЗА) і газової складової зварювального аерозолу (ГСЗА) в повітрі виробничих приміщень. Вказується на те, що це пов'язано з видом і типом зварювальних матеріалів, режимами зварювання, умовами організації праці, наявністю і ефективністю роботи припливно-витяжної вентиляції тощо. При використанні покритих електродів у виробництві конструкцій судів концентрація ТСЗА в зоні дихання зварювальників коливається від 10...30 до 200...280 мг/м³ і більше, при виробництві машинобудівних і будівельних конструкцій середній рівень ТСЗА в зоні дихання в 2-4 рази нижче, при механізованому зварюванні у вуглекислому газі порошковим дротом і дротом суцільного перетину концентрація ТСЗА в зоні дихання становить від 15...30 до 80...120 мг/м³. У роботі [30] розглянуто механізм утворення ТСЗА при дуговому зварюванні сталі в вуглекислому газі та тільки не згадується про модель ГСЗА (газової складової зварювального аерозолу). Дослідження ГСЗА та створення її моделі є важливим науковим завданням.

Дослідженнями електродів із покриттями основного, рутил-основного та рутил-силікатного видів показано, що мінімальний рівень виділення зварювальних аерозолів і найбільш токсичних сполук шестивалентного хрому досягається при зварюванні електродами з покриттям рутил-силікатного виду. У роботі [31] наведено, що при зварюванні високолегованих сталей для мінімізації виділення сполук шестивалентного хрому у складі зварювального аерозолу (ЗА) і зниження їх токсичності доцільно: у рецептурах покриття основного виду забезпечити співвідношення $\frac{CaCO_3}{CaF_2} \geq 1$; для електродів із покриттям рутил-основного виду для розкислення електродного металу використовувати марганець або суміш марганцю з кремнієм; в електродних покриттях рутил-силікатного виду реалізувати співвідношення $\frac{TiO_2}{SiO_2} > 3$. У роботі не наведено зменшення монооксиду вуглецю у

ЗА при використанні рутил-силікатних покриттів, але можна визначити можливість такого впливу і необхідність його дослідження.

У роботі [32] також досліджено, що обсяги емісій електродугового зварювання (ЕДЗ) залежать від фізико-хімічних властивостей покриття, кислотності шлаків, характеристик електричної дуги та електроду, режимів процесу зварювання, але недостатньо уваги приділено газовим емісіям. Тобто, аналізуючи роботи [31, 32], можна зробити висновок, що змінюючи вищевказані показники можна знайти відносно безпечний режим праці, але він не забезпечить повну безпеку без застосування засобів та заходів захисту зварювальників. Особливу увагу слід приділити зварювальним процесам, які відбуваються у локалізованих просторах, де відсутня вентиляція. У той же час сам процес пошуку такого оптимального варіанту достатньо складний при великому асортименті зварювальних матеріалів та виробничих завдань.

У роботі [33] наведено, що у дослідженнях, які проводили, жодна з концентрацій металевих складових у ЗА не перевищувала гранично допустимої межі впливу (PEL) для підприємств. Однак статистичний аналіз показав значні середні відмінності функцій легенів між зварювальниками і не зварювальниками. Ефект дози та ризику в цьому дослідженні дотримується моделі доза-ризик для інгаляційної токсичності, як показано у формулі:

$$\text{Підіндекс} = \text{рейтинг доз} \times \sum \text{рейтинг ризику для здоров'я.} \quad (1.1)$$

У роботі визначається, що є певний вплив ЗА на здоров'я зварювальників, але не вказано, які саме гази впливають, а тому можна зробити припущення, що це СО, який може робити саме такий вплив, а тому треба дослідити його дозові показники для визначення ризику впливу.

У роботі [34] розглядається можливість підвищення екологічної чистоти дугових зварювальних процесів. Показано, що мінімальна маса шкідливих речовин виділяється при дуговому зварюванні під флюсом, однак технологічні особливості даного способу різко обмежують область його застосування. Максимальна

кількість шкідливих речовин виділяється при зварюванні порошковим дротом та ручному дуговому зварюванні. Дуже важливим є те, що підвищенню екологічної чистоти зварювальних процесів сприяє застосування матеріалів із зниженим вмістом шкідливих речовин. Однак у цьому випадку виграш дуже незначний, тому що механічні властивості зварних з'єднань, як правило, забезпечуються за рахунок легування металу зварних швів. А це, у свою чергу, забезпечується відповідним легуванням зварювальних матеріалів – електродів та електродних дротів, і суттєво знизити вміст ряду легуючих елементів, які відповідальні за якість і властивості зварних швів та за вміст шкідливих речовин у зоні зварювання, практично неможливо.

У роботі [35] наведено огляд парів зварювання, впливу їх на здоров'я та заходи щодо захисту зварювальників від зварювальних газів. В промислово розвинутих країнах близько 2 % робочої сили зайняті у зварюванні. Ці працівники піддаються впливу диму і токсичних речовин, що є загрозою їх здоров'ю. Більшість малих і середніх підприємств (МСП) недостатньо вкладаються фінансово в забезпечення комфортних умов праці, що не сприяє безпеці та здоров'ю працівника. Більшість зварювальників, які працюють у будівництві, на заводах гірничої промисловості, металургії, залізниці, нафтохімії, суднобудівної промисловості, наражаються на респіраторні захворювання або легеневі інфекції. У результаті зварювання MAG утворюється монооксид вуглецю при розпиленні діоксиду вуглецю в захисному газі. Монооксид вуглецю впливає на здатність крові поглинати кисень. У роботі не розглядаються процес утворення та шляхи проникнення CO у легені зварювальників, а тільки вказується на важливість цього питання. Тому слід приділити увагу саме процесам утворення монооксиду вуглецю та шляхів його проникнення в організм зварювальника.

У роботі [36] наведено результати дослідження впливу стійкості перенесення металів та композиції захисного газу на викиди CO та CO₂ при короткозамкнутому зварюванні MIG/MAG. Було встановлено, що чим багатше склад захисного газу в CO₂, тим більше CO і CO₂ генеруються дугою. Обсяг CO₂ може бути знижений і перетворений в CO. Загальновідомо, що CO₂ також знижується до CO при високих

температурах, як в електричній дузі, так і на поверхні розплавленого металу, тому він хімічно більш стабільний. CO є смертельною отрутою, і люди, які зазнали впливу, можуть бути уражені без попередження, оскільки він безбарвний, без запаху, несмачний і не дратує. Знайшли пряму кореляцію між викидами CO та зварювальним струмом. Використовуючи газову суміш (18 % CO₂), значно зменшили викиди CO у порівнянні зі 100 % CO₂ (захисний газ), особливо при більш високих струмах. Висока концентрація CO₂ зазвичай є проблемою лише в обмежених просторах. У роботі не наводиться конкретне значення щодо показників зменшення викидів, що є недоліком. Але саме утворення газів та робота у обмежених просторах вимагає додаткових досліджень на CO та його умови впливу на працівників. Аналізуючи застосовану методику у роботі [36] відбору газів детекторами, можна визначити її недосконалість через те, що газ, який утворюється, вимірюється осторонь процесу на тому ж рівні, а тому більша його частина не реєструється, тому що він швидко підіймається вгору, минаючи зону замірів. Треба вдосконалити методику відбору газу CO та звернути увагу на його високу летючість.

У роботі [37] було виконано дослідження показників життя зварювальників на відповідність HRQL (оцінювання якості життя, обумовлене станом здоров'я). Багатоваріантну ступеневу регресію застосовували, використовуючи вісім SF-36 розмірів як залежні змінні, а фактори ризику як незалежні змінні. Рівень статистичного включення незалежних змінних був встановлений на рівні 0,05, а рівень виключення був встановлений на рівні 0,10 у покроковому процесі. Результати багатоваріантної ступінчастої регресії свідчать про те, що стаж роботи зварювальника, тип зварювання, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та соціальні фактори впливають на роботу зварювальника. Недоліком досліджень є те, що не враховували ЗА (у тому числі газову складову) та інші фактори, які щоденно впливають на працівника. Необхідно ці дослідження доповнити стосовно визначення дози впливу газової складової емісій ЗА.

Медичні дослідження вказують, що емісії при зварюванні є однією з основних причин розвитку професійних захворювань, таких як пневмонікоз

зварювальника, а також ряду інших небезпечних уражень організму, які впливають на скорочення тривалості життя [38, 39]. З точки зору промислової безпеки, гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин, що утворюються у повітрі робочої зони зварювальних робіт, нормована для кожного елемента [40]. Недоліком цих досліджень є те, що дуже важко врахувати вплив СО без виконання спеціальних досліджень, а ще важче визначити хронічний вплив цього газу на робітників. Тому необхідно поширювати та поглиблювати ці дослідження стосовно експозиції впливу ЗА, враховуючи їх важливість.

Дослідження щодо вирішення питань охорони навколишнього середовища, зокрема локалізації та нейтралізації шкідливих речовин при зварюванні, детально розглянуті в роботах [40–41]. У роботі [40] розглядаються небезпеки, що призводять до виробничих травм при електро- та газовому зварюванні кольорових металів і сплавів. Підкреслюється можливість отруєння організму шкідливими газами, пилом та випарами, що виділяються при зварюванні. Особливо шкідливими речовинами уражуються робітники при зварюванні і різанні кольорових металів. Їх гранично допустимі концентрації (ГДК) часто бувають набагато перевищені на практиці (таблиця Б.2, додаток Б). Цю таблицю було доповнено зварюванням у вуглекислому газі, де присутній двоокис азоту, та зварюванням у захисних газах, де присутній монооксид вуглецю. У роботі [41] запропоновано теоретичне обґрунтування управління якістю повітряного басейну на основі екологічного менеджменту. Недоліком попередніх робіт була відсутність аналізу впливу емісій ЗА та СО на навколишнє природне середовище. Наведені дослідження дозволяють на математичному рівні провести систематизацію та формалізацію всіх змінних, що беруть участь в управлінні якістю повітряного басейну в екосистемі. Запропоновані у роботі технології наплавлення виконані з урахуванням Кіотської угоди в замкнутій системі фільтрації з мінімальними ризиками. Але, насамперед, треба враховувати той факт, що велика кількість зварювальних робіт, які неможливо підрахувати, виконується на відкритому просторі та ЗА безпосередньо потрапляє у природне середовище (ремонт та прокладання труб, зварювання металевих конструкцій, ремонт автомобілів та інше). При виконанні зварювальних

робіт на відкритому повітрі слід враховувати викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря населених пунктів [42]. Зважаючи на наведені у роботі [36] дані щодо можливих переходів із СО в СО₂ та навпаки, при певних умовах, треба звернути увагу на можливий екологічний вплив ЗА на екосистеми.

У роботі [43] висвітлено екологічну проблему, яка розглядає дим, що утворюється при зварюванні та складається з суміші дрібно дисперсних частинок і газів. Більшість компонентів диму, які виділяються при зварюванні, можуть бути надзвичайно токсичні. До них належать: хром, нікель, миш'як, азбест, марганець, кремній, берилій, кадмій, оксиди азоту, хлорокис (оксихлорид) вуглецю, акролеїн, сполуки фтору, оксид вуглецю, кобальт, мідь, свинець, озон, селен і цинк. В основному зварювальний аерозоль складається із заліза і його оксидів, але в його складі можуть бути такі речовини і їх сполуки, як марганець, хром, нікель, алюміній, мідь, цинк, фтор, кремній, азот і багато інших [44]. Таким чином, обов'язково треба використовувати системи вентиляції для забезпечення безпеки від вищевказаних домішок, але треба враховувати присутній СО у всіх цих процесах. Необхідно системи вентиляції обладнати фільтрами із застосуванням елементів із адсорбційними властивостями. При цьому треба врахувати, що токсичність емісійного процесу зварювання, підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю, на що вказується у роботі [45].

У роботі [40] вказані допустимі норми шкідливих речовин у повітрі при зварюванні металів та сплавів – алюмінію, міді і її оксидів, оксидів марганцю, кремнію, нікелю, цинку, азоту, берилієвої бронзи, свинцю та сполук водню. ГДК шкідливих речовин у повітрі робочої зони при зварюванні металів представлені в таблиці Б.2 у додатку Б, де додані до переліку двоокис азоту та монооксид вуглецю [46].

Гранично допустима концентрація (ГДК) окису вуглецю в повітрі виробничої зони дорівнює 20 мг/м³. При роботі не більше 1 год дозволяється перевищення ГДК до 50 мг/м³, при роботі не більше як 30 хв - до 100 мг/м³, не більше 15 хв - до 200

мг/м³. Максимальна разова ГДК в атмосферному повітрі – 6 мг/м³, середньодобова - 1 мг/м³. Для жилих приміщень ГДК становить 2 мг/м³.

У роботі [47] наводиться характеристика монооксиду вуглецю за токсичністю. Вказується на те, що це газ, який не має запаху, кольору та смаку, до того ж, отруйна дія його базується на здатності створювати з гемоглобіном крові стійку комплексну сполуку – карбоксигемоглобін, що перевищує більше ніж у 200 разів здатність гемоглобіну приєднувати кисень. Тому 0,1 % СО в повітрі робочої зони зв'язує таку ж кількість гемоглобіну (50 %), що й кисень повітря. Присутність СО призводить до кисневого голодування організму, що при значних концентраціях СО в повітрі і протягом тривалого часу може спричинити серйозні захворювання або летальний наслідок [48]. Дуже важливими у цьому випадку є детектори або прилади щодо визначення наявності СО у повітрі та своєчасного сповіщення про це персоналу. Про це у роботі мова не йде. Треба визначити сучасні прилади для визначення дозових порогів СО у робочому приміщенні.

У роботі [49] наведено відомості щодо утворення СО при газо-пресованому зварюванні та зварюванні металевим електродом у середовищі інертного газу (MIG). СО утворюється при дуговому зварюванні металевим електродом у газовому середовищі (GMAC) та зварюванні вольфрамовим електродом у інертному газі (TIG). Менш поширені процеси зварювання, що застосовуються на виробництві: дугове зварювання вольфрамовим електродом в газовому середовищі (GTAW); дугове зварювання в середовищі гелію, плазмове зварювання (PAW) і плазмове напилення; дугове різання вольфрамовим електродом, зварювання трубчастим електродом (FCAW). СО також утворюється при дуговому зварюванні розплавленим електродом у середовищі активного газу (MAG) та повітряно-дуговому різанні. На сьогоднішній день розроблені десятки способів зварювання. Найбільш поширені види MIG, MAG, TIG і MMA зварювання. Україна лідирує за кількістю підприємств державної форми власності – більше 3000 [50]. Якщо прийняти до уваги те, що на кожному з них є майстерня або дільниця, де виконуються зварювальні роботи, і там працює 1-2 зварювальника, то відповідно біля 3000-6000 працівників щоденно наражаються на небезпеку впливу

монооксиду вуглецю. Виходячи з цього, треба дослідити динаміку утворення СО у робочій зоні, можливі шляхи проникнення ЗА у зону дихання працівника, визначити дозові ризики отруєння та надати рекомендації щодо запобігання та захисту зварювальників від впливу газових емісій із урахуванням експозиції негативного впливу.

Виходячи з аналізу літературних даних, виникає необхідність проведення додаткових досліджень із метою оцінювання розповсюдження монооксиду вуглецю в робочій зоні зварювальника, вибору необхідних засобів захисту та системи вентиляції.

1.4 Аналіз сучасних методів та засобів захисту людини від небезпечних і шкідливих чинників на робочих місцях

У виробничих умовах не завжди можна знизити вміст усіх шкідливих речовин до ГДК за рахунок застосування тільки колективних засобів захисту: загальнообмінної (припливно-витяжної) та місцевої вентиляції. Тому в таких випадках необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

У перелік обов'язкових засобів входять: маска, спеціальний костюм, взуття, рукавиці. Додатково можуть використовуватися: захисні каски, щитки, протигази, респіратори, навушники, страхові системи [51].

Ефективне застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) залежить від їх правильного вибору і умов експлуатації. Також необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливого чинника і індивідуальні особливості людини. При застосуванні зварювальних технологій є необхідним використання засобів індивідуального захисту. Існує безліч виробників і різних модифікацій ЗІЗ, які повинні відповідати ДСТУ EN ISO 11611:2016 «Одяг захисний для використання під час зварювання та суміжних процесів» (EN ISO 11611:2015, IDT; ISO 11611:2015, IDT).

Засоби індивідуального захисту різного функціонального походження, розроблені Фізико-хімічним інститутом захисту навколишнього середовища і людини (ФХІЗНСІЛ) з урахуванням специфіки умов їх експлуатації, вже кілька десятиліть застосовуються при зварюванні металів [52].

Особливої уваги заслуговує комплект засобів індивідуального захисту зварювальників та робочих суміжних професій від шкідливих виробничих чинників (механічні пошкодження, іскри і бризки розплавленого металу, випромінювання тепла, токсичні гази і пари, аеродисперсні частинки), у складі котрого сезонні костюми зварювальника (КЗ) і протигазовий гігієнічний комплект (ПГК), адаптовані до мікрокліматичних умов робочої зони; захисний жилет, фартух, рукавиці, краги, замінні рукави, сумісні з рукавицями; газопилозахисні респіратори «Мрія» та «Зварник».

Згадані ЗІЗ відповідають функціональним, експлуатаційним, ергономічним і гігієнічним вимогам. Критерієм досконалості і надійності їх конструкції є анатомічність крою одягу, типізація, уніфікація та мінімізація кількості деталей, застосування сучасних конструкційних матеріалів, які мають відповідні умовам експлуатації товщину, поверхневу щільність, стійкість до стирання, міцність на розрив та роздир, повітро- і паропроникність, гігроскопічність (у випадку ПГК і респіраторів «Мрія» і «Зварник», крім зазначеного – захисну ефективність і динамічну поглинальну ємність іонообмінних нетканих матеріалів, фільтруючих і сорбційно-фільтруючих матеріалів, активність низькотемпературного каталізатора, на застосування яких у складі ЗІЗ є дозвіл Міністерства охорони здоров'я України).

Фільтруючі ЗІЗОД призначені для очистки повітря від шкідливих речовин у вигляді аеродисперсних частинок різного походження (пил, дим, туман) або/і газів і парів, коли їх концентрація перевищує ГДК. Їх застосування дозволяється, якщо відомі склад та концентрація шкідливих речовин, а також достатня кількість кисню в повітрі робочої зони (не менше ніж 17 % об.). Заборонено застосування фільтруючих ЗІЗОД при виконанні робіт у важкодоступних та погано провітрюваних приміщеннях малого об'єму: цистернах, колодязях, трубопроводах.

На даний час в Україні для виробництва фільтруючих респіраторів використовується фільтруючий нетканий матеріал «Елефлен» у вигляді полотна з ультратонких поліпропіленових волокон. Температурний діапазон його експлуатації – від $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+140\text{ }^{\circ}\text{C}$ [52].

Фільтруючі ЗІЗОД не можна застосувати, якщо невідомий склад і концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони, а також коли газо- чи пароподібна шкідлива речовина не має яскраво виявлених ідентифікаційних властивостей (смак, запах). У цих випадках необхідно застосовувати ізолюючі ЗІЗОД.

В умовах фізичної напруги, а також підвищеної температури повітря в робочій зоні негативний вплив ЗІЗОД на організм користувача посилюється, зокрема, при використанні безклапанних респіраторів унаслідок намокання півмаски і «цементзації» пилу збільшуються опір диханню та навантаження на серцево-судинну систему. У таких випадках доцільно використовувати фільтруючі респіратори, що споряджені вузлами клапанів видиху, наявність яких значно зменшує опір видиху, перешкоджає утворенню конденсату і сприяє видаленню з підмаскового простору зайвих тепла і вологи.

Дані щодо нормованої тривалості використання фільтруючих респіраторів з різним початковим опором диханню при виконанні роботи різної важкості протягом однієї години робочої зміни [52] наведені у таблиці В.1 в додатку В.

Час, що залишився повністю або частково до завершення робочої зміни, рекомендується займати більш легкою працею, при виконанні котрої респіратор не потрібен. Робота зварювальника відноситься до робіт середньої важкості Пб.

Найпростішим і найдоступнішим засобом захисту органів дихання зварювальника є респіратор [2, 8].

Респіратор для зварювальника щонайменше має бути класу FFP2, тобто забезпечувати захист до 12 ГДК, з негорючим зовнішнім шаром, клапаном видиху для забезпечення відведення тепла і вологи, досить міцними та зручними для підгонки гумовими ремінцями. Цілком не зайвим буде і додатковий вугільний шар,

що фільтрує газову складову зварювального аерозолі. Усі ці властивості характерні для сучасного респіратора, призначеного для зварювальника [2, 8].

Респіратор повинен ефективно захищати органи дихання і не заважати диханню, і обов'язково відповідати ДСТУ EN 149:2003 або ДСТУ EN 405:2003, або ДСТУ EN 1827-2001.

Представлена таблиця сучасних респіраторів, які використовуються зварювальниками [52] (таблиця В.2 в додатку В).

На ринку України широко представлені і моделі респіраторів іноземного виробництва, такі як:

1. 3М 9925 респіратор для зварювання FFP2, клас 2, виробник – 3М (США). Цей респіратор забезпечує захист від пилю, озону, диму, аерозолів, туманів, органічних парів;

2. 3М 9928 клас захисту — FFP2, виробник – 3М (США). Він забезпечує захист від пилю, озону, диму, органічних парів.

Сфера застосування респіратора тієї чи іншої марки визначається, головним чином, хімічним та дисперсним складом аерозолі, а також концентрацією речовини в повітрі робочої зони. Раніше при електродуговому зварюванні часто застосовували респіратор марки «Лепесток-200». Однак істотним недоліком респіраторів типу «Лепесток», стосовно захисту органів дихання від шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні, є те, що ці респіратори (за своїм призначенням тип ФП) не можуть очищати повітря від шкідливих газоподібних речовин (монооксиду вуглецю, оксидів азоту, озону, фтористого водню та тетрафтористого кремнію). Тому для захисту органів дихання зварювальників більш доцільно застосовувати респіратори типу «Снежок-ГП». Ці респіратори, крім протиаерозольного фільтра з матеріалу типу ФП, мають додатковий протигазовий фільтр із комбінованого волокнистого сорбційно-фільтруючого матеріалу, а також клапан видихання. Останній полегшує дихання, причому фільтруюча тканина зсередини не запотіває. Це дозволяє тривалий час користуватися респіратором без заміни фільтруючого елемента [8, 2].

Усім вимогам, які ставляться до респіраторів при зварюванні та споріднених процесах, відповідає респіратор «Сніжок», розроблений і виготовлений Фізико-хімічним інститутом захисту оточуючого середовища і людини Міністерства освіти і науки України та Національної Академії Наук України (Одеса).

Для захисту органів дихання при зварюванні покритими електродами, особливо з покриттям, що містить фтористий кальцій, а також порошковими дротами і під флюсами, коли повітря забруднюється газоподібними фтористими сполуками, повинні застосовуватися респіратори марок «Сніжок ГП-В» та «Сніжок ФГП-В». При аргондуговому зварюванні кольорових металів, сплавів та високолегованих сталей, коли в повітрі робочої зони у великих кількостях присутній озон, необхідно користуватися респіраторами марок «Сніжок ГП-озон» та «Сніжок ФГП-озон» [8].

Проте, на жаль, як засвідчує практика, зварювальники, особливо старшого віку, доволі рідко користуються респіраторами, навіть незважаючи на знання про шкоду зварювального аерозолі. Та їх можна зрозуміти — бо щоб вдихнути повітря, потрібно подолати опір фільтруючого шару, а це, своєю чергою, додаткові енерговитрати людини, що працює в надзвичайно напруженому режимі [2].

Шлангові та автономні ізолюючі маски зварювальника з примусовою подачею повітря в зону дихання мають ряд переваг перед фільтруючими респіраторами. В їх конструкції передбачена подача повітря в лицеву частину маски (100...200 л/хв), що забезпечує постійний надлишковий тиск, який виключає підсмоктування в зону дихання забрудненого повітря. При цьому обличчя працюючого омивається струменем чистого повітря потрібної температури, що при високих температурах на робочому місці забезпечує необхідні мікрокліматичні умови для запобігання перегріванню. Відпрацьоване повітря виходить назовні через щілини. На відміну від респіраторів у підмасковому просторі таких ЗІЗОД відсутній опір диханню, а вміст вуглекислого газу в повітрі, що вдихається, невеликий. подача свіжого повітря запобігає запотіванню скла маски. Період дії цих засобів захисту нічим не обмежується, крім фізіологічних можливостей працюючих із ними.

Конструктивні особливості масок зварювальника з системою очищення та подачі повітря в зону дихання визначені необхідністю захисту органів дихання від шкідливих речовин, а очей від випромінювання. Складовими частинами таких пристроїв є захисна маска зварювальника, фільтруючий елемент, елемент подачі повітря та з'єднувальний шланг.

Маска повинна мати світлофільтр, що захищає очі від випромінювання зварювальної дуги; причому в її конструкції слід передбачати можливість спостереження за підготовчими операціями при виконанні зварювання без піднімання маски, оскільки це призведе до розгерметизації зони дихання. Залежно від цього розроблені маски зі світлофільтрами на рідких кристалах (з автоматичним затемненням) або зі звичайним світлофільтром (постійної оптичної густини), що відкривається.

Широкого поширення дістали маски зі світлофільтрами з автоматичним затемненням і системою очищення та подачі повітря в зону дихання «Speedglas Fresh Air» фірми Hörmell Speedglas Inc. (США), «Ainstream» фірми Racal (Велика Британія), «Fresh Air Vnit» фірми Nederman (Швеція) та інші, що забезпечують надійний захист очей, обличчя та органів дихання зварювальника [8].

Наведені вище захисні маски на українському ринку достатньо дорого коштують і тому їх придбання підприємствами має обмежений характер. Наприклад, маска зварювальника «хамелеон 3М Speedglas 9100Air V з турбоблоком ADFLO Li-Ion» станом на 2019 рік коштувала 47784,96 грн. Її основне призначення – це роботи в умовах обмеженої вентиляції з вмістом кисню не менше 19,5 % і рівнем забруднення повітря не більше 50 ГДК. Маска з системою примусової вентиляції оснащена спеціальними електронними пристроями, безперервно контролюючих і регулюючих подачу повітря в залежності від потреб. При потребі застосовують протиаерозольний фільтр.

Маска зварника «Хамелеон speedglas 9002v з fresh-air» коштувала 29918,96 грн. (ціни за даними інтернет-магазину «ВІКО»). Система ідеально підходить для роботи в замкнутих просторах і інших невентильованих приміщеннях, де неможливе застосування фільтруючих засобів індивідуального

захисту. Застосовують для роботи в закритих приміщеннях при високій концентрації димів, аерозолів і газів.

Сучасні маски успішно захищають зварювальника від багатьох неприємностей, адже, крім захисного скла, в них вставляється світловий фільтр. Розроблено кілька типів масок: традиційні (світлофільтр у фіксованому стані); з підйомним світлофільтром; маски «хамелеон» – автоматичного типу. Перші два типи являють собою так звані «пасивні» маски. Такі маски не завжди справляються зі своїм основним завданням – захистом очей від шкідливих випромінювань. «Активні» маски типу «хамелеон» змінюють ступінь свого затемнення автоматично в залежності від імпульсу світла зварювальної дуги і дозволяють контролювати процес зварювання без шкоди для зору.

Щодо системи подачі чистого повітря під маску, то найбільшого розповсюдження за кордоном дістали портативні автономні системи, що розташовуються на поясі зварювальника. Такі системи складаються з електричного збуджувача тяги, який подає повітря під маску, фільтруючого блоку для очищення забрудненого повітря, що забирається з робочої зони зварювальника, та гнучких шлангів, які з'єднують систему очищення та подачі повітря із захисною маскою. Схема і пристрій цих масок компактні, мають незначну вагу, не заважають проведенню зварювальних робіт та звільняють руки зварювальника.

Широко застосовуються також маски, до яких повітря надходить від внутрішньоцехової компресорної системи. Комплект складається з герметичної маски; фільтра з активованим вугіллям для очищення повітря від домішок; редуктора, приєднаного до магістралі зі стиснутим повітрям; запобіжного клапана, що спускає повітря з-під маски при його надмірному тиску; індикаторного пристрою, який дозволяє визначати ступінь забруднення активованого вугілля у фільтрі; поясного ременю, на якому змонтовано всі перелічені елементи.

При роботі в умовах з нормальними параметрами мікроклімату згідно ДСН 3.3.6.042-99 розглянуті ЗІЗОД практично задовольняють поставленим вимогам. Але при зварюванні в умовах знижених або підвищених температур, що нерідко буває характерним для зварювального виробництва, дані ЗІЗОД

непридатні, оскільки в них не передбачено регулювання температури повітря в зоні дихання. Тому за таких умов необхідно застосовувати ЗІЗОД, які забезпечують очищення і подачу під маску зварювальника повітряного потоку з заданою температурою від зовнішнього джерела. Такі апарати, крім системи очищення і подачі повітря під маску, мають спеціальний пристрій кондиціювання повітря. Стиснуте повітря, що надходить від промислової мережі або персонального компресора, очищується у фільтрах попередньої та тонкої очистки, подається у вихрову трубку, де відбувається розподіл повітря на охолоджене і нагріте. Підготовлене повітря надходить до повітро-розподільного блока, що монтується на масці зварювальника. Температура повітря регулюється дросельним вентилям в межах $\pm 12^{\circ}\text{C}$ відносно температури навколишнього повітря [8].

Іншим засобом захисту зварювальника від зварювальних аерозолів є установка місцевої вентиляції. Але цей варіант доречний тоді, коли зварювальник має стаціонарне місце роботи, при цьому захищається не тільки сам зварювальник, але й ті, хто працюють поруч. Однак цей засіб має досить суттєве обмеження. Ефективність роботи місцевого відсмоктування залежить від відстані до джерела диму, і при відстані понад 0,7 м фільтрується не більше 20 % забрудненого повітря. А коли зварювальнику необхідно обварити досить велику конструкцію, то він, далеко не завжди, тягатиме за собою «хобот» відсмоктування до кожного місця зварювання, не кажучи вже про те, що іноді це фізично неможливо. Те саме можна зазначити і щодо напівавтоматичного зварювання протяжних швів.

Але існує засіб захисту зварювальника, позбавлений усіх перелічених вище недоліків. Це комплексний засіб індивідуального захисту, куди входить зварювальний щиток з автономним блоком подавання повітря. Зварювальний щиток з автоматичним затемненням світлофільтра забезпечує зварювальнику постійний захист очей та контроль за робочим місцем, як при запаленій дузі, так і за її відсутності. Автономний блок подавання повітря закріплюється на поясі зварювальника і постійно захищає його органи дихання.

Комплексний засіб індивідуального захисту зварювальника включає в себе фільтр і мікровентилятор, що працює від акумуляторної батареї, яка забезпечує час

безперервної роботи не менше 8 годин, тобто повну робочу зміну. Забруднене повітря проходить три стадії очищення: через металеву сітку, передфільтр грубого очищення й аерозольний фільтр тонкого очищення, який забезпечує коефіцієнт захисту цього засобу захисту 50. Це означає, що під маскою зварювальника повітря буде в 50 разів чистіше, ніж зовні. При цьому після аерозольного фільтра можна вставити додатковий фільтр від запаху (протигазовий фільтр до ГДК) або універсальний протигазовий фільтр АВЕК1 [8]. Далі чисте повітря, через шланг подавання повітря, подається під зварювальний щиток. Але не спрямованим потоком, а через розподільник повітря, який рівномірно розділяє повітря під зварювальним щитком, унеможливаючи обдування гайморових пазух, розташованих в лобовій частині голови, що істотно знижує ризик застудити їх. Для вимкнення підсмоктування нефільтрованого повітря зварювальний щиток забезпечений лицьовим ущільненням з вогнестійкого матеріалу. Електронна схема «інформує» світловим і звуковим сигналом про необхідність заміни фільтра. Таким чином, у зварювальника нема потреби стежити за станом свого аерозольного фільтра, за нього це зробить електроніка. До того ж аерозольний фільтр неможливо очистити. Спроба «продути» його може призвести до утворення мікророзривів матеріалу фільтра. При цьому зварювальник вважатиме, що йому вдалося почистити фільтр, а насправді він дихатиме вже неочищеним повітрям, що спрямовується через ці мікророзриви. Отже, робота з таким «фільтром» завдасть шкоди здоров'ю зварювальника і передчасно виведе з ладу автономний блок. А ось металеву сітку і передфільтр, навпаки, необхідно час від часу чистити для збільшення терміну служби основного фільтра.

При роботі з фільтруючими засобами захисту треба пам'ятати, що жоден з них не додає кисень у повітря, що вдихається. Скажімо, коли концентрація інших газів у робочій зоні буде настільки великою, що змінить вміст кисню до менш як 18 %, використання фільтрувальних засобів захисту заборонено [8]. Така ситуація може виникнути при зварюванні в замкнутому, невентильованому приміщенні з використанням захисних інертних газів. А тому в таких випадках рекомендується застосовувати ізолюючі засоби індивідуального захисту.

Особливої уваги заслуговують пересувні фільтровентиляційні установки, які застосовують для усунення та очищення брудного повітря різними речовинами, такими як пил, аерозолі та інші сухі забруднення повітряної маси в різноманітних сферах промисловості. Експлуатують агрегати в нестационарних приміщеннях, цехових виробництвах різної сфери промисловості, також лабораторіях для зварювання, пунктах для атестації, будівельних заводах і інших подібних приміщеннях. Важливо, щоб чисте повітря не мало в собі вибухонебезпечні домішки.

Особливості пересувних фільтровентиляційних установок: невеликі параметри пристроїв; видаляють до 85 % шкідливих матеріалів від джерела їх виділення; економічні; надійні; у деяких моделях є колеса, завдяки їм можна пересувати обладнання в усі місця цехових приміщень; функціонування обладнання в безперервному режимі; невеликий опір повітряній масі; забезпечують можливість регулювання витрати аеропотоку, який проходить крізь агрегат; немає необхідності в постійному технічному сервісі; легко піддається переміщенню та встановленню в будь-якому положенні; тривалий термін експлуатації.

Мобільні фільтровентиляційні пристрої серії Dufil призначені для локального видалення диму та аерозолів при виконанні зварювальних робіт у випадках, коли неможливе використання централізованих систем аспірації. Фільтрувальні елементи відповідають вимогам стандарту DIN EN ISO 15012-1 та сертифіковані за класом IFA W3 для зварювальних аерозолей. Можуть використовуватись для видалення зварювального аерозолю. Фільтрувальні елементи розраховані на утримання великих обсягів пилу.

Мобільність устаткування дозволяє легко змінювати місце локального видалення забруднень. Гнучкі витяжні пристрої довжиною до 4 м забезпечують великі межі охоплення робочої зони. В обладнанні використовуються багаторазові полімерні фільтри зі ступенем очищення MERV 16. Очищення фільтруючих поверхонь виконується продуванням стисненим повітрям. Пристрої оснащені контейнером для збирання пилу.

Особливу увагу треба звернути на захист від чадного газу (СО), який може утворюватися в замкнутому просторі, це питання не достатньо вивчено. Варто нагадати, що середній термін життя чоловіків в Україні становить 60 років, і для збільшення цього терміну, зокрема працівників, зайнятих на електрозварювальних роботах, необхідно застосовувати сучасні засоби індивідуального захисту органів дихання.

1.5 Оцінювання ризику впливу чинників робочого середовища на працівника при виконанні зварювальних робіт

Рівень професійної захворюваності в машинобудівній промисловості, де в великих об'ємах застосовується електродугове зварювання, значно більший, ніж в інших галузях промисловості.

Несприятливу дію шкідливих факторів виробничого середовища на здоров'я працівників і викликані ними професійні захворювання у зварювальному виробництві можна розділити на три основні групи:

- Захворювання, викликані дією хімічних факторів;
- Захворювання під дією фізичного навантаження, а також одноманітних, часто повторюваних рухів, вимушеної пози;
- Захворювання, викликані фізичними факторами (нагріванням чи охолодженням, мікрокліматом, шумом, ультрафіолетовим та інфрачервоним випромінюванням).

В останні роки спостерігається підвищення рівня захворювань нервово-мозкового апарата у зв'язку з використанням одноманітних, часто повторюваних рухів і фізичним навантаженням [53]. Ці захворювання реєструються на ділянках, де неповністю впроваджена автоматизація і механізація, на ділянках ручної праці.

Для зниження виникнення професійних захворювань аналіз ризику проводиться у такій послідовності:

- визначення внутрішніх та зовнішніх чинників, що збільшують чи зменшують ступінь певного виду ризику;
- аналіз виявлених чинників;
- оцінювання певного виду ризику;
- встановлення допустимого ступеня ризику;
- аналіз окремих операцій щодо обраного ступеня ризику;
- розроблення заходів щодо зниження ступеня ризику.

Вимоги по надійності технічних засобів захисту носять, як правило, локальний характер, і поширюються на окремі технічні засоби: вентиляційні системи, пристрої сигналізації, індикації або засоби індивідуального захисту (протигази).

На сьогоднішній день відсутня методика мінімізації ризику, що враховує наявні засоби захисту комплексно. В результаті цього утруднене формулювання об'єктивних вимог щодо допустимого ризику отруєння чадним газом як на законодавчому, так і на нормативному рівнях.

Це, в свою чергу, обмежує ефективність засобів захисту, які використовуються комплексно. Тому управління ризиком отруєння людини чадним газом в зварювальному виробництві залишається важливим і актуальним завданням [54].

На ризик формування та виникнення професійних захворювань зварювальників впливають такі чинники: вік, стаж загальний та стаж роботи у контакті з пилом, а також середнє пилове навантаження [55].

Для побудови графіка залежності ризику формування та виникнення захворювання пилової етіології від множини чинників, що впливають, були використані медичні статистичні дані, приведені в табл. 1.1 (дані щодо ризику професійної захворюваності, взяті з аналізу цього явища за останні 10 років, виконаного Інститутом медицини праці АМН України) [56].

На основі табл. 1.1 побудований графік залежності ризику формування та виникнення захворювання пилової етіології від множини чинників, що впливають (рис. 1.2).

Таблиця 1.1 – Статистичні дані, які характеризують ризик професійної захворюваності зварювальників

Вік працівника, роки	Загальний стаж роботи працівника, роки	Стаж роботи у контакті з пилом, роки	Середнє пилове навантаження на організм працівника, мг	Ризик професійного захворювання, %
32	10	4	12	15
32	10	8	15	21
40	20	10	20	27
45	23	15	18	29
50	27	20	22	37
55	33	27	18	41

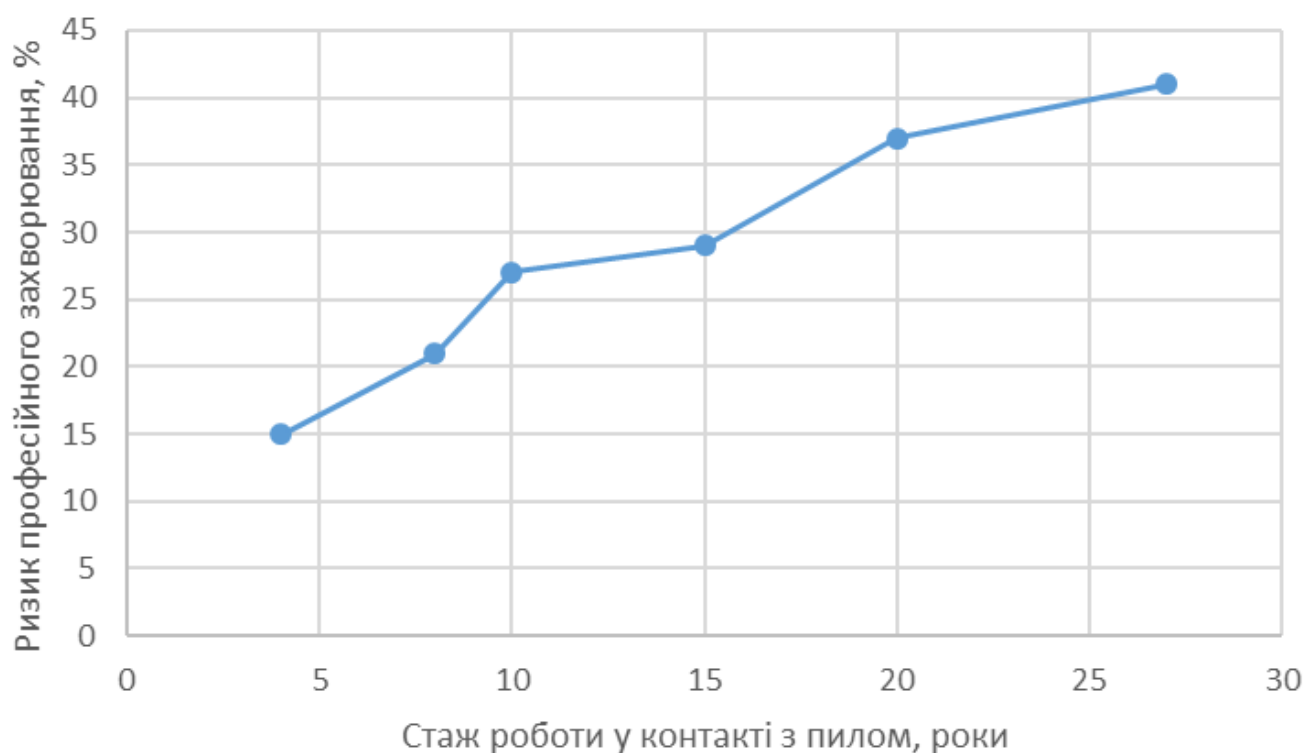


Рисунок 1.2 – Залежність ризику формування та виникнення професійного захворювання у зварювальників від стажу роботи у контакті з пилом

Основним показником у зварювальних технологіях є те, що всі показники ризиків мають не перевищувати ризик рівня 10^{-6} згідно з ДГН 6.6.1 - 6.5.061-2000.

Аналізуючи ситуацію в Україні з базою даних і доступними методиками розрахунків ризиків, слід відзначити їх практично повну відсутність і орієнтацію на особливо небезпечні об'єкти [57].

Технологічні процеси зварювання широко поширені в промисловості, будівництві та інших галузях народного господарства.

До шкідливих виробничих факторів зварювального виробництва відноситься чадний газ, здатний викликати отруєння людей.

Існуючі методи і засоби захисту людини, як правило, дозволяють нормалізувати повітряне середовище виробничих приміщень, щоб дотримувались гранично допустимі концентрації робочої зони.

На сьогоднішній день розроблено ряд методів оцінки ризику, що дозволяють визначати їх кількісні і якісні характеристики з метою вжиття превентивних заходів безпеки.

Основні методи оцінки ризику [58]: мозковий штурм; структуровані або частково структуровані інтерв'ю; Метод Дельфі та інші.

У деяких випадках використовують кілька методів оцінювання ризику. Оцінювання ризику може бути виконано з різним ступенем глибини і деталізації з використанням одного або декількох методів різного рівня складності. Форма оцінювання та її вихідні дані повинні бути сумісні з критеріями ризику, встановленими при визначенні сфери застосування.

В роботі [59] наводиться метод аналізу ризику FMEA (failure mode effect analysis) та доводиться, що він не гарантує точну оцінку факторів ризику та визначення їх пріоритетів. У роботі [60] управління ризиками здійснюється також на основі методу FMEA та рекомендується комплекс заходів щодо зниження виявлених ризиків. Однак використовуваний метод здійснює якісну оцінку ризиків, що має низьку точність і низьку ефективність управління. Кількісна оцінка ризику системи, що складається з декількох модулів, наводиться в роботах [61; 62] на основі методу Маркова. Основний недолік полягає в необхідності інформації про

ймовірність переходу системи з одного стану в інший (працездатний, погіршений, непрацездатний). У реальних виробничих умовах часто спостерігається дефіцит такої інформації, через що ускладнено застосування даного методу і обмежена точність розрахунку ризику. Більш висока точність досягається в роботі [63]. Оцінюється ризик при роботі технологічних систем гірничодобувної промисловості на основі стандартного методу FTA (Fault Tree Analysis).

Управління надійністю, обслуговуванням і безпекою підвищує продуктивність процесу. Аналогічний підхід здійснено в роботі [64], де виконується аналіз дерева відмов з метою визначення критичних чинників, людських помилок і оптимізації характеристик процесу. Дані роботи також не враховують специфіку систем захисту людини від чадного газу. Тим більше, вони не містять конкретних відомостей про підвищення надійності цих систем. Більш досконалий підхід здійснено в роботах [65; 66], в яких використовується комбінація методів FMEA і FTA. Результати одного методу є вихідними даними для іншого. Дані методи також не дають конкретних рішень щодо підвищення надійності систем захисту від аномального повітряного середовища. До того ж дані методи не здійснюють аналітичну оцінку ризику системи з метою виявлення та заміни «слабких ланок». Наближене рішення даного завдання наводиться в роботі [67], де оцінюється вплив окремого елемента на вихідний параметр системи в цілому. Дане рішення дозволяє розраховувати надійність системи за поступовими експлуатаційними відмовами. При даному виді відмов вихідний параметр поступово виходить за межу допуску. Дані відмови можуть бути викликані впливом різних дестабілізуючих факторів (температури, вологості, наявності агресивних середовищ, часу та ін.). Однак в роботі відсутній розрахунок надійності по раптовим експлуатаційним відмовам, які залежать від тривалості попередньої роботи системи. Даний вид відмов найбільш важливо оцінювати для забезпечення безпеки людей.

Аналіз наведених вище прикладів, дозволив сформулювати проблему, яка полягає в тому, що в даний час відсутній аналітичний підхід до виявлення найбільш значущих елементів («слабких ланок», тобто ділянок із високим ризиком) в дереві

відмов. Придбання такого досвіду буде корисним при проектуванні та реконструкції систем захисту людини від чадного газу в зварювальному виробництві. Даний досвід допоможе застосовувати превентивні заходи безпеки у вигляді своєчасного виявлення і заміни ненадійних елементів системи. Це пояснює доцільність проведення дослідження, спрямованого на аналіз ризику в дереві відмов системи захисту людини від чадного газу. Особливу увагу слід приділити впливу на ризик окремих елементів системи та можливості їх альтернативної заміни.

Висновки до розділу 1. Постановка мети і завдань дослідження

1. Відповідно до проведеного аналізу стану охорони праці в світі і Україні встановлено, що більше половини професійних захворювань зварювальників — це хвороби органів дихання і різні патології, пов'язані з вдиханням зварювального аерозолі, який може містити небезпечну газову складову — монооксид вуглецю.

2. Проаналізовані основні зварювальні процеси, які надали пояснення причин виникнення шкідливих та небезпечних виробничих чинників під час зварювального процесу. Запропоновано класифікацію даних причин, відповідно до різних процесів зварювання. Зроблений аналіз професійних захворювань зварювальників, наведені способи та засоби їх захисту від шкідливих та небезпечних виробничих чинників на робочих місцях.

3. Проведений аналіз умов праці на робочих місцях зварювальних ділянок показав, що домінуючими шкідливими та небезпечними виробничими чинниками є підвищена концентрація зварювального аерозолі та підвищена концентрація чадного газу у повітрі робочих зон.

4. Проведені дослідження показали, що на сьогодні відсутні наукові дослідження щодо побудови математичних моделей вмісту чадного газу та зварювального аерозолі в повітрі робочих зон з урахуванням умов зварювання (електричного струму, часу, типу електрода та відстані до джерела). Також

виявилися недостатньо ефективними засоби індивідуального захисту людини внаслідок відсутності одночасного захисту від електричної дуги, зварювального аерозолю, чадного газу та контролю його вмісту у повітрі робочої зони.

5. Ризик отруєння чадним газом значно перевищує значення 10^{-6} , яке на сьогодні є допустимим для технічних ризиків.

На основі вищевикладеного сформульовано 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 методику аналізу чадного газу на робочих місцях;

- провести теоретичне дослідження, спрямоване на побудову математичних моделей залежності концентрації чадного газу та зварювального аерозолю 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.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [21, 22, 23, 53, 54].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТАНІ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕЛЕКТРОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

2.1 Методика дослідження розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі у просторі робочої зони зварювальника

Щоб виявити залежність утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів в 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 загально-обмінної вентиляції та зменшення ризику негативного впливу чадного газу на зварювальників.

Перед початком зварювання було визначено місце розташування зварювальника, на одному із 5 спроектованих зварювальних постів.

Обладнання та прилади: апарат електродугового зварювання, 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 типом покриття, діаметром електродів 3 мм. Сила електричного струму зварювання (І зварки) становила 110 А. Вибір режиму зварювання та характеристика джерела живлення електричним струмом вказують на формування зварювального аерозолі та наявність його негативного впливу на працівників у лабораторії. Оцінка емісій ЗА на наявність та вимірювання концентрацій

монооксиду вуглецю та SO_2 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). Отримані результати замірів наведено у табл. 2.1. У табл. 2.1 концентрацію CO подано відповідно до часу проведення експерименту з початку процесу зварювання у секундах (10 с, 20 с, 30 с).

Таблиця 2.1 – Концентрація CO в зоні зварювання в замкнутому об'ємі при ручному дуговому зварюванні

Назва дослідження та його характеристики	Концентрація CO, мг/м ³					
	в зоні зварювання в замкнутому об'ємі при ручному дуговому зварюванні			в зоні зварювання під витяжним зонтом при ручному дуговому зварюванні		
	10 с	20 с	30 с	10 с	20 с	30 с
Дослідження 1	127	183	43	6,4	14,6	14,8
Дослідження 2	126	190	46	6,1	14,2	14,6
Дослідження 3	124	185	45	6,2	14,3	14,7
Визначення середнього Значення	125,7	186	44,6	6,2	14,4	14,7
Похибка вимірювань 1, мг/м ³ (%)	1,3 (1,03)	3 (1,61)	1,6 (3,6)	0,2 (3,22)	0,2 (1,39)	0,1 (0,68)
Похибка вимірювань 2, мг/м ³ (%)	0,3 (0,23)	4 (2,2)	1,4 (0,03)	0,1 (1,61)	0,2 (1,39)	0,1 (0,68)
Похибка вимірювань 3, мг/м ³ (%)	1,7 (1,35)	1 (0,54)	0,6 (0,01)	0 (0)	0,1 (0,69)	0 (0)
Середнє значення, %	0,87	1,45	1,21	1,61	1,16	0,45

Аналіз отриманих результатів, який наведений у табл. 2.1, доводить, що концентрація чадного газу при ручному дуговому зварюванні в замкнутому об'ємі перевищує ГДК.

При проведенні досліджень було враховано, що монооксид вуглецю, який виділяється при проведенні процесів зварювання, має надзвичайну небезпеку через те, що його важко визначити у робочій зоні та він має тяжкі наслідки для здоров'я робітника.

Дослідження з визначення рівня концентрацій СО проводилося сигналізатором-аналізатором газів багатокомпонентним індивідуальним «ДОЗОР-С-М» [68].

Характеристика приладу для вимірювань: сигналізатор-аналізатор ДОЗОР-С-М, виробник – науково-виробниче підприємство «ОРІОН», м. Харків, Україна. Сигналізатор призначений для вимірювання концентрації компонентів в газовій суміші димових газів (газів, що відходять). Сигналізатор можна застосовувати для контролю загазованості повітря виробничих об'єктів.

Діапазони вимірювань і межі допустимої основної похибки: значення концентрації газів відображається в: мг/м^3 , при вимірюванні аміаку, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю, сірководню та хлору; у відсотках нижньої концентраційної межі поширення полум'я (об'ємних частках, % об.) при вимірюванні горючих газів і парів; об'ємних частках, % об. при вимірюванні діоксиду вуглецю і кисню. Ціна одиниці найменшого розряду: 0,1 % нижньої концентраційної межі поширення полум'я (0,01 % об.) – при вимірюванні горючих газів і парів; $0,1 \text{ мг/м}^3$ – при вимірюванні аміаку, діоксиду азоту, діоксиду сірки, оксиду азоту, оксиду вуглецю і сірководню.

Відбір аналізованої газової суміші проводиться через газозабірний зонд. Газозабірний зонд призначений для достовірності вимірювань концентрації компонентів димових газів, забору проби димових газів з димоходу, а також для захисту обладнання від абразивного зносу продуктами згоряння твердого палива. Чутливий елемент до монооксиду вуглецю (CO), оксиду азоту (NO), діоксиду азоту (NO_2), діоксиду сірки (SO_2) і сірководню (H_2S) є трьохелектродний

електрохімічний осередок, який при наявності в газовій суміші компонента, що визначається, виробляє електричний сигнал, прямо пропорційний його концентрації. Дослідження проводили згідно інструкції до приладу сигналізатор-аналізатор ДОЗОР- С-М [68].

Отримані результати вимірювань зберігались у вигляді архіву результатів досліджень із фіксацією часу та дати вимірювань на приладі, а також для перегляду на персональному комп'ютері через порт USB та Ir адаптера.

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.

Коли розраховується утворення газу у будь-якому процесі, то для розрахунків небезпеки впливу завжди приймається варіант, що всі робочі місця працюють, тобто максимальне навантаження. Експозиція напрацювання газу обиралась по спрацюванню сигналу ПОРОГ-1 (20 мг/м^3), ПОРОГ-2 (50 мг/м^3) та ПОРОГ-3 (100 мг/м^3) газоаналізатора.

Враховуючи значну складність визначення СО у відкритому приміщенні приладами типу ДОЗОР, через високу його летючість, було запропоновано використовувати додатково куполоподібний навіс (внутрішній об'єм 1 м^3) над зоною зварювання. 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 [69].

Для виявлення залежності утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів у робочій зоні зварювальника були проведені відповідні дослідження при електродуговому зварюванні.

Електроди, які були використані в експерименті:

1. З рутилово-целюлозним покриттям E46 – MAX weld РЦ, E432(3) – РЦ 11;

2. З рутиловим покриттям Е 6013 Э46 – Е60/13-d –УДЕ 431(3) – Р21 ТЕКНМАНН;

3. З основним покриттям УОНИ-13/45 ПИОНЕР.

Дослідження було виконано у відповідності з планом експерименту типу ПФЕ-2². Результати повного факторного експерименту типу 2² реалізованого відповідно до матриці планування експерименту.

Натуральні величини факторів при проведенні експерименту відповідно замінені кодованими їх значеннями. Відтворюваність дослідів перевірена шляхом постановки паралельних дослідів.

2.2 Методика дослідження мікрокліматичних параметрів на робочому місці зварювальника

2.2.1 Методика дослідження температури

Аналіз умов праці виконували при роботі зварювальника в лабораторії зварювання кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». В лабораторії зварювання знаходиться 5 робочих місць.

Мета дослідження: визначити температуру повітря у приміщенні лабораторії та надати гігієнічну оцінку умовам праці. Термометри, що застосовуються для вимірювання температури повітря, різноманітні за своїм призначенням, шкалою вимірювань та конструкцією. У гігієнічній практиці здебільшого застосовуються ртутні й спиртові термометри. Не слід розміщувати прилади поблизу нагрівальних та вентиляційних пристроїв.

Основні правила вимірювання температури: термометри розміщують так, щоб уникнути впливу на них сонячних променів, нагрівальних чи охолоджувальних пристроїв; термометри краще підвішувати на спеціальних штативах, а не тримати у руках, не можна близько нахилитися над ними; реєстрацію показників робити через 5-10 хв після розміщення; при вивченні

температурного режиму у приміщеннях вимірювання здійснюються у горизонтальному та вертикальному напрямках. Вимірювання у горизонтальному напрямку проводиться в 3 точках по діагоналі (від зовнішнього до внутрішнього кута):

- біля внутрішньої стіни;
- біля зовнішньої стіни;
- в центрі приміщення.

Температуру біля стін визначають на відстані 20 см від них на висотах: 0,90 м, 1 м, 1,5 м. Окрім того, вимірюють температуру у зоні розміщення обладнання і перебування працівників. Різниця температур у житлових приміщеннях не повинна перевищувати по горизонталі 2 °С, по вертикалі – 2,5 °С. Допустимі коливання температури протягом доби для цегляних будівель становлять 2 °С і дерев'яних – 3 °С. Температурні норми в виробничих приміщеннях повинні складати величини, які відповідають ДСН 3.3.6.042-99. На робочих місцях оптимальні величини температури щодо категорії робіт за енерговитратами для зварювальника - середня важкість Пб, повинні відповідати наступним значенням: у холодний період року 17-19 °С, а в теплий період 20-22 °С при відносній вологості 40-60 %. У випадках необхідності потрібно дотримуватися гігієнічних правил щодо попередження перегрівання та переохолодження людини.

Визначені у дослідженнях фактичні значення параметрів повітряного середовища у приміщенні лабораторії наведені у табл. 2.2.

2.2.2 Методика визначення атмосферного тиску

Для працівників, які хворіють на ревматизм, мають порушення діяльності нервової, серцево-судинної систем та деякі інші захворювання, коливання атмосферного тиску негативно відображаються на стані здоров'я. Зменшення атмосферного тиску призводить до зниження парціального тиску газів, що є складовими повітря, в тому числі й кисню.

Мета дослідження: визначити атмосферний тиск у приміщенні лабораторії та надати гігієнічну оцінку.

Вимірювання атмосферного тиску здійснюють барометром-анероїдом за стандартною методикою. Шкала градуїрована у міліметрах ртутного стовпчика та/або у Па. Результати вимірювань наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри повітряного середовища в лабораторії зварювання

Місце вимірюван- ня	Висота, м											
	0,90 м				1 м				1,5 м			
	T, °C	W, %	P, мм рт.ст	V, м/ с	T, °C	W, %	P, мм рт.с т	V, м/ с	T, °C	W, %	P, мм рт.с т	V, м/ с
Біля внутріш- ньої стіни	12,5	60,0	759	0,1	12,5	59,0	759	0,1	13,0	59,0	759	0,1
Біля зовнішньої стіни	12,0	61,0	759	0,1	12,0	61,0	759	0,1	12,5	62	759	0,1
В центрі приміщен- ня	13,0	55,5	759	0,1	13,2	55,2	759	0,1	13,5	56,0	759	0,1
У зоні розміщення обладнання	14,5	53,0	759	0,1	14,8	53,5	759	0,1	15,0	53,5	759	0,1
У зоні перебуван- ня працівників	14,0	54,0	759	0,1	14,0	53,5	759	0,1	14,5	54,0	759	0,1

Визначені у дослідженнях, фактичні рівні атмосферного тиску в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться в межах нормованих значень.

2.2.3 Методика визначення вологості

Тривале перебування зварювальника в умовах високої вологості повітря при температурі нижче 10-15 °С може викликати переохолодження. Це пов'язано з тим, що підвищується теплопровідність повітря, бо водяні пари мають вищу теплоємність, ніж повітря.

Оптимальні величини відносної вологості для зварювальників становлять 40-60 %, а допустимі величини – 70 % при температурі 25 °С згідно з ДСН 3.3.6.042-99.

Мета дослідження: визначити значення вологості повітря у приміщенні лабораторії та надати гігієнічну оцінку.

Вологість повітря визначали за стандартною методикою аспіраційним психрометром Ассмана.

Абсолютну вологість повітря знаходять за формулою:

$$A = B - 0,5 (t - t_1) (H/755), \quad (2.1)$$

де A — шукана абсолютна вологість, г/м³;

B – максимальна вологість г/м³ при температурі вологого термометра;

t – температура сухого термометра, °С;

t_1 – температура вологого термометра, °С;

H – атмосферний тиск, мм рт. ст.

Відносну вологість повітря обчислюють за формулою:

$$C = (A/F) 100\%, \quad (2.2)$$

де C – шукана відносна вологість, %;

A – абсолютна вологість повітря, г/м^3 ;

F – максимальна вологість (г/м^3) при температурі сухого термометра.

Відносну вологість повітря за показами аспіраційного психрометра у приміщенні можна знайти за результатами таблиць, які додаються до приладу. Допустима мінімальна температура на внутрішній поверхні стіни для запобігання конденсації вологи в приміщенні з вологістю повітря 60 % і температурою 18 °C не може бути нижчою 12 °C, оскільки при цій температурі починається конденсація. Відносна вологість у лабораторії наведена в табл. 2.2.

Визначені у дослідженнях фактичні значення відносної вологості в приміщенні лабораторії зварювання в результаті вимірювань знаходяться в межах нормованих значень.

2.2.4 Методика визначення швидкості руху повітря

Швидкість повітря має вплив на розповсюдження у робочому приміщенні при зварюванні шкідливих газів та аерозолів.

Мета дослідження: визначити значення швидкості руху повітря у лабораторії та надати гігієнічну оцінку.

Для вимірювання середньої швидкості руху повітряної маси в межах 0,1...5,0 м/с був використаний крильчастий анемометр АСО-3 за стандартною методикою. Визначення швидкості руху повітря за допомогою анемометра виконували за стандартною методикою наведеною у інструкції до приладу. Швидкість повітряного потоку знаходять за градуювальним графіком: на вертикальній осі графіка відмічають значення показів шкали лічильника анемометра за секунду, проводять горизонталь з цієї точки до перетину з графіком і визначають точку, проекція якої на горизонтальну вісь відповідає досліджуваній швидкості повітряного потоку. Оптимальні величини швидкості руху повітря для зварювальників повинні не перевищувати 0,2 м/с згідно ДСН 3.3.6.042-99.

Швидкість руху повітря у лабораторії наведена в табл. 2.2. Визначені у дослідженнях фактичні значення швидкості руху повітря в приміщенні лабораторії

зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться в межах нормованих значень.

2.3 Методика визначення шуму на робочому місці зварювальника

Експлуатація технологічного обладнання та механізмів при виконанні технологій зварювання пов'язана з виникненням шумів та вібрації різної частоти та інтенсивності, котрі справляють негативний вплив на стан та здоров'я працівника. Шум може тимчасово активізувати або постійно пригнічувати психічні процеси організму людини.

Фізіологічні та біологічні наслідки можуть проявлятися у формі порушення функцій слуху та інших аналізаторів, зокрема вестибулярного апарату, координуючої функції кори головного мозку, нервової системи, систем травлення і кровообігу. Ступінь прояву патологічних змін в організмі людини, зумовлених впливом шуму, значною мірою залежить від його параметрів, стажу роботи, тривалості дії протягом робочого дня, індивідуальної чутливості організму, поєднання з іншими професійними чинниками

Мета дослідження: визначити значення шуму у лабораторії зварювання та надати гігієнічну оцінку. Вимірювання шуму в лабораторії здійснювалось за допомогою приладу Шумомір 1М30 за стандартною методикою, яку наведено у технічній інструкції приладу.

Принцип дії приладу шумоміру ШУМ-1М30 полягає в вимірюванні електричного сигналу, що надходить з конденсаторного мікрофону і пропорційного звуковому тиску акустичних шумів.

Згідно ДСН 3.3.6.037–99 шум на робочому місці зварювальника повинен бути в межах до 80 дБ(А), а фактичні значення, виміряні за допомогою приладу Шумомір 1М30, занесені в табл. 2.3.

Визначені у дослідженнях фактичні рівні еквівалентного рівня шуму в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань не перевищували нормованих значень для професії зварювальника.

Таблиця 2.3 – Фактичні рівні шуму в приміщенні лабораторії зварювання, дБ(А)

Місце вимірювання	Біля зовнішньої стіни, дБ(А)	Біля внутрішньої стіни, дБ(А)	В центрі приміщення, дБ(А)	У зоні розміщення обладнання, дБ(А)	
				без включення апарату зварювання	при включеному зварювальному апараті
Дослідження 1	51,5	52,0	56,0	54,0	57,0
Дослідження 2	50,0	51,0	57,0	53,0	57,5
Дослідження 3	52,0	52,5	55,0	55,0	58,0
Визначення середнього значення	51,0	51,8	56,0	54,0	57,5
Похибка вимірювань, середнє значення, дБ(А), %	0,83 (1,6)	0,56 (1,0)	0,66 (1,1)	0,66 (1,1)	0,33 (0,5)

2.4. Методика дослідження освітлення

Стан освітлення має суттєвий вплив на умови праці та безпеку працівника при виконанні зварювальних робіт. Мета дослідження: визначити значення

освітленості у лабораторії та надати гігієнічну оцінку. Освітленість визначалась за допомогою переносного фотоелектричного люксметра Ю116.

Діапазон вимірювання освітленості: 5...100000 лк. Отримані дані порівнювались із відповідними гігієнічними нормами, за ДБН В.2.5-28:2018 освітлення на робочому місці зварювальника повинно бути у межах 200-300 лк. Результати виконаних досліджень наведено в табл. 2.4.

Визначені у дослідженнях рівні штучного освітлення в приміщенні лабораторії зварювання встановили недостатність освітлення у робочій зоні зварювальника. Відповідні рекомендації надані керівнику лабораторії.

Таблиця 2.4 – Освітлення в лабораторії зварювання, лк

Місце вимірювання	Біля зовнішньої стіни, лк	Біля внутрішньої стіни, лк	В центрі приміщення, лк	У зоні розміщення обладнання, лк	
				без включення апарату зварювання	при включеному зварювальному апараті
Дослідження 1	80	190	91	150	300
Дослідження 2	75	210	95	161	310
Дослідження 3	85	200	100	154	290
Середнє значення	80	200	95,3	155	300
Похибка вимірювань, середнє значення, лк, %	3,3 (4,1)	6,7 (3,3)	3,23 (3,3)	4 (2,5)	6,6 (2,2)

2.5. Методика дослідження SO₂ у повітрі приміщення

Дослідження залежності утворення газу SO₂ при електродуговому зварюванні проводилися в лабораторії зварювання.

Мета дослідження: дослідження залежності утворення газу SO₂ в лабораторії зварювання. Дослідження з визначення рівня концентрацій SO₂ проводилося сигналізатором-аналізатором газів багатокомпонентним індивідуальним «ДОЗОР-С-М».

Методика дослідження описувалась в п. 2.1. Результати вимірювань наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Концентрація SO₂ в зоні зварювання в замкнутому просторі при ручному електродуговому зварюванні

Назва дослідження та його характеристики	Концентрація SO ₂ , мг/м ³
	через 10 с
Дослідження 1	0,1
Дослідження 2	0
Дослідження 3	0,1
Визначення середнього значення	0,067
Похибка вимірювань 1, мг/м ³	0,033
Похибка вимірювань 2, мг/м ³	0,067
Похибка вимірювань 3, мг/м ³	0,033
Середнє значення	0,044

Визначені у дослідженнях концентрації газу наведені у табл. 2.5, які показали рівні SO₂, які значно менше припустимих рівнів, тому у подальшому таких досліджень не проводили.

2.6 Методика дослідження електромагнітного поля у приміщенні

При проведенні зварювальних робіт за допомогою електродугового зварювання використовується електричний струм із промисловою частотою 50 Гц. Ці показники регламентуються санітарно-гігієнічними нормативами та ДСН 3.3.6.096-2002. Останні дослідження ЕМП показали, що небезпечними для людини є не тільки змінні поля частотою 50 Гц, але й інших частот, а також постійні магнітні поля. Сама зварювальна дуга також є джерелом ЕМП різних частот.

Мета дослідження: дослідження залежності утворення ЕМП в лабораторії зварювання. Дослідження проводилось приладом – аналізатор МЕ-3030В за методикою, наведеною до цього приладу.

При ручному дуговому зварюванні напруженість магнітного поля (МП) промислової частоти 50 Гц не перевищує 300 А/м, що значно нижче гранично допустимого рівня (ГДР), який для восьмигодинної робочої зміни становить 1400 А/м. Амплітудне значення напруженості МП на робочому місці зварювальника залежить від величини зварювального струму, розмірів і форми зварювального контуру, а також від відстані між робочим і джерелом поля.

ГДР постійних магнітних полів протягом робочого дня не повинні перевищувати 8 кА/м. ГДР електромагнітних полів промислової частоти (50 Гц) визначаються залежно від часу дії цього фактора на організм людини за робочу зміну. Перебування в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом 8 годин робочого дня. ГДР магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м протягом робочого дня (8 год).

Оцінка параметрів магнітного поля на робочих місцях зварювальників має проводитись у такій послідовності:

- визначення ділянки можливого знаходження працюючого під час проходження зварювального струму;
- виділення в цій ділянці точок максимально наближених до джерела МП;

– визначення частотних діапазонів випромінювань і вимірювання напруженості МП в цих точках і діапазонах;

– визначення тривалості дії МП на працюючого.

Вимірювання напруженості МП при дугових способах зварювання мають проводитися з урахуванням розміщення кабелю. Основною задачею вимірювання напруженості МП є порівняння її з санітарними нормами ДСН 3.3.6.096-2002. Слід враховувати, що на результати вимірювань великий вплив мають джерела живлення сусідніх зварювальних постів та наявність феромагнітних мас.

При ручному дуговому зварюванні рівень МП, що індукується на поверхні різних частин тіла зварювальника та всередині, визначається переважно величиною зварювального струму, площею випромінюючого контуру, розташуванням зварювальників відносно основних джерел випромінювання та відстанню від випромінювача до поверхні тіла.

Результати дослідження довели, що рівень ЕМП на робочому місці працівника не виходив за встановлені межі (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Рівень електромагнітних полів у зоні зварювання

Назва дослідження та його характеристики	Частота 50 Гц			
	На робочому місці зварювальника		Біля електродвигуна вентилятора	
	Е, В/м	Н, А/м	Е, В/м	Н, А/м
Дослідження 1	0,50	140,0	1,0	240,0
Дослідження 2	0,45	155,0	0,9	225,0
Дослідження 3	0,50	145,0	0,9	230,0
Середнє значення	0,50	146,7	0,9	231,7
Похибка вимірювань, середнє значення (%)	0,02 (4)	5,56 (3,79)	0,03 (3,3)	5,6 (2,4)

Висновки до розділу 2

1. У дисертаційній роботі було використано методи дослідження температури, атмосферного тиску, відносної вологості, швидкості руху повітря, штучного освітлення, окису сірки (IV), ЕМП, рівня шуму, концентрації чадного газу.

2. Виконані попередні дослідження умов праці за стандартними методами, довели:

- значення температури повітря робочого середовища в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться поза межами нормованих значень;

- рівні атмосферного тиску в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться в межах нормованих значень;

- значення відносної вологості в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться в межах нормованих значень;

- значення швидкості руху повітря в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань знаходяться в межах нормованих значень;

- значення штучного освітлення в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань показали недостатність освітлення робочої зони зварювальника;

- значення окису сірки (IV) настільки незначні, тому у подальшому його було виключено із досліджень;

- рівень ЕМП не виходив за встановлені межі;

- рівень шуму в приміщенні лабораторії зварювання в результаті проведених вимірювань не перевищив ГДР;

- концентрація чадного газу перевищує ГДК, тому саме цим дослідженням будуть присвячені наступні розділи роботи.

3. У процесі застосування методу дослідження СО було встановлено необхідність додаткових облаштувань у приладах вимірювання з метою

концентрування газу у просторі над зоною зварювання та визначення його концентрації, через його високу летючість.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [69].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ ТА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ ПРИ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННІ МЕТАЛІВ

3.1 Аналіз вентиляції при зварюванні на прикладі електродів із основним типом покриття

На теперішній час основним напрямом регулювання параметрів повітря при зварюванні залишається вентиляція, тому актуальним питанням є аналіз ефективності організації вентиляції на ділянці, де відбувається процес зварювання.

Одними з основних завдань вентиляції є:

- забезпечення подачі чистого повітря із зовні, без змін його складу і параметрів, безпосередньо в робочу зону;
- з погляду розміщення джерел шкідливих виділень у приміщенні, припливне повітря належить розподіляти в такий спосіб, аби шкідливі речовини якомога швидше покинули робочу зону і, рухаючись, попадали в отвори систем витяжної вентиляції [70].

На ділянках зварювання при проектуванні системи вентиляції обов'язково враховують ступінь очищення повітряних мас і безперебійність процесу вентиляції. Для цього окрім основної вентиляційної системи встановлюють аварійну вентиляцію.

За допомогою вентиляції відбувається:

- мінімізація концентрації шкідливих речовин, які виділяються під час зварювальних робіт (місцева вентиляція);
- забезпечуються мікрокліматичні показники згідно нормативних документів;
- вилучаються забруднення із приміщення;
- забезпечується приплив чистого від забруднень повітря.

Практика показує, що вентиляція (витяжні пристрої, аспіраційні горілки, захисні дихальні маски) в сукупності з комплексом заходів технологічного і організаційного характеру дозволяє знизити концентрацію шкідливих речовин до гранично допустимих концентрацій (ГДК) і сприяє значному оздоровленню умов праці робітників в зварювальних цехах. Процес зварювання, з точки зору скорочення викидів шкідливих речовин диму, в теперішній час ще є не досконалим [71].

Одним із сучасних напрямів зниження викидів є дослідження процесів зварювання нестаціонарною імпульсною дугою, які відрізняються тим, що виробляють менше викидів [72]. Але основним і найбільш ефективним засобом боротьби з забрудненням при процесі зварювання залишається вентиляція [73].

Один із найбільш важливих моментів, якому приділяється підвищена увага при організації вентиляції в цеху або на ділянці зварювання – спорудження якісних приладів для місцевого відведення всіх шкідливих речовин, що виділяються в процесі зварювання. Якісна витяжка для зварювального поста – це не просто турбота про здоров'я співробітника, але і зменшення шкоди для навколишнього середовища. Чим краще організована вентиляція зварювального столу і добре відгороджене місце зварювання – тим менше шкідливих речовин потраплять в атмосферу приміщення.

На практиці, місцеві відсмоктувачі здатні вловити і поглинути до 2/3 обсягу всіх отруйних речовин, що викидаються в повітря робочої зони для видалення решти, тобто 1/3 використовують припливно-витяжну систему вентиляції приміщення, де відбувається процес зварювання [74].

Вентиляція зварювального поста в обов'язковому порядку повинна бути обладнана потужними витяжними системами, з розрахунку розподілу потужності за такою схемою: 25 % спрямовані на верхній ярус виробничого цеху, 75 % - на нижній [74]. Устаткування робочих зварювальних постів локальною системою відведення ефективно лише в тому випадку, коли мова йде про стаціонарні столи.

Загальний фон у вентиляованих цехах, як правило, не перевищує рівня ГДК. Але в зоні дихання зварювальника, що виконує ручні операції, вміст шкідливих

компонентів зварювального аерозолю значно (у 7-10 разів) перевершує як фон, так і ГДК [75].

Для перевірки ефективності роботи витяжної вентиляції автором був проведений експеримент на ділянці зварювання, яка є ізольованим приміщенням площею 240 (15×16) м², висота приміщення – 6 м. У приміщенні встановлена система витяжної вентиляції. Дослідження спрямовані на визначення ефективності вентиляції в процесі зварювання, при використанні електродів з основним типом покриття, на утворення шкідливих речовин на робочому місці зварювальника та в приміщенні ділянки [76]. Дослідження проводились в наступних умовах:

- відносна вологість повітря 50-60 %;
- температура повітря ділянки 19,5 °С;
- атмосферний тиск 101325 Па;
- швидкість руху повітря в приміщенні становить не більше 0,1 м/с.

Найбільш простим і надійним методом визначення масової концентрації пилу є ваговий метод. Метод полягає у затримці пилу на фільтрі при протяжці через нього певного об'єму запиленого повітря (рис. 3.1).

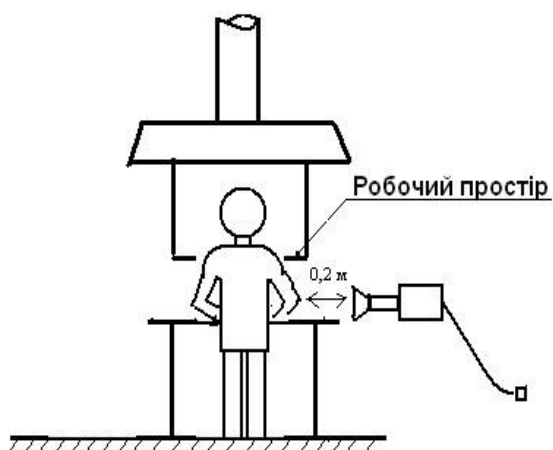


Рисунок 3.1 – Робоче місце зварювальника при проведенні експерименту

Перед початком зварювання було визначено місце розташування зварювальника, на одному із 5 спроектованих зварювальних постів (рис. 3.2)

Для прямого (вагового) [77] визначення концентрації пилю було використано наступне обладнання: зварювальний апарат, пиловідсмоктувач, алонж, аналітичні аерозольні фільтри АФА–ВП–20 зі ступенем затримки аерозольних часток не менше 95 %, а також терези лабораторні, секундомір.

На рис. 3.2 наведений план ділянки зварювання.

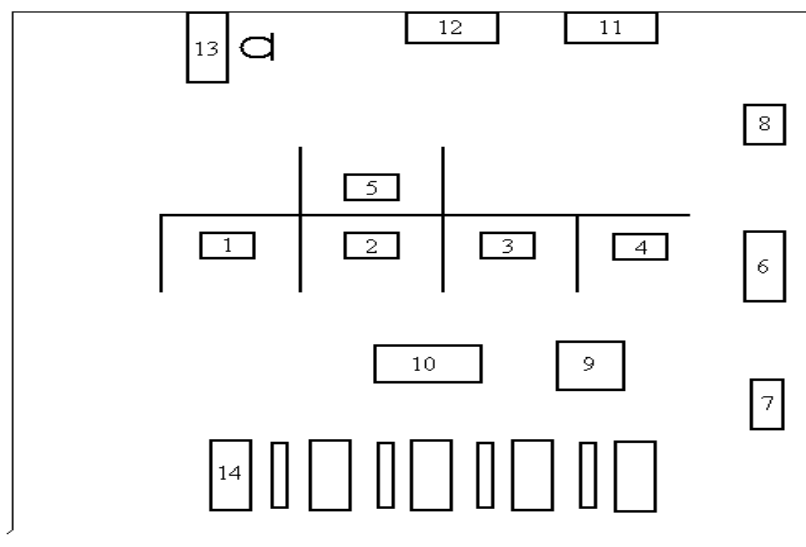


Рисунок 3.2 – План-схема ділянки зварювання: 1-5 – місця для електродугового зварювання; 6 – місце автоматичного зварювання; 7 – місце контактного зварювання; 8 – свердлильний верстат; 9 – фрезерний верстат; 10 – заточувальний верстат; 11 – шліфувальний верстат; 12 – шафа з інструментами; 13 – робоче місце з ПК; 14 – письмові столи (5 шт.).

В Україні вимірювання концентрації пилю регламентовано методичними рекомендаціями Міністерства охорони здоров'я України [70]. Згідно цих рекомендацій, концентрацію пилю вимірюють у зоні дихання або на відстані від неї не більш ніж 1-1,5 м і на висоті 1,8 м від підлоги. Якщо робоче місце не фіксоване, вимірювання концентрації пилю проводять у точках робочої зони, в яких працівник перебуває більш ніж 50 % часу зміни.

Елементами, що зварювались, були зразки металу із сталі ВСТЗСП, товщиною 8 мм. У вітчизняній і зарубіжній практиці ручного дугового зварювання

використовуються електроди з різними видами покриття: кислі, рутилові, целюлозні, основні (фтористо-кальцієві); а також змішані види покриття: рутилово-кислі (ільменітові), рутил-целюлозні, рутил-основні. На практиці одні з найбільш використовуваних електродів є електроди з основним видом покриття, тому зварювання виконували електродами УОНИ-13-45 із основним покриттям, діаметром електродів 3 мм. Сила електричного струму зварювання (I зварки) становила 200 А. Вибір режиму зварювання та характеристика джерела живлення електричним струмом, вказують на формування зварювального аерозолю та наявність його негативного впливу на працівників на ділянці. 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 зонта розміром $0,82 \times 0,40$ (м²), в якому 8 отворів у формі рівнобедрених 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 (рис. 3.3) швидкість руху повітря становить 0,05-0,1 м/с.



Рисунок 3.3 – Витяжна вентиляція (зонт) на робочому місці зварювальника

Відповідно до [78], 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 із робочої зони видаляються зі швидкістю, яка не відповідає нормативній.

На інших робочих місцях (4 стаціонарні робочі місця) витяжна вентиляція виглядає у формі зонти розміром 0,4 x 0,82 (м²) з 12 вирізами у формі рівнобедрених трикутників, розміром 0,035 x 0,2 x 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 (табл. 3.1) щодо дослідження концентрації чадного газу, можна сказати, що витяжна вентиляція недостатньо ефективна ($\text{ГДКр.з.} \leq 20 \text{ мг/м}^3$).

Таблиця 3.1 – Результати досліджень по СО з основними електродами

№ досліджень	Натуральні значення		Концентрація СО
	I, A	t, c	мг/м ³
1	200	300	98
2	100	300	86
3	200	60	67
4	100	60	50,1
5	150	180	106,2

Зростання концентрації чадного газу залежно від сили струму і тривалості зварювання для електродів з основним типом покриття представлено на рис. 3.4.

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

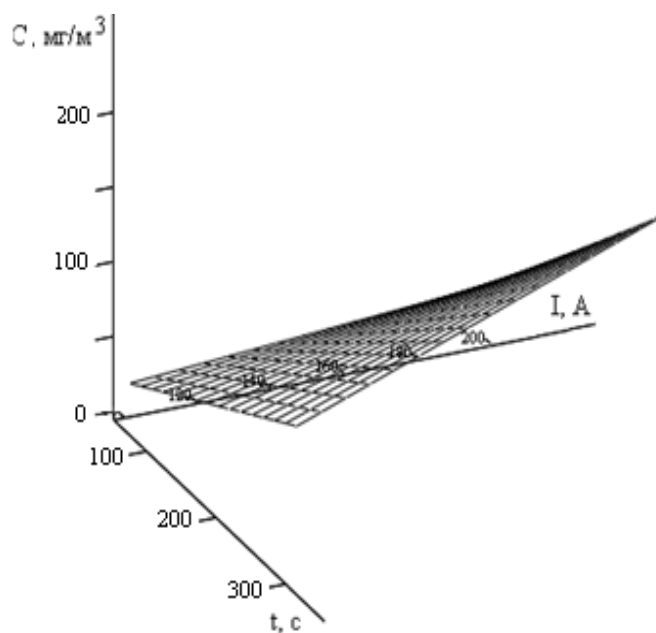


Рисунок 3.4 – Залежність концентрації чадного газу від величини струму I і тривалості зварювання t для електроду з основним типом покриття

Результати досліджень занесені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліджень концентрації зварювального аерозолю

№ Досліджень	Відстань, м	I , А	t , с	Концентрація зварювального аерозолю, мг/м^3
1 (зразок № 11)	0,2	200	180	2,0
2 (зразок № 17)	0,5	200	180	1,2
3 (зразок № 18)	1,0	200	180	0,5
4 (зразок № 31)	біля рота зварювальника	200	180	0,2

На рис. 3.5 показані зразки фільтрів з 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 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, 180 с, безпосередньо біля органів дихання зварювальника.

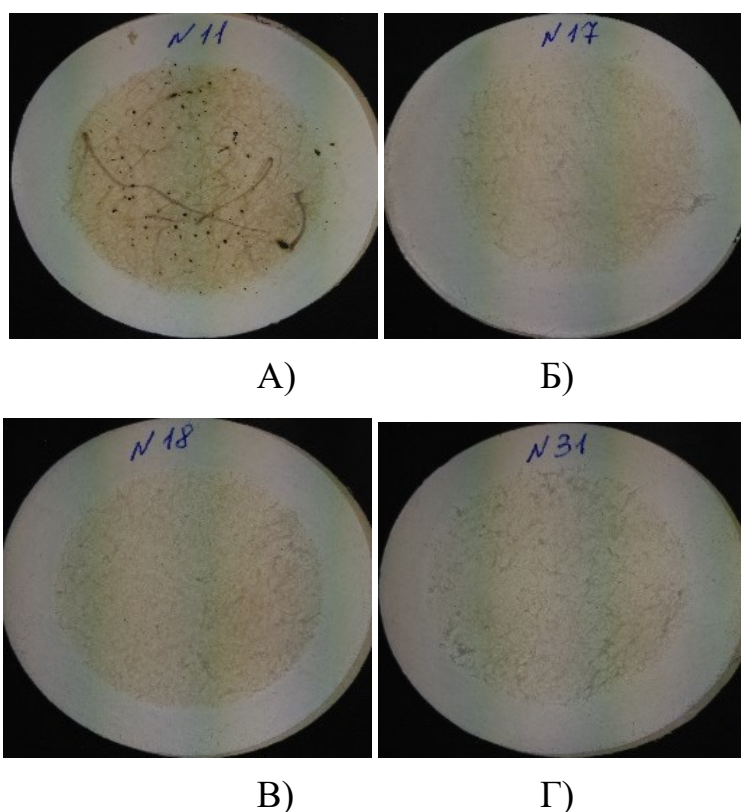


Рисунок 3.5 – Зразки, які отримано при зварюванні основними електродами з витяжною вентиляцією (струм 200 А, час 180 с): А) на відстані від місця зварювання 0,2 м, Б) 0,5 м, В) 1,0 м, Г) у зоні дихання зварювальника.

Згідно з експериментальними даними, наведеними в табл. 3.2, концентрація зварювального аерозолі зменшується при збільшенні відстані від джерела. Це

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

$$C(L) = a + L \cdot b + L^2 \cdot k, \quad (3.1)$$

де C – концентрація аерозолі, мг / м³;

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) [79]. Складемо таку систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 2,0 = a + 0,2b + 0,2^2k \\ 1,2 = a + 0,5b + 0,5^2k \\ 0,5 = a + 1,0b + 1,0^2k. \end{cases} \quad (3.2)$$

Рішення системи рівнянь (3.2) методом Гаусса дає наступні результати: $a=2,7$; $b=3,8$; $k=1,6$. Підставивши отримані значення в рівняння (3.1), отримаємо математичну модель:

$$C(L) = 2,7 - 3,8L + 1,6L^2, \quad (3.3)$$

за умови:

$$0,2 \leq L \leq 1. \quad (3.4)$$

Графік функції (3.3), побудований в середовищі Mathcad, наведено на рис. 3.6.

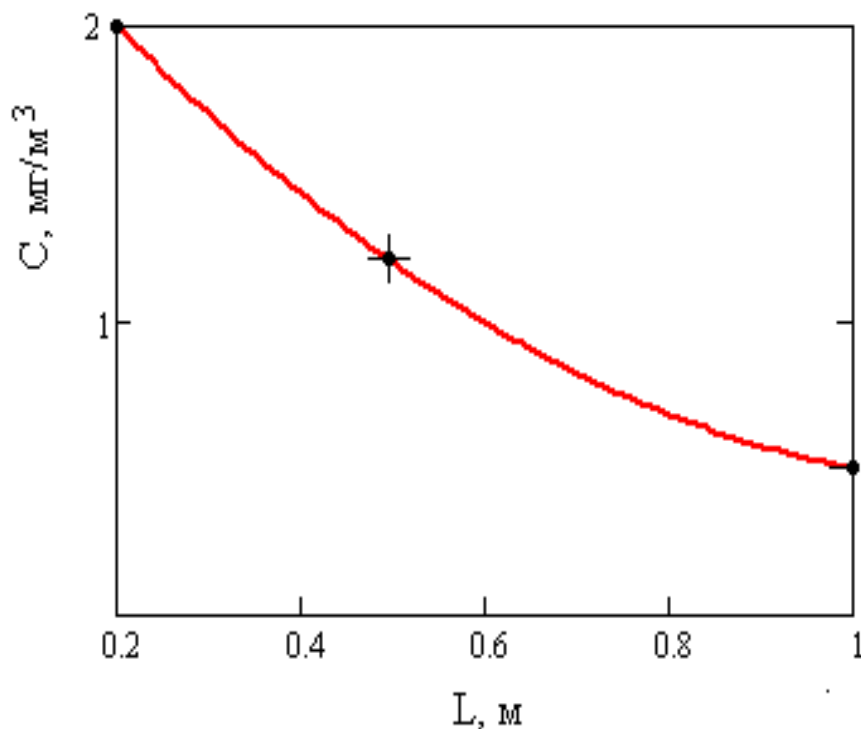


Рисунок 3.6 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від відстані до джерела

Отримана залежність являє собою криву, яка монотонно спадає і асимптотично прагне до нуля. Всі три точки, координати яких визначені експериментально, збігаються з побудованою кривою.

У першому наближенні адекватність отриманого результату можна пояснити наступним чином. Аерозольні частинки в процесі зварювання розсіюються в верхню півсферу над робочим столом. За умови того, що джерело і середовище ізотропні, поверхнева щільність частинок на умовній півсфері обернено пропорційна квадрату її радіуса. Цим пояснюється нелінійність кривої.

Подальше підвищення точності моделі повинно бути пов'язане зі збільшенням експериментальних даних. Доцільно використання різних інтерполяційних функцій і методів інтерполяції з подальшою оцінкою точності і вибором найкращого результату [79; 80].

3.2 Мінімізація небезпеки зварювальних процесів у локалізованих просторах та ризику отруєння чадним газом зварювальників

Система захисту людини від чадного газу в приміщенні зварювального цеху включає в себе засоби колективного та індивідуального захисту. До засобів колективного захисту відноситься загальна припливна вентиляція, місцева витяжна вентиляція, автоматичний газоаналізатор з сигналізацією (рис. 3.7). Засобами індивідуального захисту є фільтруючі протигази з гопкалітовими патронами, якими оснащені всі робочі місця (робочі зони зварювальних постів).

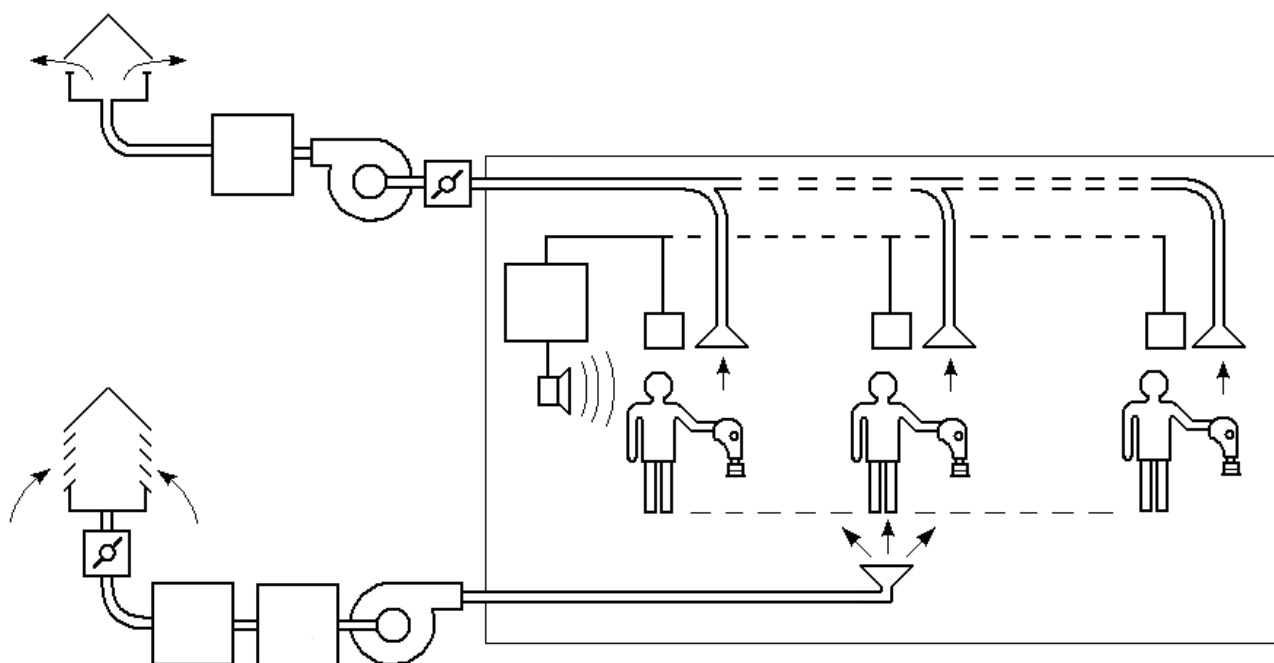


Рисунок 3.7 – Функціональна схема системи захисту людини від СО

Кожен елемент системи може знаходитися в двох станах: в справному (працездатний) і несправному (відмова). Відмова загальної припливної вентиляції та місцевої витяжної вентиляції може статися через засміченість повітропроводів зсередини (рис. 3.8), через снігові замети на даху будівлі (рис. 3.9), розгерметизації повітропроводів тощо.



а



б

Рисунок 3.8 – Засміченість витяжних повітропроводів



а



б

Рисунок 3.9 – Снігові замети пристроїв викиду повітря

У свою чергу, розгерметизація повітропроводів може статися через дефекти з'єднань (фланцевих, ніпельних, муфтових, фальцевих і зварних) (рис. 3.10).



а



б

Рисунок 3.10 – Приклади з'єднань повітропроводів:

а - фланцеве з'єднання; б - ніпельні з'єднання.

Іншою причиною розгерметизації може бути ослаблення підвіски повітроводів, (рис. 3.11).



а



б

Рисунок 3.11 – Приклади підвіски повітроводів: а – за допомогою траверса і шпильки; б – за допомогою L – подібного профілю і шпильки.

Підвіска повітропроводів може здійснюватися безпосередньо до перекриття, до ферми, тавру і іншим металевим конструкціям (рис. 3.12).



а



б

Рисунок 3.12 – Приклади кріплення повітропроводів до конструктивних елементів будівлі: а - до перекриття; б - до бічної стіни за допомогою кронштейна

Відмова протигазів також може бути обумовлена різними причинами. Як показала перевірка стану даних засобів на робочих місцях окремих підприємств, основні причини відмов викликані порушенням умов експлуатації (рис.3. 13).



Рисунок 3.13 – Приклади несправності протигаза:

а - розбите скло окуляра; б - пошкоджений клапан; в - порвана шолом-маска.

Відмови (непрацездатність) протигазів на робочих місцях найчастіше викликані низькою культурою виробництва і відсутністю належного контролю. При оснащенні робочих місць протигазами рідко враховуються індивідуальні антропометричні дані працівників. Невідповідність номера протигаза і антропометричних характеристик людини також рівнозначно відмові. Особливо часто це проявляється в умовах заміни людей на робочих місцях і при плинності кадрів.

Наведені приклади наочно свідчать про різноманітність конструктивних елементів і умов експлуатації елементів, що впливають на надійність системи. Це дозволяє перерахувати причини відмов системи в цілому і представити їх у вигляді дерева відмов з подальшим розрахунком і кількісною оцінкою ризику.

Стала очевидною необхідність проведення досліджень, спрямованих на визначення впливу умов експлуатації на інтенсивність відмов елементів.

Дерево відмов системи захисту людей від чадного газу показано на рис. 3.14.

Його склад і структура визначається функціональною схемою системи (рис. 3.14).

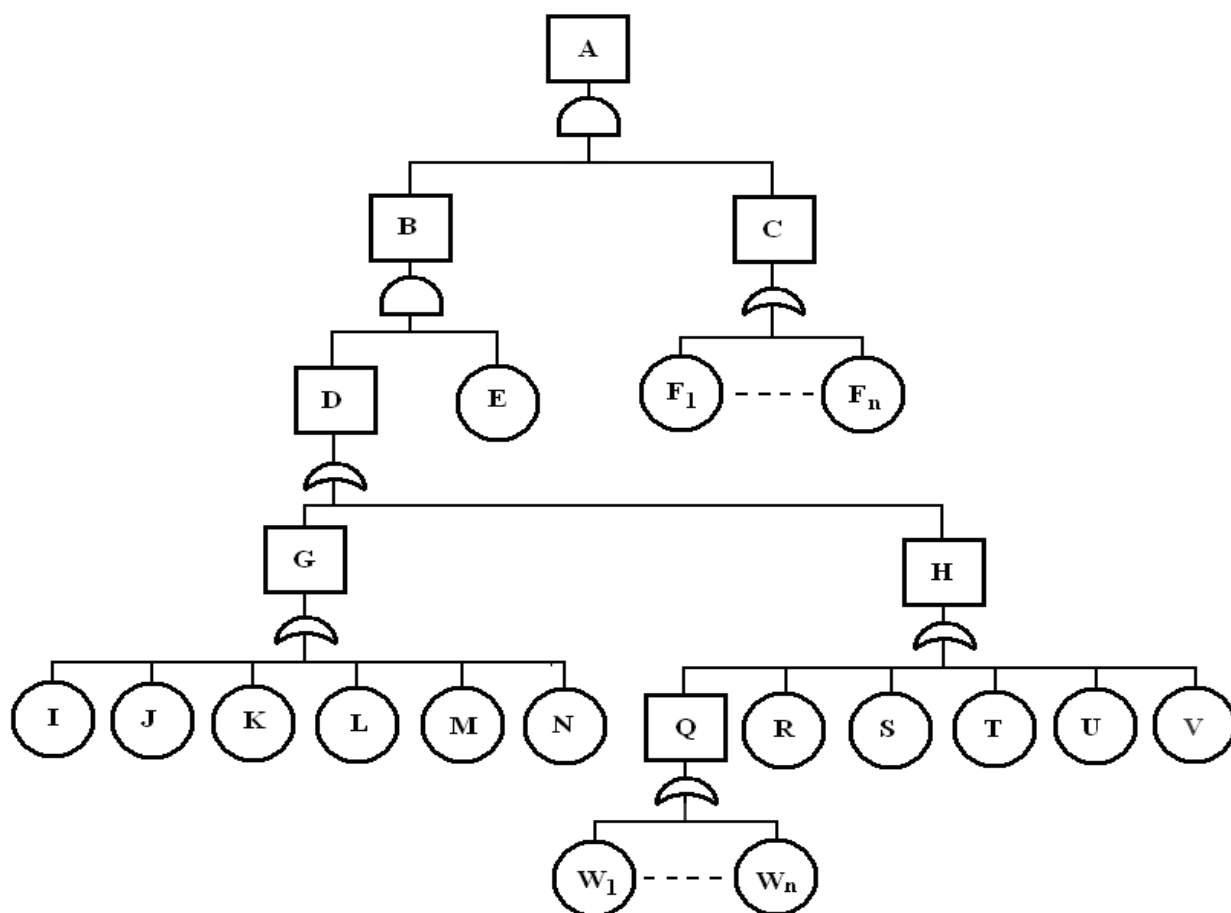


Рисунок 3.14 – Дерево відмов системи захисту людини від чадного газу:

A – відмова системи; B – відмова засобів колективного захисту; C – відмова засобів індивідуального захисту (хоча б одного протигаза); D – відмова системи вентиляції; E – відмова пристрою сигналізації; F – відмова протигаза на окремому робочому місці; n – кількість робочих місць в приміщенні; G – відмова загальної припливної вентиляції; H – відмова місцевої витяжної вентиляції; I – засмічено пристрій забору повітря; J – засмітився повітропровід припливної вентиляції; K – забита сітка припливної вентиляції; L – засмітився калорифер; M – відмова клапана припливної вентиляції; N – відмова вентилятора припливної вентиляції (з урахуванням відмови вимикача і проводів, які підключені); Q – засмітилася хоча б одна усмоктувальна панель; R – засмітився повітропровід витяжної вентиляції; S – відмова витяжного вентилятора (з урахуванням відмови вимикача і проводів, які підключені); T – забита сітка витяжної вентиляції; U – відмова клапана витяжної вентиляції; V – засмічено пристрій викиду повітря; W – засмітилася усмоктувальна панель на окремому робочому місці.

Імовірність відмови системи протягом року розраховується за допомогою формул:

$$P_A = P_B \cdot P_C, \quad (3.5)$$

$$P_B = P_D \cdot P_E, \quad (3.6)$$

$$P_C = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{Fi}), \quad (3.7)$$

$$P_D = 1 - (1 - P_G)(1 - P_H), \quad (3.8)$$

$$P_G = 1 - (1 - P_I)(1 - P_J)(1 - P_K)(1 - P_L)(1 - P_M)(1 - P_N), \quad (3.9)$$

$$P_H = 1 - (1 - P_Q)(1 - P_R)(1 - P_S)(1 - P_T)(1 - P_U)(1 - P_V), \quad (3.10)$$

$$P_Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{Wi}), \quad (3.11)$$

де $P_A - P_W$ – ймовірності подій А–W відповідно.

Як видно з виразів (3.5) – (3.11), ймовірність відмови системи являє собою функцію багатьох змінних. Очевидно, що вплив змінних на величину ризику є різноманітним. Доцільним є знаходження найбільш значущих змінних, тобто найбільш «слабких» елементів системи.

З математичної точки зору, визначення впливу окремих елементів на ризик являє собою задачу математичного аналізу.

Запропоновано характеризувати вплив окремих елементів на ризик за допомогою коефіцієнтів впливу відповідних подій. Коефіцієнти впливу являють собою приватні похідні і розраховуються за формулою:

$$K_x = \frac{dP_A}{dP_x}, \quad (3.12)$$

де x – подія з переліку А – W (рис. 3.14);

P_x – ймовірність події x .

Знаходження найбільш значущих змінних допоможе здійснити оптимальну заміну «слабких» ланок системи і тим самим знизити ризик. Для кожної «слабкої» ланки пропонується скласти додатковий перелік альтернативних елементів, поставивши їх в ранжованій послідовності в порядку спадання провідного показника. В якості провідного показника пропонується використовувати наступні варіанти: інтенсивність відмов, співвідношення «інтенсивності відмов / вартість», та ін. При невеликій кількості альтернативних елементів заміна може здійснюватися відносно просто без додаткових оптимізаційних розрахунків.

Імовірність події x дорівнює:

$$P_x(t) = 1 - e^{-t/\lambda_x}, \quad (3.13)$$

де t – час;

λ_x – інтенсивність (1/год) подій x за умови, що дана величина залишається постійною в заданих умовах експлуатації.

У табл. 3.3 наведені чисельні значення інтенсивностей подій $A - W$ [81], відповідні значення коефіцієнтів впливу і значення ймовірності відмови системи. Термін експлуатації системи становить $4,8 \cdot 10^3$ год (1 рік при двозмінній роботі згідно паспортних даних), кількість робочих місць – 5.

На рис. 3.15 показана діаграма значень ймовірності окремих незалежних подій $E-W$, а на рис. 3.16 – діаграма значень коефіцієнту впливу незалежних подій $E-W$.

Кількісний аналіз даних табл. 3.3 і рис. 3.16 свідчить про те, що найбільш важливими є події E , F і W . Про це свідчать значення коефіцієнта впливу, які перевищують відповідні значення при інших подіях в кілька разів.

Завдяки цьому були виділені найбільш значущі елементи системи: пристрій сигналізації, протигази і усмоктувальні панелі.

Порівняння форм діаграм на рис. 3.15 і рис. 3.16 свідчить про відсутність між ними зовнішньої схожості.

Так, наприклад, на рис. 3.15 ймовірності подій E і W не виділяються на тлі інших подій. Тому ймовірності подій E – W, а також значення їх інтенсивності не можуть служити безпосередньою підказкою в пошуку і заміні «слабких ланок» системи. Тим самим підтверджується доцільність використання з цією метою коефіцієнтів впливу.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані для розрахунку ймовірності відмови системи

Позначення події x	Інтенсивність події λ_x , 1/год.	Коефіцієнти впливу k_x	Ймовірність події $P_x(t)$	Ймовірність відмови системи захисту
E	$8,2 \cdot 10^{-7}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
F	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	
I	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	
J	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	
K	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	
L	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	
M	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	
N	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	
R	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	
S	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	
T	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	
U	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	
V	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	
W	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	

Для підвищення безпеки системи пропонується:

– попередньо знайти альтернативну заміну виділених елементів (умов експлуатації);

- скласти можливі варіанти системи з числа виділених і альтернативних елементів;
- вибрати найбільш оптимальний варіант.

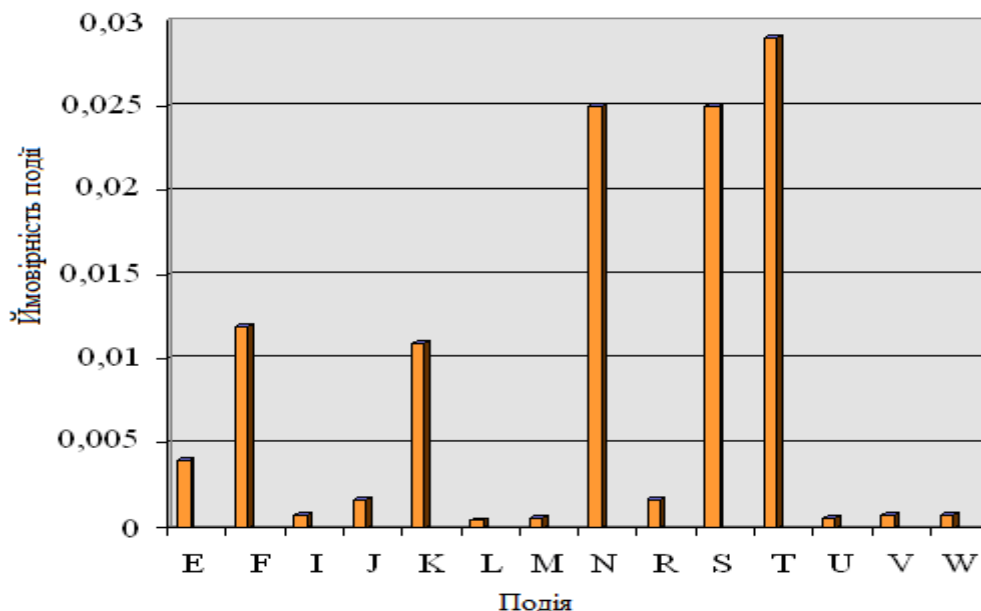


Рисунок 3.15 – Діаграма значень ймовірності незалежних подій E-W

На рис. 3.16 показана діаграма значень коефіцієнта впливу окремих незалежних подій E-W на ймовірність відмови системи.

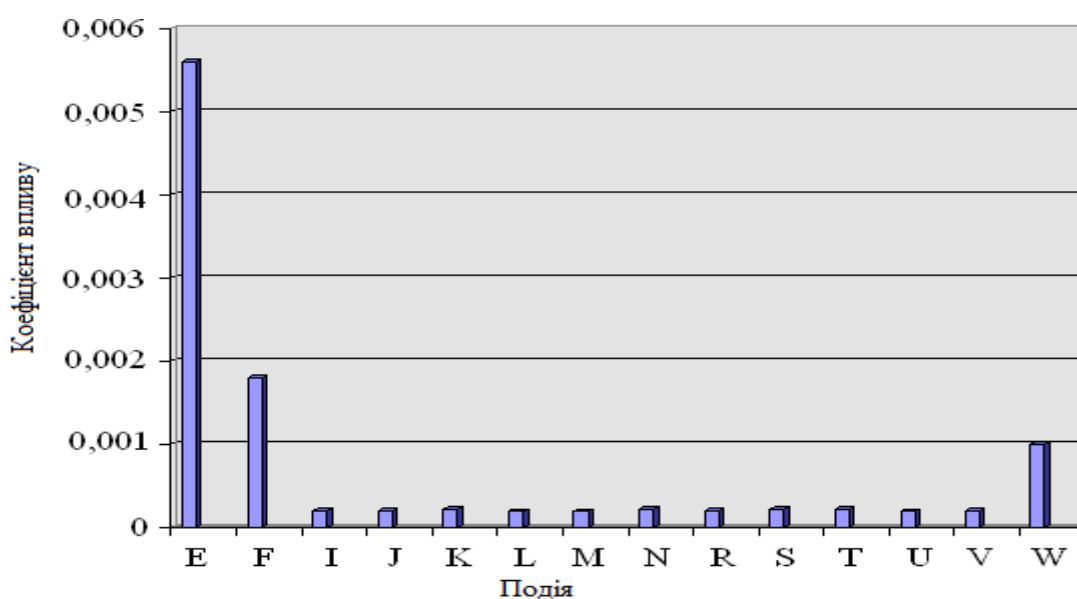


Рисунок 3.16 – Діаграма значень коефіцієнту впливу незалежних подій E-W

У табл. 3.4 наведені характеристики подій (E, F, W) для трьох виділених елементів і відповідні характеристики (E^* , F^* , W^*) для альтернативних елементів. Основні елементи відрізняються від альтернативних елементів інтенсивністю відмови і економічними витратами.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані для розрахунку ймовірності відмови системи при виборі окремого елемента

Подія	Інтенсивність події, 1/год	Витрати, що припадають на відповідний елемент протягом одного року експлуатації, у.од.
E	$8,2 \cdot 10^{-7}$	180
F	$2,5 \cdot 10^{-6}$	50
W	$1,6 \cdot 10^{-7}$	35
E^*	$1,2 \cdot 10^{-6}$	90
F^*	$1,5 \cdot 10^{-6}$	80
W^*	$2,8 \cdot 10^{-7}$	15

Витрати враховують закупівельну вартість елемента, його установку і обслуговування, що припадають на один рік експлуатації.

Подія E^* означає відмову альтернативного пристрою сигналізації.

Подія F^* означає відмову протигаза в альтернативних умовах зберігання і контролю на окремому робочому місці.

Подія W^* також означає відмову всмоктуючої панелі на окремому робочому місці в альтернативних умовах експлуатації.

У табл. 3.5 наведені різні комбінації подій і відповідні характеристики системи.

У четвертому стовпці приведені сумарні витрати, що припадають на виділені елементи протягом одного року експлуатації.

Таблиця 3.5 – Характеристики системи

Номер варіанта	Комбінація подій, відповідна обраним елементам	Ймовірність відмови системи	Сумарні витрати, які припадають на вибрані елементи з урахуванням кількості робочих місць (5), у.од.
1	E; F; W	$1,2 \cdot 10^{-5}$	605
2	E*; F; W	$3,2 \cdot 10^{-5}$	515
3	E; F*; W	$1,1 \cdot 10^{-5}$	755
4	E; F; W*	$2,3 \cdot 10^{-5}$	505
5	E*; F*; W	$2,0 \cdot 10^{-5}$	665
6	E*; F; W*	$3,3 \cdot 10^{-5}$	415
7	E; F*; W*	$1,4 \cdot 10^{-5}$	655
8	E*; F*; W*	$2,0 \cdot 10^{-5}$	565

На рис. 3.17 показана діаграма ймовірності відмови системи в залежності від номера варіанта, див. табл. 3.

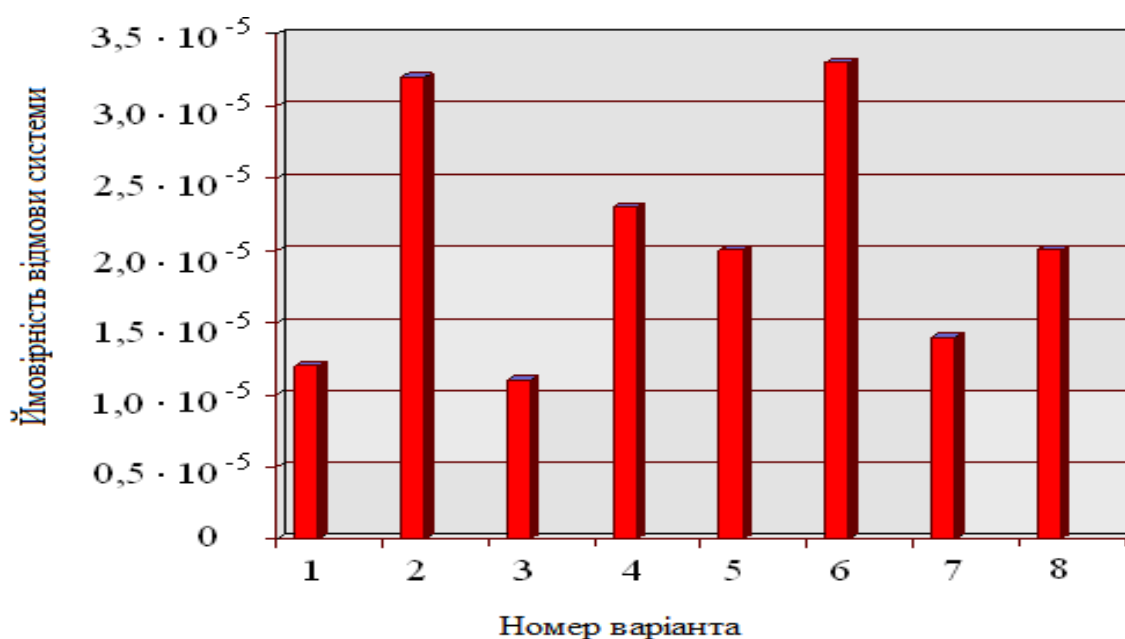


Рисунок 3.17 – Діаграма значень ймовірності відмови системи в залежності від номера варіанта

На рис. 3.18 показана діаграма сумарних витрат, які припадають на виділені елементи в залежності від номера варіанта.

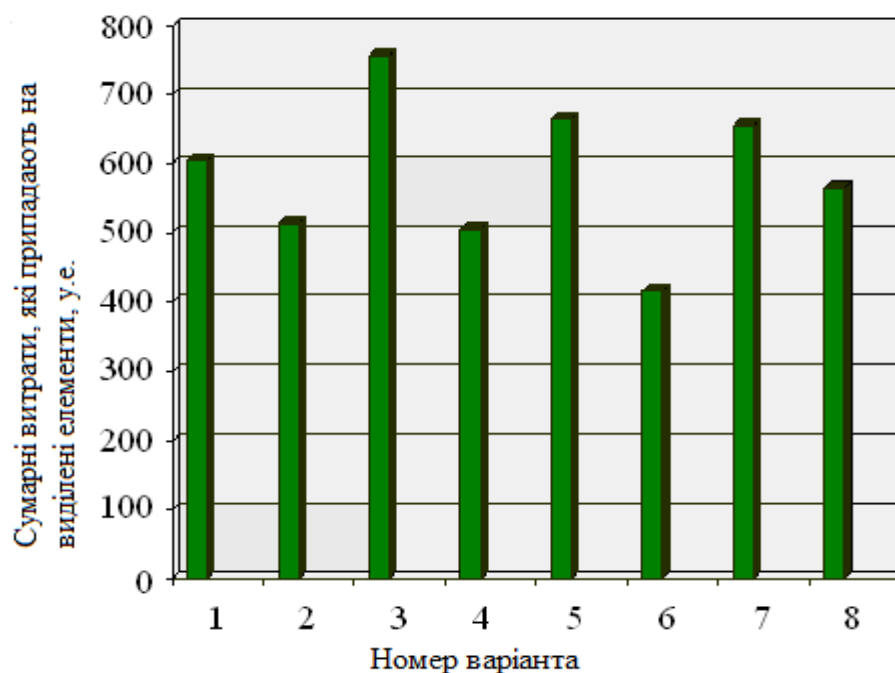


Рисунок 3.18 – Діаграма сумарних витрат, які припадають на виділені елементи в залежності від номера варіанта

Залежно від обраної стратегії кожний розглянутий показник може служити як цільовою функцією, так і умовою, яка обмежує. Вибір результату з найменшим значенням цільової функції означає вибір оптимального складу елементів і умов їх експлуатації. Тим самим підтверджується можливість управління ризиком шляхом його зниження або обмеження.

У виробничому приміщенні розташовано n робочих місць, які мають однакове зварювальне обладнання. Розглядається ситуація, коли одночасно задіяні всі робочі місця. Зварювальне обладнання на робочих місцях працює в однаковому та незмінному режимі.

Система захисту людей від чадного газу включає загальнообмінну припливну вентиляцію 1, загальнообмінну витяжну вентиляцію 2 та місцеву витяжну вентиляцію 3 на кожному робочому місці (рис. 3.19).

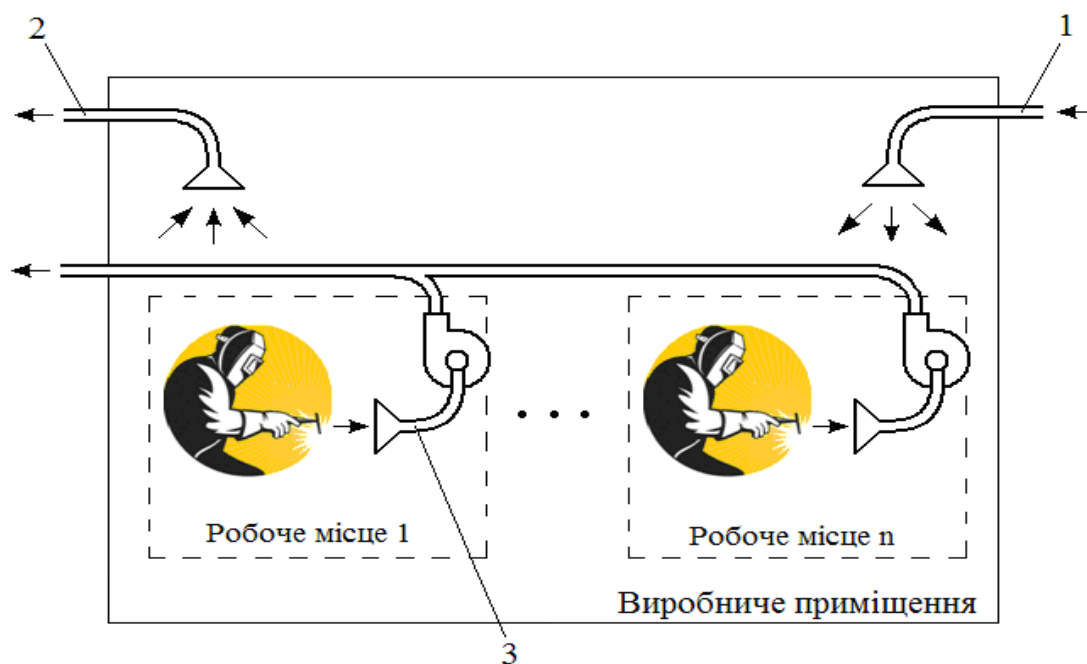


Рисунок 3.19 – Функціональна схема системи захисту працівників зварювальної ділянки від чадного газу (шоломи без сигналізатора газу)

Плановий термін експлуатації системи захисту складає $4,8 \cdot 10^3$ год (1 рік за умови двозмінної роботи) згідно паспортних даних. Ймовірність відмови системи захисту від чадного газу залежить від показників надійності окремих елементів (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Показники надійності елементів системи захисту

Події x	Інтенсивність подій (1/год)	Кількість робочих місць (n)
Відмови загальнообмінної припливної вентиляції	$4,2 \cdot 10^{-6}$	5
Відмови загальнообмінної витяжної вентиляції	$2,8 \cdot 10^{-6}$	
Відмови місцевої витяжної вентиляції на окремому робочому місці	$2,2 \cdot 10^{-6}$	

На рис. 3.20 представлено дерево відмов системи захисту людини від чадного газу при використанні шоломів без сигналізатора газу.

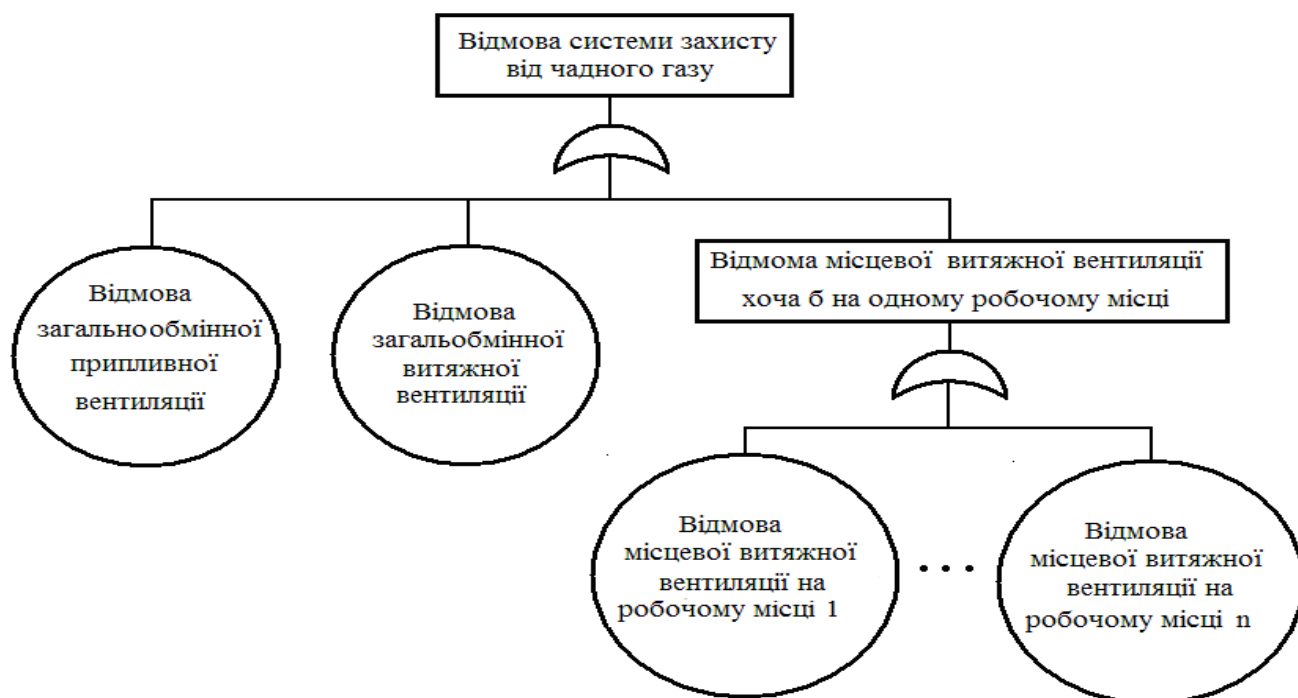


Рисунок 3.20 – Дерево відмов системи захисту людини від чадного газу (шоломи без сигналізатора газу)

Ймовірність відмови системи захисту розраховується на підставі дерева відмов (рис.3.20) за формулою (3.14):

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3), \quad (3.14)$$

де P_1 – ймовірність відмови загальнообмінної припливної вентиляції;

P_2 – ймовірність відмови загальнообмінної витяжної вентиляції;

P_3 – ймовірність відмови місцевої витяжної вентиляції хоча б на одному робочому місці.

Величина P_3 розраховується за формулою (3.15):

$$P_3 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_4), \quad (3.15)$$

де P_4 – ймовірність відмови місцевої витяжної вентиляції на окремому робочому місці $(1 - n)$.

Ймовірності P_1 , P_2 і P_4 розраховуються за допомогою формули (3.16):

$$P_x(t) = 1 - e^{-t \cdot \lambda_x}, \quad (3.16)$$

де x – умовне позначення подій;

t – тривалість експлуатації елементу;

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

Підставляючи певні чисельні значення у формули (3.16) та (3.14), відповідно, отримаємо: $P_1 = 0,0199$; $P_2 = 0,0180$; $P_4 = 0,0152$; $P_3 = 0,0739$.

Ймовірність відмови системи захисту (рис. 3.20) дорівнює:

$$P = 1 - (1 - 0,0199)(1 - 0,0180)(1 - 0,0739) = 0,1086 \approx 0,1.$$

Ризик отруєння чадним газом значно перевищує допустиму величину (10^{-6}). Необхідна розробка заходів та засобів захисту від чадного газу.

3.3 Побудова математичних моделей залежності концентрації чадного газу та зварювального аерозолі в повітрі робочих зон при використанні різних типів електродів

3.3.1 Оцінювання характеру утворення та розповсюдження монооксиду вуглецю зварювального аерозолі

У лабораторії, де виконувались дослідження, розташовано 5 робочих місць для ручного електродугового зварювання. Вимірювання проводилось на одному робочому місці. Виконували вимір 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.

Коли розраховується утворення газу у будь-якому процесі, то для розрахунків небезпеки впливу завжди приймається варіант, що всі робочі місця працюють, тобто максимальне навантаження.

Експозиція напрацювання газу обиралась по спрацюванню сигналу ПОРОГ–1 (20 мг/м^3), ПОРОГ–2 (50 мг/м^3) та ПОРОГ–3 (100 мг/м^3) газоаналізатора.

Враховуючи значну складність визначення СО у відкритому приміщенні приладами типу ДОЗОР, через високу його летючість, було запропоновано використовувати додатково куполоподібний навіс (внутрішній об'єм 1 м^3) над зоною зварювання. 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. Результати досліджень наведено у табл. 3.7–3.9.

З наведених у табл. 3.7–3.9 даних видно, що газ швидко концентрується у замкнутому просторі, і далі зникає, розчинюючись у повітрі робочої зони. Під зонтом витяжної вентиляції газ СО, хоч і повільно, але відразу зменшує свою концентрацію, виділяючись через систему вентиляції, де є вихід у напрямку зовні приміщення.

Таблиця 3.7 – Концентрація СО в зоні зварювання в замкнутому об'ємі при ручному дуговому зварюванні

Гази	Напрацювання газу (процес зварювання) у трьох експериментах, мг/м³				Похибка вимірів, мг/м³			
	через 10 с							
	1	2	3	Середнє значення	1	2	3	Середнє значення
СО	127	124	126	125,7	1,3	1,7	0,3	1,1

Таблиця 3.8 – Зменшення концентрації СО в зоні зварювання в замкнутому об'ємі при ручному дуговому зварюванні

Концентрація газу у робочій зоні через t, с після завершення процесу зварювання, мг/м ³															
20 с				30 с				40 с				50 с			
1	2	3	Ср	1	2	3	Ср	1	2	3	Ср	1	2	3	Ср
183	190	185	186	41	48	45	44,6	17	14	16	15,7	11	13	13	12,3

Таблиця 3.9 – Концентрація СО в зоні зварювання під витяжним зонтом (вентиляція штучна не включена) при ручному дуговому зварюванні

Концентрація, мг/м ³	Напрацювання газу (процес зварювання) у трьох експериментах (середні показники), мг/м ³			Залишки газу після завершення процесу зварювання у трьох експериментах (середні показники), мг/м ³		
	10 с	20 с	30 с	10 с	20 с	30 с
СО	6,2	14,4	14,7	15,0	5,5	3,2

Для оцінки ризику отруєння чадним газом зварювальників використаємо метод Файн-Кінні [79]:

$$R = P \cdot E \cdot D, \quad (3.17)$$

де P – ймовірність небезпек (табл.3.7 [82]);

E – серйозність наслідків (табл. 3.8 [82]);

D – ймовірність пошкоджень (табл. 3.9 [82]).

P – один раз на годину – 6. E – серйозність наслідків може бути визначена за двома варіантами: перший – як отруєння (травма) із втратою працездатності на 1 день, відповідно – 1; смертельний випадок – 50. Ймовірність отруєння D (пошкоджень), як можливе при збігу обставин (не працює вентиляція) – 1. Згідно

виразу (3.17), ризик буде визначатись за двома варіантами по E . У першому варіанті $R=6$ та згідно [82] професійний ризик невеликий. У другому варіанті $R=300$, що означає високий рівень ризику та необхідність вживання негайних дій.

3.3.2 Математична модель газової складової зварювального аерозолі (ГСЗА) щодо монооксиду вуглецю

Вміст чадного газу в повітрі робочих зон виробничого приміщення визначається двома чинниками: виділенням і видаленням. Якщо видалення відбувається загально-обмінною вентиляцією, яка передбачає повне перемішування повітря в приміщенні, швидкість зміни вмісту речовини в повітрі розраховується за формулою:

$$\frac{dm}{dt} = J - K \cdot m, \quad (3.18)$$

де m – кількість шкідливої речовини в повітрі приміщення у момент часу t , год;

J – інтенсивність виділення, мг/год;

K – кратність повітрообміну, 1/год;

$$K = \frac{L}{V}, \quad (3.19)$$

де L – продуктивність вентиляційної системи, м³/год;

V – об'єм приміщення, м³.

Загальним рішенням диференціального рівняння (3.18) є вираз [83]:

$$m = m_0 \exp(K(t_0 - t)) + \frac{J}{K} [1 - \exp(K(t_0 - t))], \quad (3.20)$$

де m_0 – початкова кількість (г) шкідливої речовини в повітрі приміщення у момент часу t (год);

t_0 – початковий момент часу.

Для розрахунку концентрації необхідно ліву і праву частини рівняння (3.18) розділити на V . Поділивши масу речовини m , яка знаходиться в повітрі приміщення, на об'єм приміщення V , отримаємо концентрацію речовини C . Це ствердження відноситься як до лівої, так і до правої частини рівняння (3.18).

Поділивши ліву та праву частини рівняння (3.18) на V , отримаємо відповідний вираз для концентрації шкідливої речовини C :

$$\frac{dC}{dt} = \frac{J}{V} - \frac{L}{V} C. \quad (3.21)$$

Коли в приміщенні одночасно виділяється шкідлива речовина та відбувається повітряний обмін, концентрація шкідливої речовини в повітрі робочих зон зростає за експоненціальним законом (рис. 3.21, крива 1).

Графіки представляють собою чисельне рішення рівняння (3.21) в середовищі Маткад. Крива 1 являє собою рішення рівняння (3.21) і відображує зміну концентрації шкідливої речовини в повітрі робочих зон за наявності джерела шкідливої речовини та повітрообміну; крива 2 являє собою рішення рівняння (3.21) за відсутності повітрообміну.

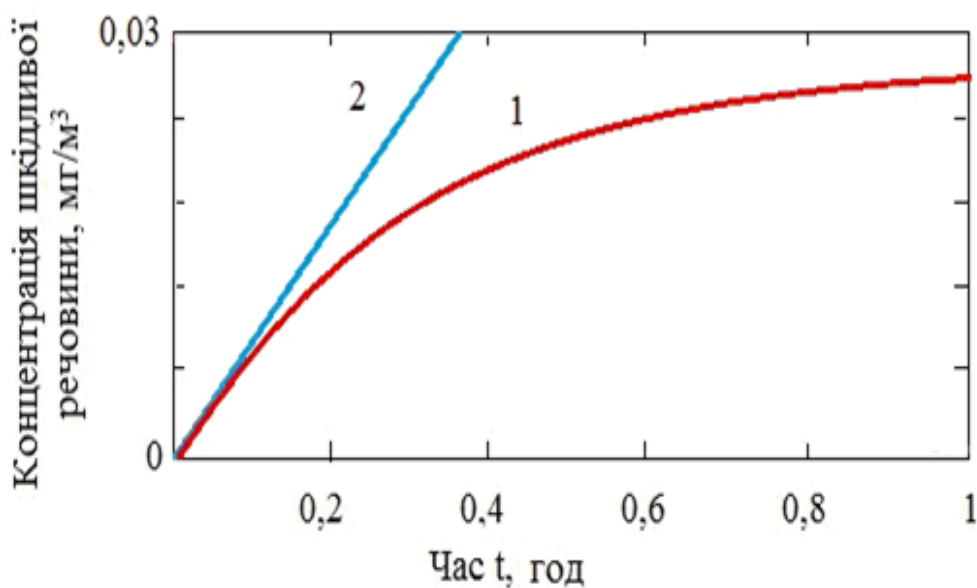


Рисунок 3.21 – Зростання концентрації чадного газу в повітрі приміщення
(Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L=350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=10 \text{ мг/год}$)

При $J=0$ виділення речовини не відбувається, а її зменшення у повітрі робочих зон підкоряється експоненційному закону (рис. 3.22).

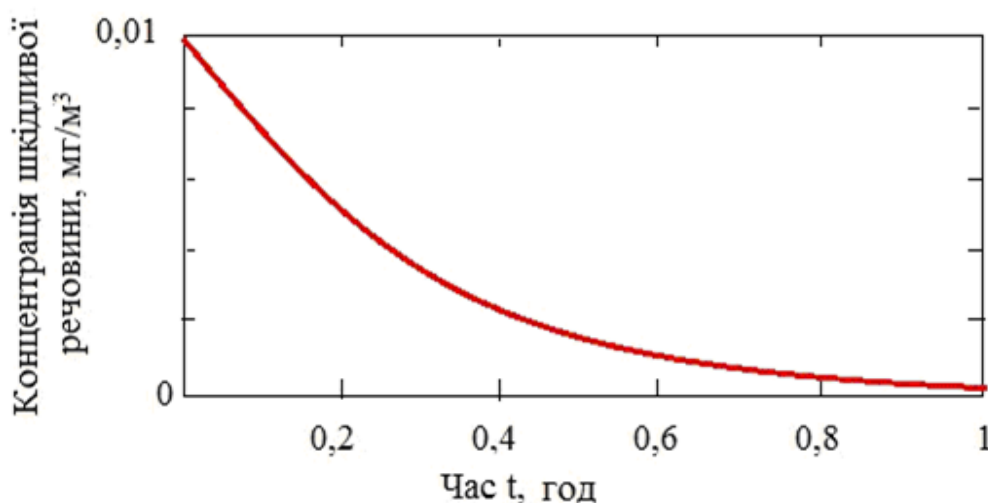


Рисунок 3.22 – Зменшення чадного газу в повітрі приміщення
(Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L=350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=0 \text{ мг/год}$)

Рівняння (3.20) описує динаміку (швидкість зміни) маси речовини в повітрі при наявності джерела виділення та загальнообмінної вентиляції. Рівняння (3.22) описує окремий випадок, коли провітрюється загазоване приміщення, і відповідає динаміці концентрації речовини.

$$C = C_0 \exp(K(t_0 - t)). \quad (3.22)$$

Важливою є кінетична характеристика процесу змінення концентрації речовини, яка пов'язана зі швидкістю процесу насичення. Спостерігається при $K=0$. Проста підставка цього значення у вираз (3.20) дасть невизначеність типу «0/0». Тому для знаходження аналітичного рішення необхідно знайти межу функції при $K \rightarrow 0$, використовуючи правило Лопіталя:

$$m = \lim_{K \rightarrow 0} (m_0 \exp(K(t_0 - t)) + \frac{J}{K} [1 - \exp(K(t_0 - t))]) = m_0 + Jt. \quad (3.23)$$

Переходячи від маси до концентрації речовини в повітрі, отримаємо кінетичну характеристику процесу (рис. 3.21, крива 2).

$$C = C_0 + \frac{J}{V} t. \quad (3.24)$$

Часто в практичних завданнях необхідно враховувати зміну режиму роботи (включення або виключення) джерела забруднення повітря або вентиляції. З цією метою пропонується використовувати математичну функцію $\text{sign}(t)$ в якості співмножника при відповідних доданках в рівняннях (3.18) і (3.21). Її значення дорівнює 0, якщо t дорівнює 0. Якщо t більше 0, вона дорівнює 1. В іншому випадку $\text{sign}(t)$ дорівнює -1 [84]. Наприклад, при виключенні або відмові вентиляційної системи рівняння (3.22) запишеться наступним чином (рис. 3.23):

$$\frac{dC}{dt} = \frac{J}{V} - \frac{L \cdot C \cdot v(t)}{V}, \quad (3.25)$$

де $v(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (працездатність) вентиляційної системи (рис. 3.23):

$$v(t) = \frac{\text{sign}(0,6-t)+1}{2}. \quad (3.26)$$

Рівняння (3.26) являє собою окремий випадок працездатності вентиляційної системи.

Значення «0,6» в даному випадку визначає момент її виключення (відмови) протягом 1 години.

Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення з урахуванням працездатності системи вентиляції зображена на рис. 3.23.

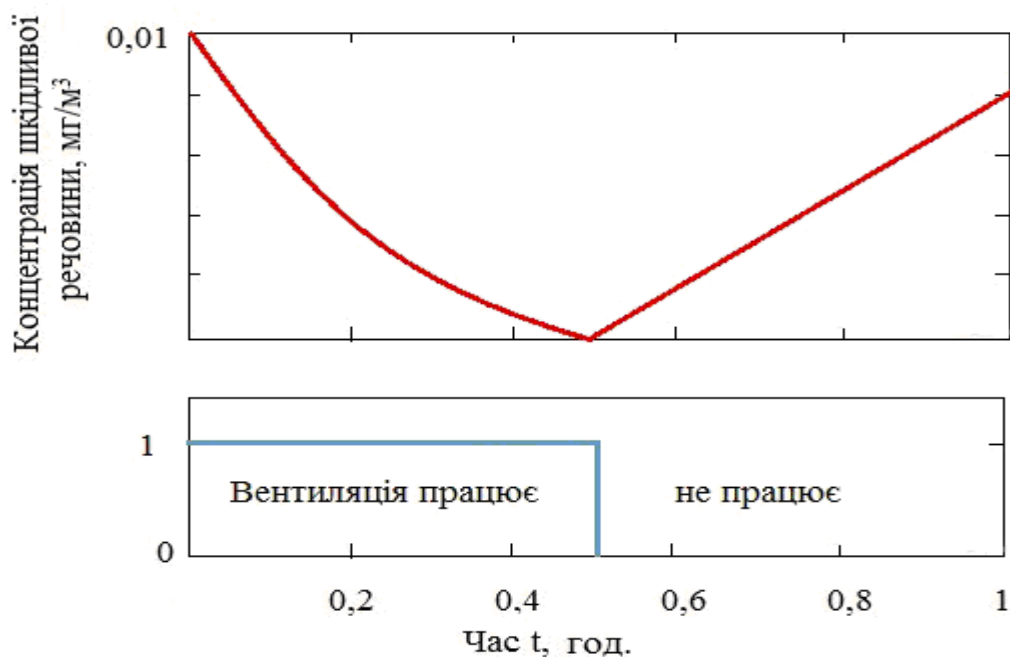


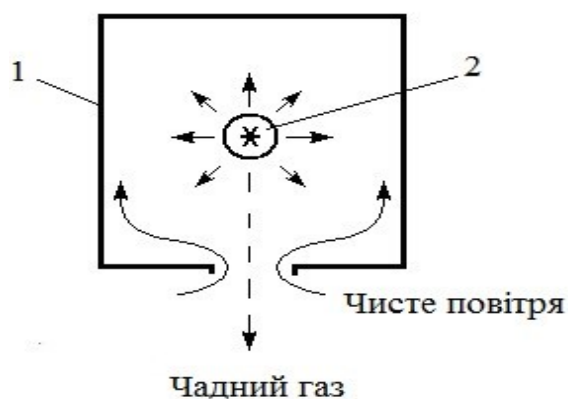
Рисунок 3.23 – Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення з урахуванням працездатності системи вентиляції
(Mathcad; $V=100 \text{ м}^3$; $L = 350 \text{ м}^3/\text{год}$; $J=1 \text{ мг/год}$)

Дані числові значення являють собою окремий випадок. Вони застосовані, так як відповідають поширеним (характерним) умовам роботи і демонструють працездатність моделі в цілому. В ході експериментальних досліджень встановили залежність концентрації чадного газу від часу роботи зварювального апарату в обмеженому просторі (рис. 3.24) і під витяжним зонтом (рис. 3.25).

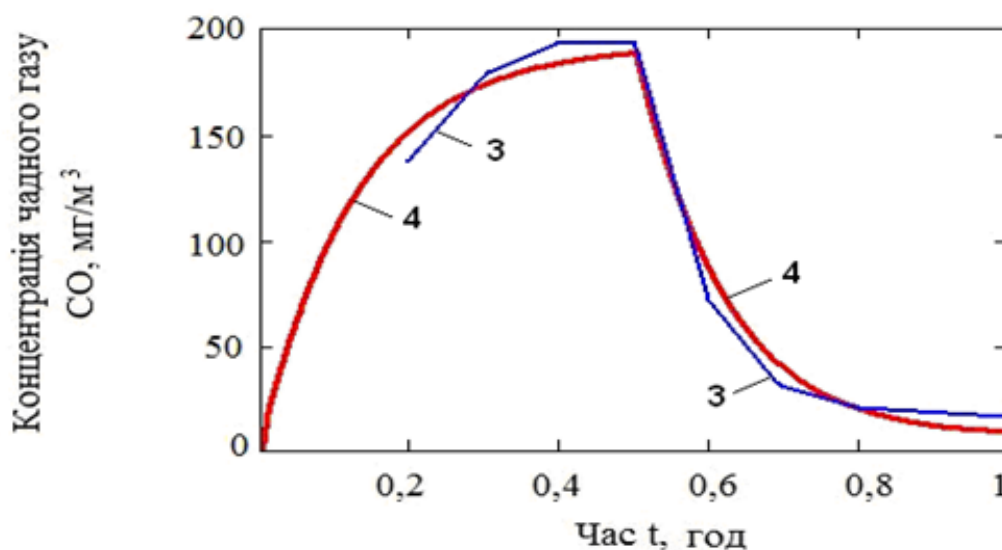
В експерименті, представленому на рис. 3.24, змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон (кабін, колодязів, шахт тощо). Обмін повітря (L) тут здійснюється через вентиляційний отвір. З метою отримання математичної моделі загазованості повітря робочої зони чадним газом була використана прямо пропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення газу CO :

$$L = J \cdot 0,0052. \quad (3.27)$$

Коефіцієнт пропорційності 0,0052 отриманий при обробці експериментальних даних і відповідає окремому випадку.



а



б

Рисунок 3.24 – Динаміка залежності концентрації чадного газу від часу в квазіоднорідному локальному об'ємі ($J = 4,5$; $V = 0,003$): а – джерело CO в локальному об'ємі (1 – обмежений об'єм; 2 – джерело CO); б – динаміка залежності концентрації чадного газу від часу в локальному об'ємі (3 – експериментальні дані; 4 – математична модель).

При зміні обсягу і площі вентиляційного отвору його значення також зміниться. Важливим є не саме значення, а можливість використання лінійної моделі. Ламана лінія 3 є середньостатистичним результатом експериментальних вимірювань [85, 86], відображає зміну концентрації чадного газу в залежності від

часу в побудованій математичній моделі, отриману методом найменших квадратів [87]. В даному експерименті змодельована ситуація в замкнутому просторі обмежених робочих зон (кабін, колодязів, шахт тощо).

Аналогічно була отримана математична модель загазованості повітря робочої зони на межі зовнішнього контуру витяжного зонта (рис. 3.25).

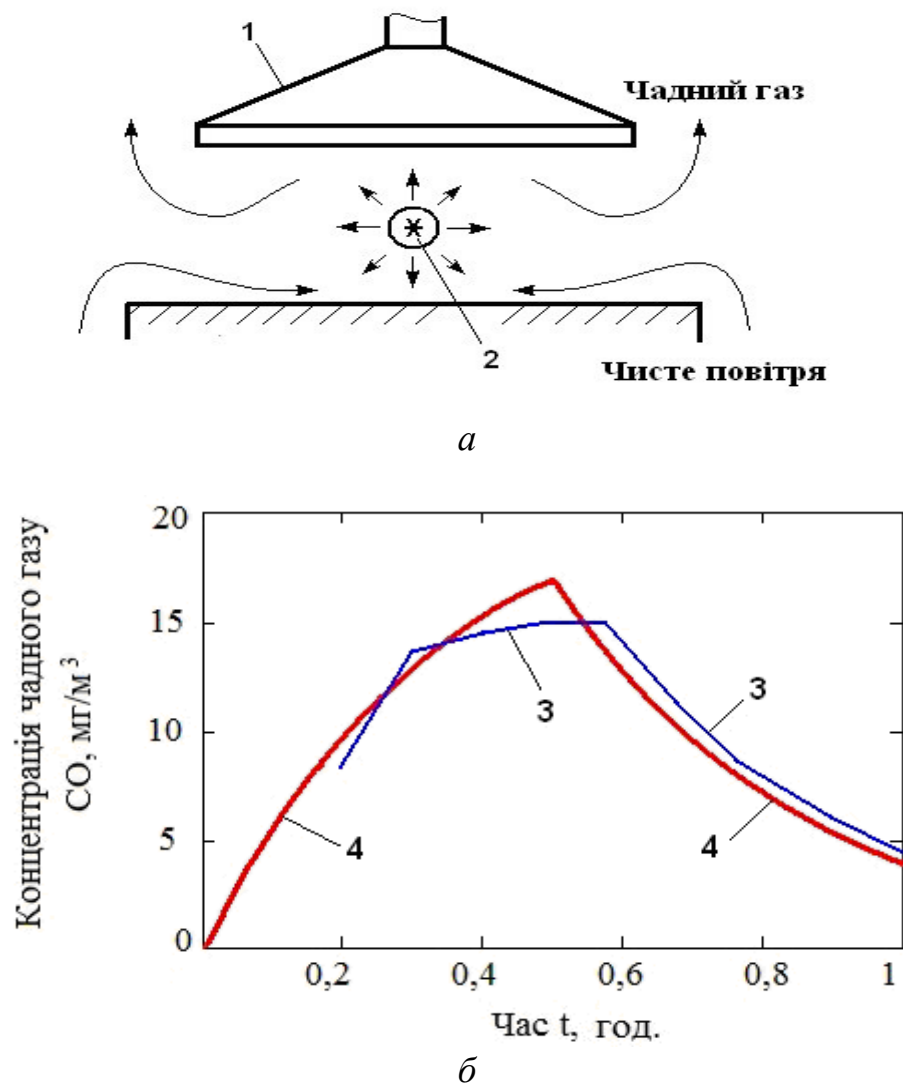


Рисунок 3.25 – Динаміка концентрації чадного газу під витяжним зонтом при відмові вентиляції ($J=4,5$; $V=0,07$): а – джерело CO під витяжним зонтом (1 – витяжний зонт; 2 – джерело CO); б – динаміка концентрації чадного газу під витяжним зонтом (3 – експериментальні дані; 4 – результати моделювання).

Тут також була використана прямо пропорційна залежність припливу свіжого повітря від інтенсивності виділення чадного газу у вигляді (3.27).

3.3.3 Застосування математичної 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 з квазіоднородної 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 з точки зору забезпечення безпеки виробничих процесів з 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 в приміщенні є загальна припливна вентиляція. Для розрахунку вмісту чадного газу в повітрі робочих зон при відмові вентиляційної системи авторами пропонується наступна модель, яка заснована на системі диференціальних рівнянь (3.28), (3.29):

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = J_1 + K_1(m - m_1), \quad (3.28)$$

$$\frac{dm_n(t)}{dt} = J_n + K_n(m - m_n), \quad (3.29)$$

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_1 \cdot m_1 + \dots + K_n \cdot m_n - K \cdot m \cdot V(t), \quad (3.30)$$

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 (3.19), 1/год. Приплив повітря розраховується за формулою (3.27);

n – кількість локальних об'ємів;

$\nu(t)$ – функція, яка визначає режим роботи (відмови) загальної вентиляції – рівняння (3.26).

Рівняння (3.28)–(3.30) 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. На рис. 3.26 показані залежності концентрації чадного газу всередині п'яти локальних об'ємів (криві 1–5).

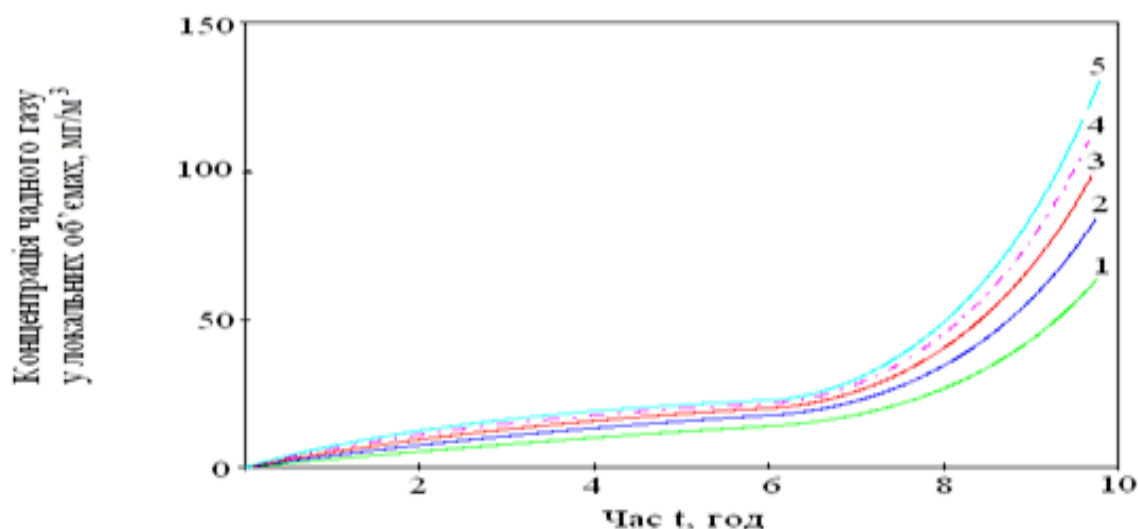


Рисунок 3.26 – Динаміка концентрації чадного газу в повітрі локальних об'ємів.

Вихідні дані і рівняння для розрахунку кривих 1–5 наведені в табл. 3.10, значення локальних об'ємів дорівнюють, відповідно, V_0 – V_4 (м^3)

Розрахунки виконані чисельним методом в середовищі Mathcad. Вихідні дані, наближені до реальних, наведені у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Вихідні дані розрахунків (Mathcad, до рис. 3.26, рис. 3.27)

$J_0 := 2$	$V_0 := 0.7$	$L_0 := 0.052 \cdot J_0$	$K_0 := \frac{L_0}{V_0}$
$J_1 := 3$	$V_1 := 0.7$	$L_1 := 0.052 \cdot J_1$	$K_1 := \frac{L_1}{V_1}$
$J_2 := 4$	$V_2 := 0.7$	$L_2 := 0.052 \cdot J_2$	$K_2 := \frac{L_2}{V_2}$
$J_3 := 5$	$V_3 := 0.7$	$L_3 := 0.052 \cdot J_3$	$K_3 := \frac{L_3}{V_3}$
$J_4 := 6$	$V_4 := 0.7$	$L_4 := 0.052 \cdot J_4$	$K_4 := \frac{L_4}{V_4}$
$v(t) := \frac{\text{sign}(6 - t) + 1}{2}$	$V_5 := 100$	$L_5 := 450$	$K_5 := \frac{L_5}{V_5}$
$M(t, m) := \begin{bmatrix} J_0 + K_0 (m_5 - m_0) \\ J_1 + K_1 (m_5 - m_1) \\ J_2 + K_2 (m_5 - m_2) \\ J_3 + K_3 (m_5 - m_3) \\ J_4 + K_4 (m_5 - m_4) \\ K_0 \cdot m_0 + K_1 \cdot m_1 + K_2 \cdot m_2 + K_3 \cdot m_3 + K_4 \cdot m_4 - K_5 \cdot m_5 \cdot v(t) \end{bmatrix} \quad m = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$			
$r1 := \text{rkfixed}(m, 0, 10, 1000, M)$			

На рис. 3.27 показана динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення.

На рис. 3.27 видно, 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), згідно з гігієнічним нормативом ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 [43].

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.

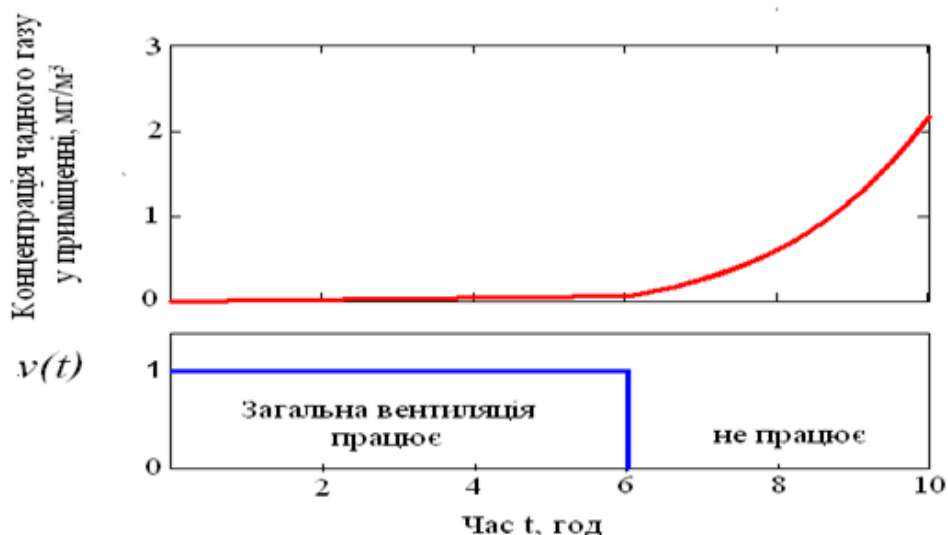


Рисунок 3.27 – Динаміка концентрації чадного газу в повітрі приміщення

При відмові загальнообмінної вентиляції концентрація чадного газу зростає в експоненційній залежності, в результаті чого безпека не забезпечується [69]. Очевидно, що для її забезпечення потрібне прийняття додаткових заходів (сигналізація, евакуація, застосування засобів індивідуального захисту та ін.).

3.3.4 Аналіз впливу типів електродів на утворення монооксиду вуглецю в процесі зварювання

Хімічний склад забруднень залежить, в основному, від складу матеріалів, за допомогою яких відбувається процес зварювання (дроту, покриттів, флюсів) і в меншій мірі від складу металів, які зварюються [8]. При виборі електродів є безліч нюансів, які враховують при виборі, а саме: положення зварювання, тип металу зварюваного виробу і його товщина, вимоги до міцності, тип струму зварювального апарату, просторове положення зварюваного шва, легкість в роботі, якість і екологічність, покриття електродів та багато іншого.

На сьогоднішній день існує великий різновид електродів, залежно від призначення, а саме [88]:

1. Неметалеві (які не плавляться) – графітні, вугільні;

2. Металеві:

1) які не плавляться (вольфрамові, торировані, лантаніровані, іттрировані);

2) які плавляться:

– покриті (стальні, чугунні, мідні, алюмінієві, бронзові);

– непокриті (використовувались на ранніх стадіях розвитку технологій зварювання, зараз застосовуються у вигляді непереривної технології для зварювання у вигляді захисних газів).

При різних технологіях зварювання виникають шкідливі речовини у формі газу, насамперед, окис вуглецю, окис азоту, двоокис азоту, озон.

Найбільшу небезпеку становить окис вуглецю, особливо якщо це стосується виконання робіт у замкнутому просторі.

Зварювання у замкнутому просторі відносять до газонебезпечних робіт, тому що під час їх проведення висока ймовірність виділення в робочу зону вибухонебезпечних чи шкідливих парів, газів, та інших речовин, здатних викликати вибух, або загоряння в обсягах, що перевищують гранично допустимі концентрації.

Наочним прикладом замкнутого простору може служити закрита ємність з вузьким отвором для проходу. До таких просторів можна віднести оглядові колодязі, каналізаційні колектори, траншеї, трубопроводи, повітроводи, закриті підвали та інші місця, де відсутня або недостатня вентиляція.

При недостатності кисню у повітрі робочого приміщення (ємності) або за наявності токсичних чи горючих газів, може утворитися небезпечне для зварювальника повітряне середовище у якому він повинен працювати.

Під час зварювання кількість ЗА у зоні дихання зварника, що працює без місцевої вентиляції, складає в середньому 25 мг/м^3 , а в закритих приміщеннях невеликого обсягу (цистерни, баки) може досягати 300 мг/м^3 , що в 75 разів

перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у складі ЗА.

Під час зварювальних робіт на заводах (металоконструкцій) у зоні дихання зварника (під маскою) концентрація ЗА в 6-12 разів перевищує ГДК. Кількість повітря, що видаляється при витраті електродів 1 кг/год, становить не менш 5-7 тис. м³/год, але у зв'язку з відсутністю ефективних місцевих відсмоктувачів та пилегазоуловлювачів це не забезпечує належних санітарних норм у робочій зоні [75]. Зварювальні роботи та емісії речовин та/або газів, які їх супроводжують, впливає на стан робочого середовища та на здоров'я працівників.

Виходячи із вищевказаного, а також враховуючи застосування різних видів електродів при зварюванні, що, в свою чергу, вимагає аналізу їх за токсичністю для зварювальників та оточуючого середовища, необхідне приведення у відповідність рівня токсичності та засобів захисту, які використовуються.

Необхідно звернути увагу саме на технології зварювання, типи електродів, які використовуються та вплив ергономічних і соціальних питань на стан здоров'я зварювальників. Утворенню монооксиду вуглецю та трансформації його у діоксид вуглецю також треба приділити більше уваги.

Технології захисту працівників від отруєння зварювальними аерозолями повинні удосконалюватись, відповідно до типів електродів, які використовуються на виробництві. Процес цей повинен відбуватись постійно і своєчасно.

На теперішній час це не має системного підходу, а тому відбувається хаотично. Для того, щоб виправити цю ситуацію, необхідно виконати системний аналіз отриманих здобутків щодо типів електродів, які використовуються, та виконати оцінку їх впливу на майбутній розвиток виробництв та технологій захисту органів дихання зварювальників.

У вітчизняній і зарубіжній практиці ручного дугового зварювання використовуються електроди з покриттями, які розподіляються на такі основні види (табл. 3.11) [89]. Найбільш поширені електроди з основним і рутиловим покриттям.

Таблиця 3.11 – Відповідність маркувань електродів за типом покриття [90]:

Тип покриття	Позначення за ГОСТ 9466–75, 9467–75, 10051–75, 10052–75	Міжнародне позначення за ISO 2560–A
Кисле	А	А
Основне	Б	В
Рутилове	Р	R
Целюлозне	Ц	С
Змішані покриття		
Рутилово-кисле	АР	AR
Рутилово-основне	РБ	RB
Рутилово-целюлозне	РЦ	RC
Рутилові з залізним порошком	РЖ	RR

Електроди з кислим покриттям складаються з таких компонентів, як кремнезем, феромарганець, марганцева руда, гематит. На даний момент виробництво електродів з кислою обмазкою скоротилося, оскільки наявність у їх складі оксидів заліза та феромарганцю сприяє виділенню токсичних газів. Це робить електроди з кислим покриттям небезпечними для здоров'я зварювальника. Тому чисто кислі покриття використовують в наш час обмежено, їх замінюють змішаним типом, а саме рутилово-кислими (RA).

Електроди з кислим покриттям не рекомендують застосовувати для роботи в замкнутому просторі.

Рутилова обмазка складається із титанових сполук (ільменіт, рутил, титановий концентрат) та целюлози, мармуру, крейди, декстрину. Таке покриття гарантує стабільне горіння дуги на постійному та змінному струмі, якісне формування шва, хороше відділення шлаку, невеликі витрати металу на розбризкування.

Рутилові покриття менш шкідливі для здоров'я зварювальника, ніж інші.

Целюлозна обмазка складається із таких органічних сполук, як целюлоза, харчове борошно, крохмаль, декстрин. Електроди цього виду застосовуються при зварюванні на змінному та постійному струмі у всіх положеннях. Недоліками целюлозного покриття є швидке вигорання компонентів та великі витрати металу на розбризкування.

При зварюванні електродами з целюлозним покриттям виділяються гази: CO, CO₂, H₂.

Електроди з основним покриттям складаються зі шпату, магнію та карбонатів кальцію. До них додають в якості розчинника шлаку плави́ковий шпат (CaF₂).

Такі електроди використовуються для зварювання товстих металів, що мають підвищений вміст фосфору та сірки, а також для зварювання жорстких конструкцій виробів.

Газозахисне середовище, яке утворюють електроди основного типу, складається, в основному, з CO і CO₂.

Покриття з залізним порошком: іноді в покриття вводять залізний порошок.

Також виділяють змішані види покриття:

- рутилово-кислі (ільменітові),
- рутилово-целюлозні;
- рутилово-основні;
- рутилові з залізним порошком.

Якщо виділити основні компоненти, які входять до складу покриття електродів для зварювання, то отримаємо наступне:

- кисле - титан, кремній, марганець, окис заліза;
- основне - карбонат кальцію і фтористий калій;
- целюлозне - мука, целюлоза, органічні речовини;
- рутилове - рутит, мінерали і органічні компоненти.

Результати досліджень рівнів виділень ЗА, виконані в різних країнах, показують, що найбільші виділення аерозолю характерні для електродів:

- 1) з целюлозним покриттям;
- 2) з покриттям основного типу;

3) з кислим, рутиловим і ільменітовим покриттям за рівнем виділення ЗА розрізняються між собою незначно, а порівняно з електродами з целюлозним та основним покриттям характеризуються значно меншим виділенням аерозолі.

Високий рівень виділень ЗА при зварюванні електродами з целюлозним покриттям обумовлений виділенням у великих кількостях газів: CO, CO₂, H₂, які утворюються при згорянні органічних складових целюлозного покриття, надходженням в розплавлену краплю на торці електрода вуглецю, що утворюється в результаті розкладання целюлози в покритті, і підвищенням інтенсивності виділення ЗА через підсилення інтенсивності вибуху рідких крапель внаслідок окиснення вуглецю та утворення CO.

Аналіз багатьох даних щодо визначення хімічного складу ЗА показує, що при зварюванні електродами з рутиловим і кислим покриттям утворюються ЗА, близькі за хімічним складом. Основою ЗА є оксиди заліза. При ручному дуговому зварюванні електродами з покриттям рутилового та кислого видів CO у складі зварювального аерозолі, як правило, не перевищує ГДК [91, 92].

Високий рівень виділення ЗА при зварюванні електродами з основним покриттям обумовлено наявністю в покритті летких сполук фтору (CaF₂, Na₂SiF₆) і високою основністю шлакової фази, яка сприяє більш інтенсивному надходженню в ЗА сполук лужних металів. При використанні основного виду електродів CO, як правило, нижчі за ГДК [91, 92]. Особливу увагу слід звернути на роботу зварювальників в замкнутому просторі і надхоженню чадного газу в робочу зону, а також методам його нейтралізації.

Щороку на виробництві трапляються важкі нещасні випадки, у тому числі із смертельним наслідком, через те, що працівники перебувають у замкнутому просторі без проведення необхідної попередньої перевірки середовища або без відповідного захисного та рятувального спорядження. Досить часто спроби порятунку призводять до трагедій, коли одночасно гинуть працівник та погано екіпірований рятувальник.

Зокрема, впродовж 2017 року на території України під час виконання робіт у замкнутих просторах сталося 18 нещасних випадків, внаслідок яких загинуло 19 працівників [93].

За наявності токсичних чи горючих газів може утворитися небезпечне повітряне середовище в замкнутому просторі. Замкнуті простори є дуже небезпечними, оскільки вони, як правило, зовсім не призначені для роботи. Зазвичай вони мають зменшений отвір (люк) і характеризуються певним обсягом повітрообміну із зовнішнім середовищем, який буває або дуже низьким, або ж зовсім відсутнім. Через недостатній вміст кисню можна втратити свідомість, а отруйний дим здатний додатково викликати почуття запаморочення та нудоти [93].

Зробивши аналіз зварювальних робіт в умовах замкнутого простору можна виділити основні ризики: обмежений вхід або вихід з місця виконання робіт; довготривале перебування працівника при виконанні робіт в замкнутому просторі; обмеження в русі при переміщенні людей; недостатній або ускладнений повітрообмін; наявність загазованості у замкнутому просторі; пожежа, вибух, займання легкозаймистих речовин; вплив шкідливих і забруднюючих речовин; складності екстреного покидання робочої зони; складності комунікації з групою зовні; падіння з висоти [93]. Однією з найважливіших причин, що призводить до нещасних випадків є не проведення приладової перевірки повітряного середовища при виконанні газонебезпечних робіт, в тому числі і на вміст СО. У зв'язку з цим виникають додаткові проблеми захисту зварювальника та атмосфери від чадного газу.

Щоб виявити залежність утворення монооксиду вуглецю від різних типів електродів в робочій зоні зварювальника були проведені дослідження залежності утворення при електродуговому зварюванні в лабораторії зварювання НТУ «ХПІ». Для проведення досліджень було виконано планування експерименту типу ПФЕ-2².

Мета дослідження - визначити залежність між струмом і часом зварювання на утворення газу в робочій зоні.

Завдання - дослідити режими роботи електрозварювального апарату і визначити найменш небезпечні з них в залежності від струму і часу процесу зварювання для трьох основних груп електродів, які застосовуються в технологіях зварювання.

Основний рівень та інтервали варіювання наведені в табл. 3.12, які вибиралися на основі виконаного аналізу застосовуваних в даний час зварювальних процесів.

Таблиця 3.12 – Основний рівень та інтервали варіювання

рівні факторів	Фактори	
	Струм(I), А, (X ₁)	Час (t), с, (X ₂)
Основний рівень	150	180
Інтервали варіювання	50	120
Верхній рівень (+1)	200	300
Нижній рівень (-1)	100	60

Результати повного факторного експерименту типу ПФЕ-2², реалізованого відповідно до матриці планування експерименту, наведені в таблиці 3.13, та таблицях Г.1, Г.2 в додатку Г. Натуральні величини факторів, при проведенні експерименту відповідно замінені кодованими їх значеннями. Відтворюваність дослідів перевірена шляхом постановки паралельних дослідів на основному рівні (табл. 3.13, табл. Г.1, Г.2 додаток Г.).

Відтворюваність дослідів визначена за критерієм Кохрена [94], розрахункове значення якого дорівнює:

$$G_p = \frac{\max Y_i^2}{\sum_{i=1}^{n_0} Y_i^2} = \frac{37300,5}{277202,3} = 0,135. \quad (3.31)$$

Таблиця 3.13 – Матриця планування експерименту і результати досліджень по СО з рутилово-целюлозними електродами

№ дослід-да	X_1	X_2	Натуральні значення		Y_1 , мг/м ³	Y_2 мг/м ³	Y_3 мг/м ³	Y , мг/м ³	Y^2 , мг/м ³
			I, А	t, с					
1	+1	+1	200	300	190,5	200,3	188,6	193,1	37300,5
2	-1	+1	100	300	83,6	85,7	84,5	84,6	7157,2
3	+1	-1	200	60	158,3	162,7	166,3	162,4	26384,6
4	-1	-1	100	60	86	87,5	85,5	86,3	7453,4
Σ								526,5	277202,3
0	0	0	150	180	178	189	195	187,3	35093,8

Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Так як розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліди вважаються відтворюваними.

Математичну модель процесу записуємо у вигляді наступного рівняння регресії:

$$\hat{Y} = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2, \quad (3.32)$$

де b_i - коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти b_i рівняння регресії розраховуються за формулами [94]:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N \bar{Y}_u ,$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} \bar{Y}_u , \quad (3.33)$$

де $i = 0, 1, 2, \dots, n$,

$$\bar{Y} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m Y_{uk} , \quad (3.34)$$

де m - число паралельних дослідів,

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_u , \quad (3.35)$$

де $i = 1, 2 \dots n$, $i \neq j$.

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y = 1/4(193,1+84,6+162,4+86,3)=131,625; \quad (3.36)$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_1 = 1/4(193,1-84,6+162,4-86,3)=46,158; \quad (3.37)$$

$$b_2 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_2 = 1/4(193,1+84,6-162,4-86,3)=7,242; \quad (3.38)$$

$$b_{12} = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_{12} = 1/4(193,1-84,6-162,4+86,3) = 8,108. \quad (3.39)$$

Математична модель процесу набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 131,625 + 46,158X_1 + 7,242X_2 + 8,108X_1 X_2. \quad (3.40)$$

Визначимо значення $\hat{Y}$:

$$\hat{Y}_1 = 131,6 + 46,15(+1) + 7,25(+1) + 8,1 (+1) = 193,133; \quad (3.41)$$

$$\hat{Y}_2 = 131,6 + 46,15(-1) + 7,25(+1) + 8,1 (-1) = 84,601; \quad (3.42)$$

$$\hat{Y}_3 = 131,6 + 46,15(+1) + 7,25(-1) + 8,1 (-1) = 162,433; \quad (3.43)$$

$$\hat{Y}_4 = 131,6 + 46,15 (-1) + 7,25(-1) + 8,1 (+1) = 86,333. \quad (3.44)$$

Вважається, що коефіцієнт регресії значимий, якщо виконується умова [94]:

$$t_{ip} > t_T. \quad (3.45)$$

Розрахункове значення t-критерію Стьюдента визначається за наступним виразом:

$$t_{ip} = \frac{|e_i|}{S_{B_i}}, \quad (3.46)$$

де v_i - і-ий коефіцієнт регресії,

$$S_{y_i}^2 = \frac{S_0^2}{N \cdot m}, \quad (3.47)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^m (Y_i - \bar{Y}_0) = \frac{0,001}{3} = 0,00033, \quad (3.48)$$

$$t_{ip} = 7232,14.$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m-1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.49)$$

Отже, всі коефіцієнти рівняння (3.40) значимі.

Адекватність моделі оцінювали за допомогою F-критерію (критерію Фішера).

Отже, рівняння вважається адекватним і отриманий поліном цілком достовірно описує математичну залежність факторів, які входять до нього.

Відносна помилка вимірювань не перевищує 3 %, що можна вважати допустимим при даних дослідженнях.

У таблиці Г.1 додаток Г наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення газу СО при зварюванні рутиловими електродами.

Відтворюваність дослідів визначена за критерієм Кохрена [94], розрахункове значення якого дорівнює:

$$G_p = \frac{\max Y_i^2}{\sum_{i=1}^{n_0} Y_i^2} = \frac{4816.36}{31933.69} = 0,150. \quad (3.50)$$

Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Так як розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліді вважаються відтворюваними.

Математичну модель процесу зварювання рутиловими електродами записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y = 1/4(69,4+27,6+57,6+24,1)=44,675; \quad (3.51)$$

$$b_1 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_1 = 1/4(69,4-27,6+57,6-24,1)=18,825; \quad (3.52)$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_2 = 1/4(69,4+27,6-57,6-24,1)=3,825; \quad (3.53)$$

$$B_{12} = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_{12} = 1/4(69,4-27,6-57,6+24,1)=2,075. \quad (3.54)$$

Математична модель процесу зварювання з рутиловими електродами набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 44,675 + 18,825X_1 + 3,825X_2 + 2,075X_1 X_2. \quad (3.55)$$

Визначимо значення $\hat{Y}$:

$$\hat{Y}_1 = 44,675 + 18,825(+1) + 3,825(+1) + 2,075 (+1) = 69,4; \quad (3.56)$$

$$\hat{Y}_2 = 44,675 + 18,825(-1) + 3,825(+1) + 2,075 (-1) = 27,6; \quad (3.57)$$

$$\hat{Y}_3 = 44,675 + 18,825(+1) + 3,825(-1) + 2,075 (-1) = 57,6; \quad (3.58)$$

$$\hat{Y}_4 = 44,675 + 18,825 (-1) + 3,825(-1) + 2,075 (+1) = 24,1. \quad (3.59)$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$) тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}, \quad (3.60)$$

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < 2454,67.$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.61)$$

Отже, всі коефіцієнти рівняння (3.55) значимі.

У таблиці Г.2 (додаток Г) наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення газу СО при зварюванні основними електродами.

Відтворюваність дослідів визначена за критерієм Кохрена [94], розрахункове значення якого дорівнює:

$$G_p = \frac{\max Y_i^2}{\sum_{i=1}^{n_0} Y_i^2} = \frac{10261,69}{87793,69} = 0,113. \quad (3.62)$$

Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Так як розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліді вважаються відтворюваними.

Математичну модель процесу зварювання основними електродами записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$B_0 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y = 1/4(101,3+80+60+53)=74,075; \quad (3.63)$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_1 = 1/4(101,3-82+60-53)=6,575; \quad (3.64)$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_2 = 1/4(101,3+82-60-53)=17,575; \quad (3.65)$$

$$B_{12} = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_{12} = 1/4(101,3-82-60+53) = 3,075. \quad (3.66)$$

Математична модель процесу зварювання з основними електродами набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 74,075 + 6,575X_1 + 17,575X_2 + 3,075 X_1 X_2. \quad (3.67)$$

Визначимо значення $\hat{Y}$:

$$\hat{Y}_1 = 74,075 + 6,575(+1) + 17,575(+1) + 3,075 (+1) = 101,3; \quad (3.68)$$

$$\hat{Y}_2 = 74,075 + 6,575(-1) + 17,575(+1) + 3,075 (-1) = 82; \quad (3.69)$$

$$\hat{Y}_3 = 74,075 + 6,575(+1) + 17,575(-1) + 3,075 (-1) = 60; \quad (3.70)$$

$$\hat{Y}_4 = 74,075 + 6,575 (-1) + 17,575(-1) + 3,075 (+1) = 53. \quad (3.71)$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}, \quad (3.72)$$

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < 4070,054.$$

Отже, всі коефіцієнти рівняння (3.67) значимі.

Адекватність моделі оцінювали за допомогою F-критерію (критерію Фішера). Отже, рівняння вважається адекватним і отриманий поліном цілком достовірно описує математичну залежність факторів, які входять до нього.

Відносна помилка вимірювань не перевищує 3 %, що можна вважати допустимим при даних дослідженнях.

На основі проведеного аналізу побудовані графіки залежності впливу типів електродів на утворення моно оксиду вуглецю в робочій зоні (рис. 3.28, рис. 3.29, рис. 3.30).

$$\hat{Y} = 131,625 + 46,158X_1 + 7,242X_2 + 8,108X_1 X_2$$

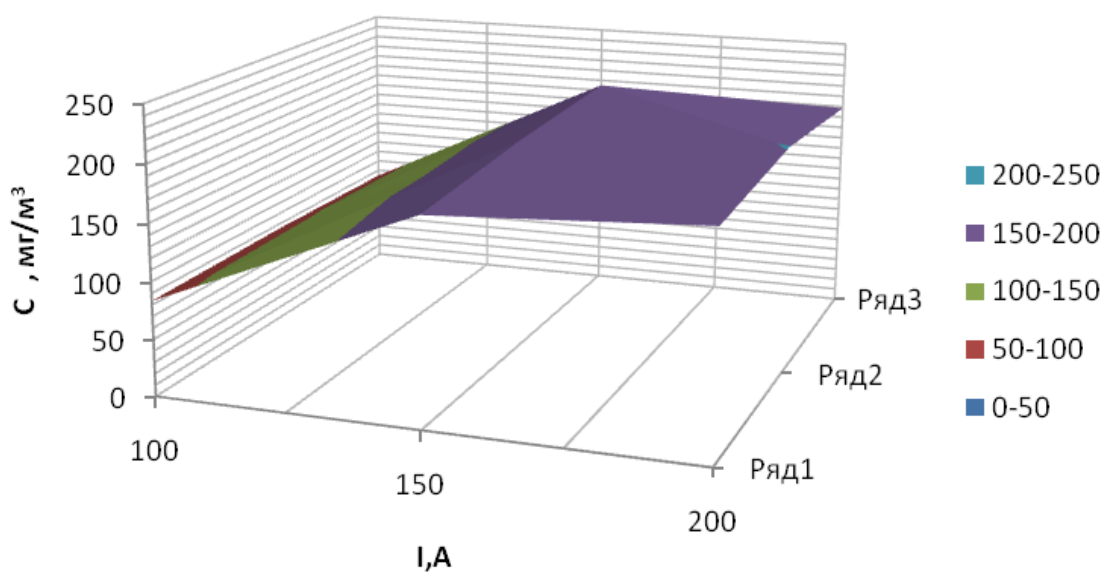


Рисунок 3.28 – Залежність концентрації чадного газу(C) від величини струму (I) і тривалості зварювання (t) для рутилово-целюлозного електроду

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

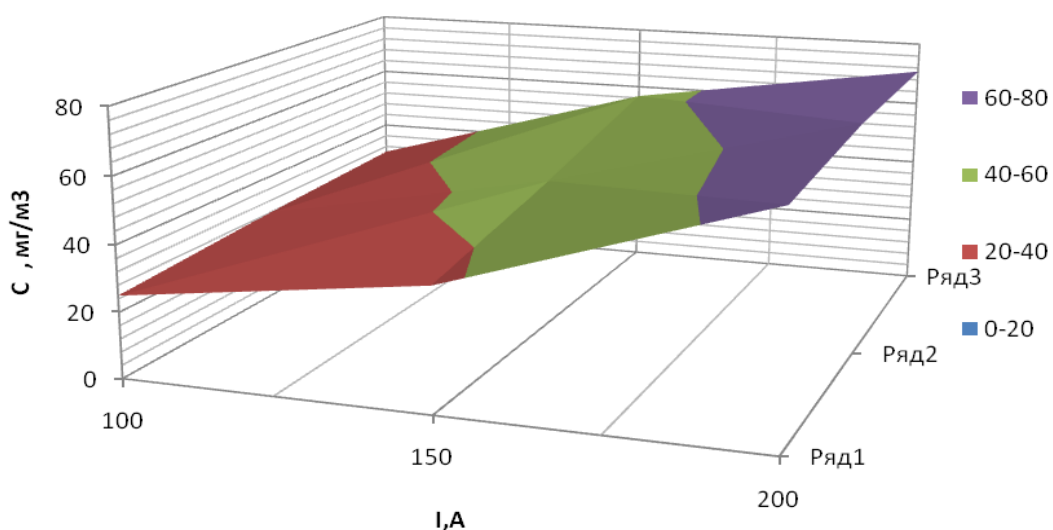


Рисунок 3.29 – Залежність концентрації чадного газу (C) від величини зварювального струму (I) і тривалості зварювання (t) для рутилового електроду

$$\hat{Y} = 74,075 + 6,575X_1 + 17,575X_2 + 3,075 X_1 X_2$$

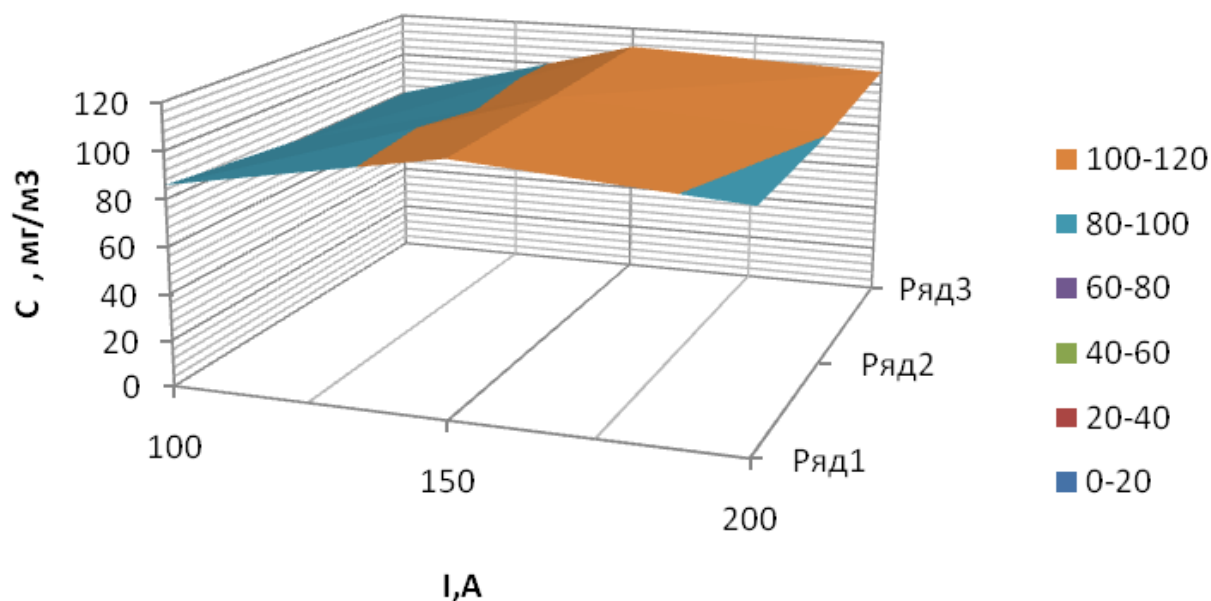


Рисунок 3.30 – Залежність концентрації чадного газу (C3) від величини струму (I) і тривалості зварювання (t) для основного електроду

На рис. 3.31, рис. 3.32 зображені графіки залежності CO від часу та сили струму відразу трьох типів електродів з основним, рутиловим та рутилово-целюлозним покриттям.

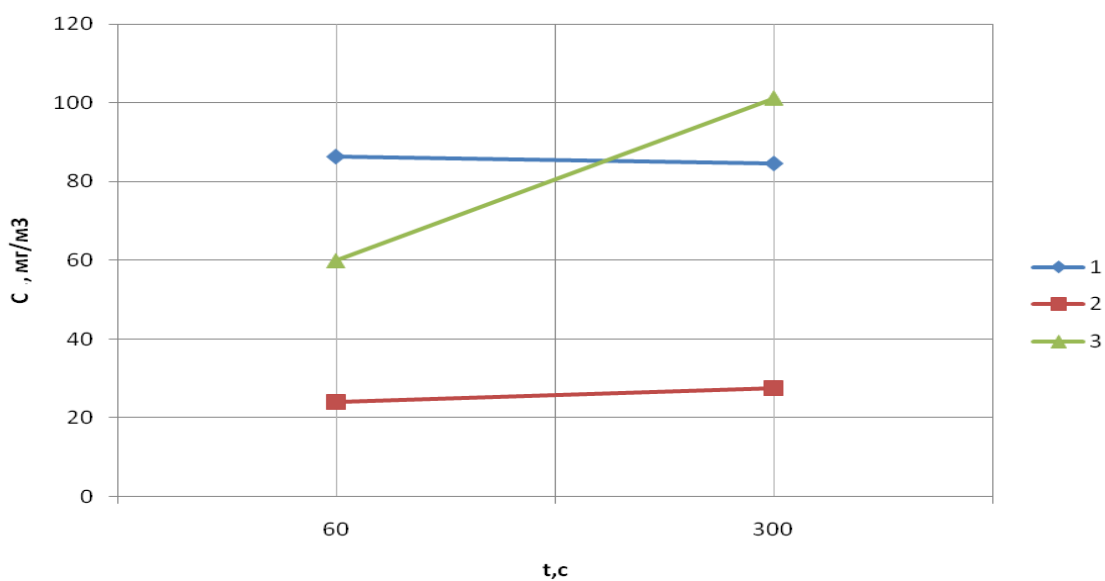


Рисунок 3.31 – Залежність концентрації чадного газу від тривалості зварювання t при струмі 100 А: С1 – рутилово-целюлозний електрод; С2 – рутиловий електрод; С3 – основний електрод.

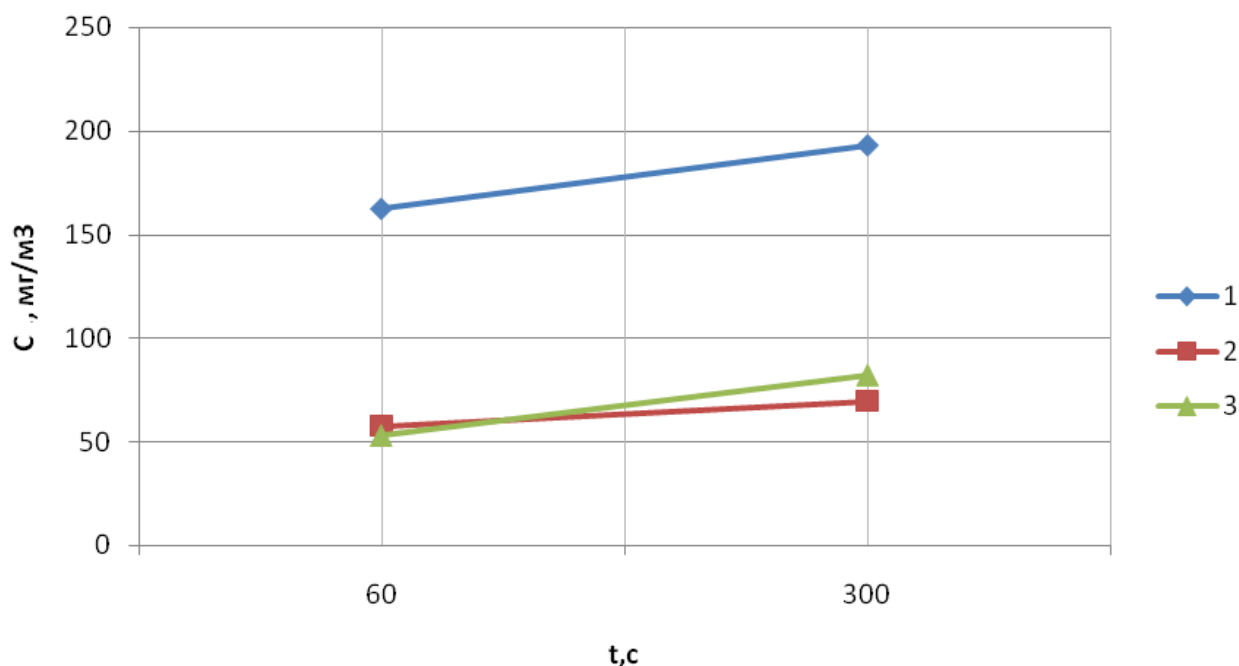


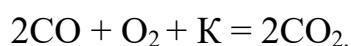
Рисунок 3.32 – Залежність концентрації чадного газу від тривалості зварювання t при струмі 200 А: С1 - рутилово-целюлозний електрод; С2 - рутиловий електрод; С3 - основний електрод.

За проведеним аналізом 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 300 с при електричному струмі 100 А більше СО утворюється при використанні основних електродів.

Проаналізувавши роботу зварювальників в замкнутому просторі, прийшли до висновку, що найбільш використовують електроди «Моноліт», які відносяться до рутил-целюлозного типу, з виділенням значної кількості СО.

Найбільш небезпечними з точки зору утворення монооксиду вуглецю є електроди рутилово-целюлозного типу.

Найперспективнішим методом нейтралізації СО є його каталітичне окиснення до нетоксичного CO_2 , краще до СО і RNH_3 . Для нейтралізації зварювального аерозолі розроблено нові ефективні металокомплексні каталізатори К [91, 95, 96], що дозволяють окиснювати СО:



Крім того, очищення повітря, забрудненого СО, можна здійснювати за допомогою фільтрів – сорбентів на основі модифікованих кобальтом або кадмієм іонообмінних форм природного зернистого кліноптилоліту [97-99].

Але на робочих місцях зварювальника, особливо в замкнутих приміщеннях, практично майже не застосовуються методи нейтралізації чадного газу.

В попередніх роботах [69] було встановлено, що засоби індивідуального захисту, які повинні застосовуватися на робочих місцях зварювальників, практично не використовуються або не відповідають рівню захисту, необхідному при утворенні монооксиду вуглецю. Тому основним захистом залишається вентиляція повітря у зоні зварювання. Необхідно враховувати і те, що при проведенні зварювальних робіт поза стаціонарними робочими місцями, особливо у замкнутих просторах, концентрація монооксиду вуглецю зростає за експоненційною залежністю [69]. Обов'язково з вентиляцією необхідно використовувати спеціальні фільтри зі спеціальними сорбентами на СО. А сигналізатори, які реагують на появу чадного газу, потрібно встановлювати на рівні голови на захисні шоломи.

Основні типи сигналізаторів СО призначені для безперервного контролю наявності оксиду вуглецю в робочій зоні при загрозі його виділення. Контроль полягає в періодичному вимірюванні концентрації СО в навколишньому повітрі. У момент, коли середнє значення концентрації стає вище заданого порогового рівня, включається оптична і акустична сигналізація детектора і активізуються виходи управління.

3.3.5 Математична модель залежності концентрації зварювального аерозолю у повітрі робочих зон від електричного струму, часу та відстані до місця зварювання

Основними шкідливими факторами процесу електродугового зварювання є: зварювальний аерозоль (ЗА), що містить пил, пари і гази, наприклад, фтористі сполуки, оксид вуглецю, оксиди азоту, озон; ультрафіолетове випромінювання;

бризки розплавленого металу. Склад пилу і газів, що утворюються при зварюванні, залежить головним чином від складу електродних покриттів.

Хімічні речовини в повітряному середовищі на робочих місцях зварювальника можуть перевищувати ГДК, навіть, коли працює вентиляція [100; 101]. В зоні дихання зварювальника, який виконує ручні операції, вміст шкідливих компонентів зварювального аерозолі значно (в 7-10 раз) перевищує як фон, так і ГДК [102].

Використання витяжної вентиляції разом з припливно-витяжною дозволить знизити забруднення ЗА робочої зони зварювальника, а також виробничого середовища, але не повністю. Особливу увагу слід звернути на використання електродів з різним типом покриття, для цього необхідно проводити підготовку до процесу зварювання та робити вибір електродів з меншою кількістю забруднюючих викидів ЗА у повітря робочої зони.

Результати досліджень рівнів виділень ЗА, виконаних у різних країнах, показують, що найбільші виділення аерозолі характерні для електродів з целюлозним покриттям. За ними йдуть електроди з покриттям основного типу [99; 101]. Електроди з рутіловим покриттям за рівнем виділення ЗА порівняно з електродами з целюлозним та основним покриттям характеризуються значно меншим виділенням аерозолі [99].

Для проведення більш детальних досліджень впливу електродів з різним типом покриття на забруднення робочої зони зварювальника та виробничого середовища було виконано планування експерименту типу ПФЕ-2². Дослідження проводилися в лабораторії зварювання НТУ «ХПІ».

В приміщенні лабораторії встановлена витяжна вентиляція. На робочому місці зварника зонт в якому 8 отворів у формі рівностороннього трикутника, розміром 5·20·20. Швидкість руху повітря біля входу 1,6 (1,5; 1,3) м/с. На робочому місці на відстані 20 см від отворів швидкість руху повітря складає 0,2 м/с. На інших робочих місцях 12 отворів у формі рівностороннього трикутника, розміром 3,5·20·20. Швидкість руху повітря біля входу 1,7 (1,6; 1,9) м/с. На робочому місці

на відстані 50 см від отворів швидкість руху повітря складає 0,2-0,3 м/с. Є зонт розміром 40·82 у формі прямокутника.

Було досліджено режими роботи електрозварювального апарату і визначені найменш небезпечні з них в залежності від струму і часу процесу зварювання для трьох основних груп електродів, які застосовуються в технологіях зварювання.

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.

Основний рівень та інтервали варіювання наведені в табл. 3.14, які вибиралися на основі виконаного аналізу застосовуваних в даний час зварювальних процесів. Результати повного факторного експерименту типу 2^2 , реалізованого відповідно до матриці планування експерименту, наведені в табл. 3.15, Г.3, Г.4, Г.5, Г.6, додаток Г).

Натуральні величини факторів, при проведенні експерименту, відповідно замінені кодованими їх значеннями. Відтворюваність дослідів перевірена шляхом постановки паралельних дослідів на основному рівні (табл. 3.15, Г.3, Г.4, Г.5, Г.6, додаток Г).

Таблиця 3.14 – Основний рівень та інтервали варіювання

Рівні факторів	Фактори	
	Струм(I), А, (X ₁)	Час (t), с, (X ₂)
Основний рівень	150	180
Інтервали варіювання	50	120
Верхній рівень (+1)	200	300
Нижній рівень (-1)	100	60

Отримані результати дослідів занесені в таблиці 3.15, Г.3, Г.4, Г.5, Г.6, додаток Г.

У таблиці 3.15 наведено результати досліджень вмісту зварювального аерозолі з рутилово-целюлозними електродами при використанні вентиляції.

Таблиця 3.15 – Матриця планування експерименту і результати досліджень вмісту зварювального аерозолі з рутилово-целюлозними електродами при використанні вентиляції

№ досліду (№ зразка)	X ₁	X ₂	Натуральні значення		Y ₁ , мг/м ³	Y ₂ мг/м ³	Y ₃ мг/м ³	$\bar{Y}$, мг/м ³	Y ² , мг/м ³
			I, A	t, c					
1 (№29)	+1	+1	150	300	2,03	1,99	2,06	2,03	4,1209
2 (№27)	-1	+1	100	300	1,05	1,07	1,09	1,07	1,1449
3 (№28)	+1	-1	150	60	1,04	1,05	0,99	1,03	1,0609
4 (№26)	-1	-1	100	60	1,02	0,95	1,07	1,01	1,0201
Σ								5,14	26,4196
0 (№30)	0	0	200	180	1,03	1,04	1,02	1,03	1,0609

На рис. 3.33 представлені зразки, які отримані в ході експерименту при використанні електродів з рутилово-целюлозним покриттям в процесі електродугового зварювання при вентиляції, яка працювала.

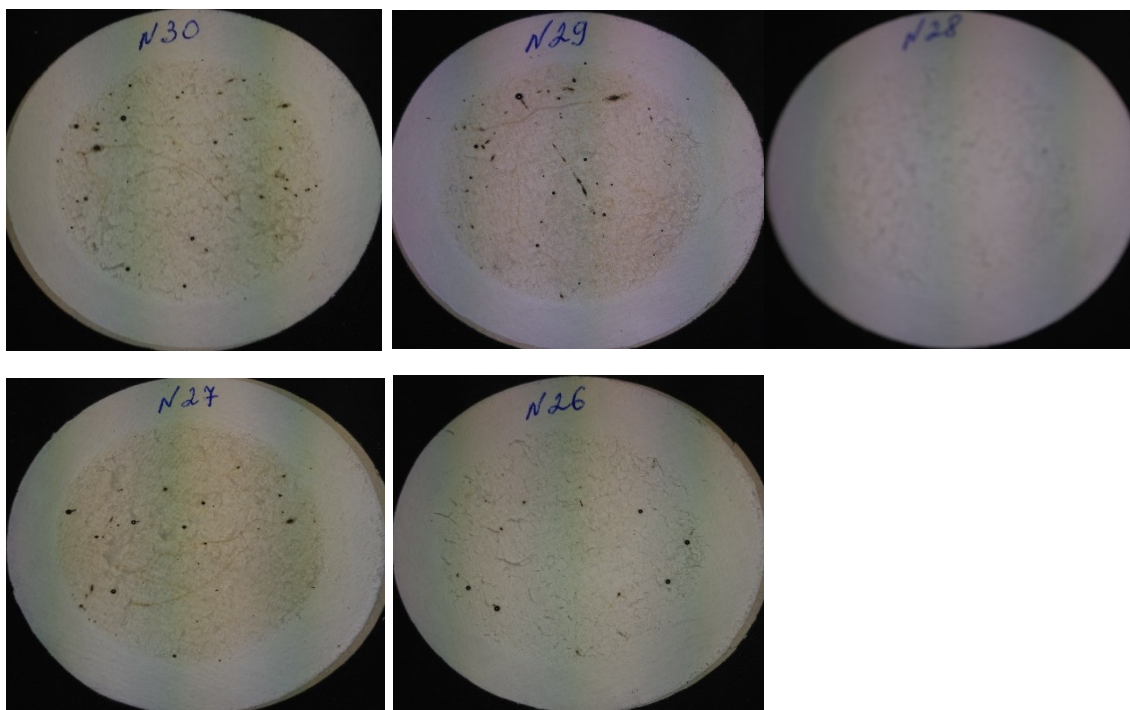


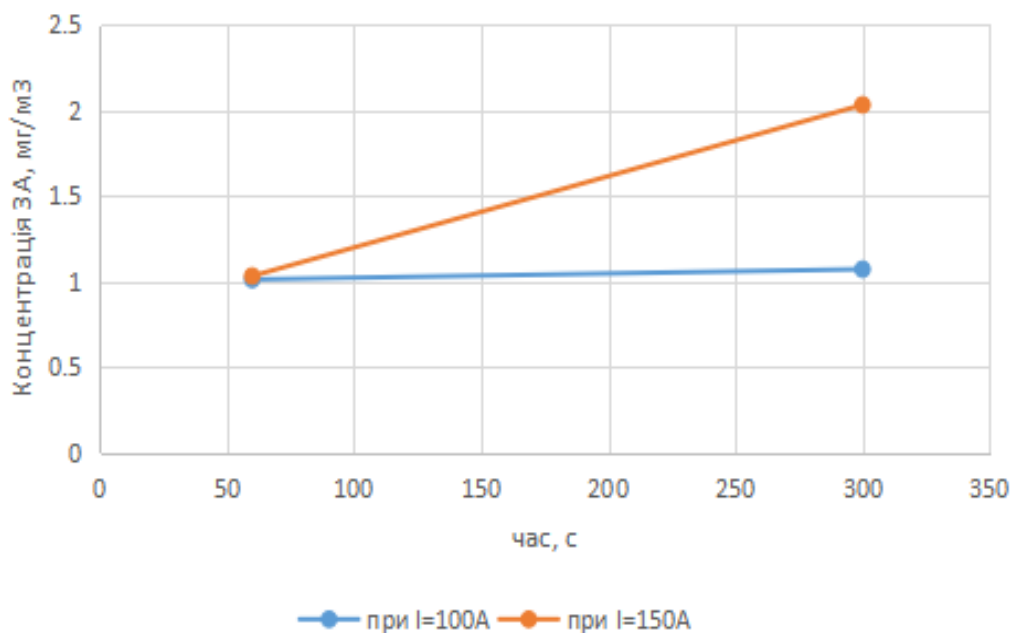
Рисунок 3.33 – Зразки фільтрів при використанні електродів з рутилово-целюлозним покриттям при працюючій вентиляції

За результатами досліджень, які зображені в таблиці 3.15, побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні рутилово-целюлозних електродів з вентиляцією, яка працює (рис.3.34).

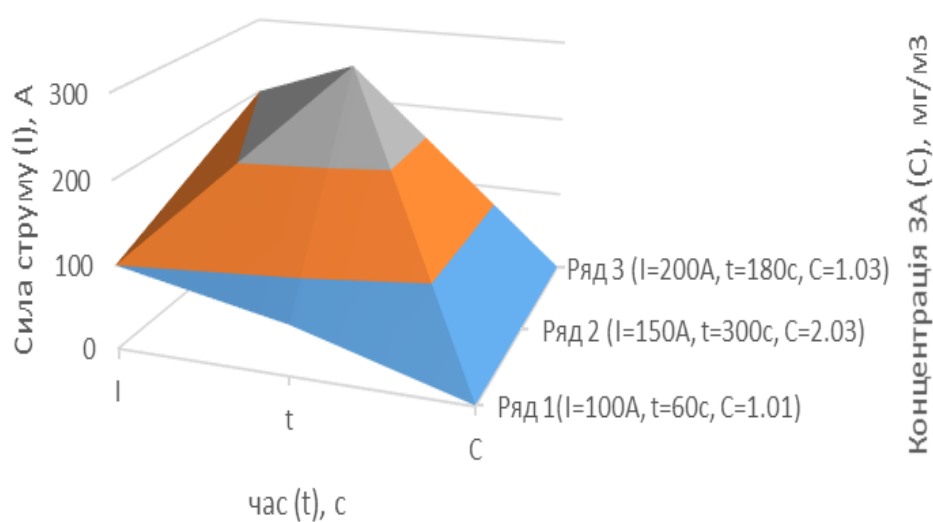
Відтворюваність дослідів визначена за критерієм Кохрена [94], розрахункове значення якого дорівнює:

$$G_p = \frac{\max Y_i^2}{\sum_{i=1}^{n_0} Y_i^2} = \frac{4,1209}{26,4196} = 0,156 \quad (3.73)$$

Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94]. Так як розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліді вважаються відтворюваними.



а)



б)

Рисунок 3.34 – Залежність концентрації зварювального аерозолу від часу при використанні рутилово-целюлозних електродів і вентиляції (табл. 3.15).

а) при $I=100$ А і при $I=150$ А; б) при $I=100$ А, 150 А, 200 А.

Математичну модель процесу зварювання рутилово-целюлозними електродами з використанням вентиляції записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$B_0 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y = 1/4(2,03+1,07+1,03+1,01)=1,28; \quad (3.74)$$

$$B_1 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_1 = 1/4(2,03-1,07+1,03-1,01)=0,245; \quad (3.75)$$

$$B_2 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_2 = 1/4(2,03+1,07-1,03-1,01)=0,265; \quad (3.76)$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \sum_1^4 Y_{12} = 1/4(2,03-1,07-1,03+1,01)=0,235. \quad (3.77)$$

Математична модель процесу набуває такого вигляду:

$$\hat{Y} = 1,285 + 0,245X_1 + 0,265 X_2 + 0,235X_1 X_2. \quad (3.78)$$

Визначимо значення $\hat{Y}$:

$$\hat{Y}_1 = 1,285 + 0,245(+1) + 0,265(+1) + 0,235(+1) = 2,03; \quad (3.79)$$

$$\hat{Y}_2 = 1,285 + 0,245(-1) + 0,265(+1) + 0,235(-1) = 1,07; \quad (3.80)$$

$$\hat{Y}_3 = 1,285 + 0,245(+1) + 0,265(-1) + 0,235(-1) = 1,03; \quad (3.81)$$

$$\hat{Y}_4 = 1,285 + 0,245(-1) + 0,265(-1) + 0,235(+1) = 1,01. \quad (3.82)$$

Вважається, що коефіцієнт регресії значимий, якщо виконується умова [94]:

$$t_{ip} > t_T. \quad (3.83)$$

Розрахункове значення t-критерію Стьюдента визначається за наступним виразом:

$$t_{ip} = \frac{|\epsilon_i|}{S_{B_i}}, \quad (3.84)$$

де b_i – i -ий коефіцієнт регресії,

$$S_{y_i}^2 = \frac{S_0^2}{N \cdot m}, \quad (3.85)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^m (Y_i - \bar{Y}_0) = \frac{0,0025}{3} = 0,00083,$$

$$t_{ip} = \frac{1,285}{\sqrt{0,00083}} = 44,31.$$

Всі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.86)$$

Отже, всі коефіцієнти рівняння (3.78) значимі.

Адекватність моделі оцінювали за допомогою F -критерію (критерію Фішера). Отже, рівняння вважається адекватним і отриманий поліном цілком достовірно описує математичну залежність факторів, які входять до нього.

Відносна помилка вимірювань не перевищує 3 %, що можна вважати допустимим при даних дослідженнях.

У таблиці Г.3 додатку Г наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення зварювального аерозолі при зварюванні рутиловими електродами при використанні вентиляції.

На рис. 3.35 представлені зразки, які отримані в ході експерименту при використанні електродів з рутиловим покриттям в процесі електродугового зварювання з вентиляцією, яка працює.

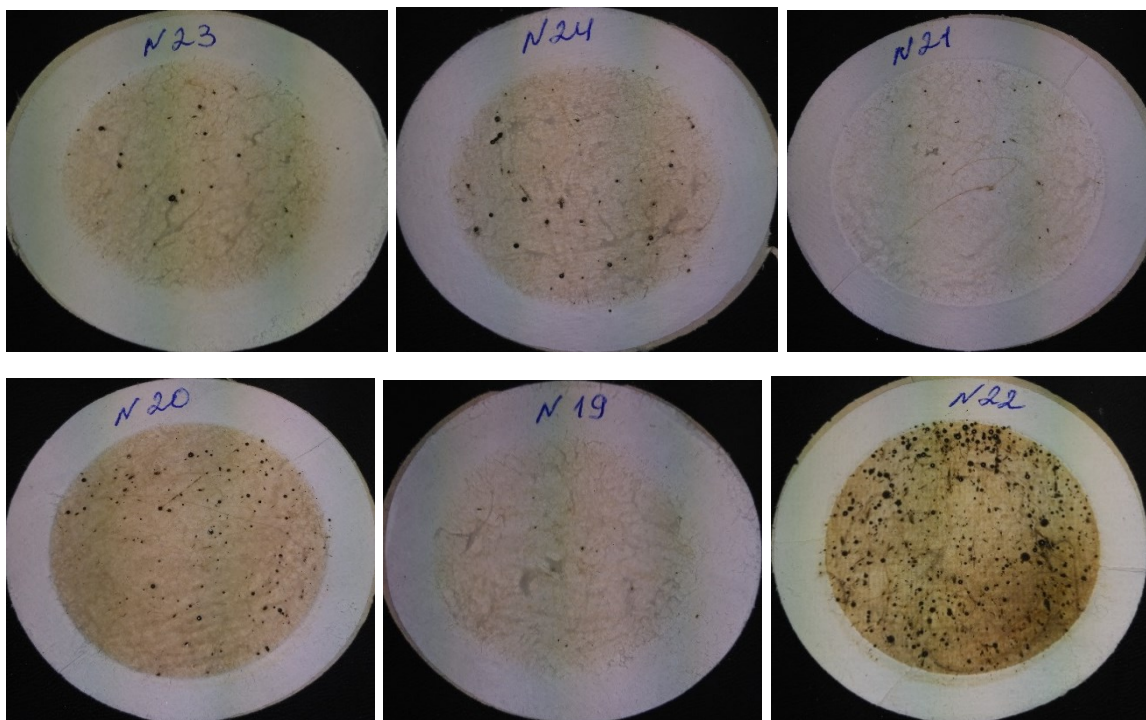


Рисунок 3.35 – Зразки фільтрів при використанні електродів з рутиловим покриттям при працюючій вентиляції (зразок № 22 отриманий ближче до місця зварювання на 10 см, ніж інші зразки при зварюванні рутиловими електродами з вентиляцією, струм 150 А, час 300 с)

За результатами досліджень, які зображенні в таблиці Г.3 (додаток Г), побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів з рутиловим покриттям з працюючою вентиляцією (рис. 3.36).

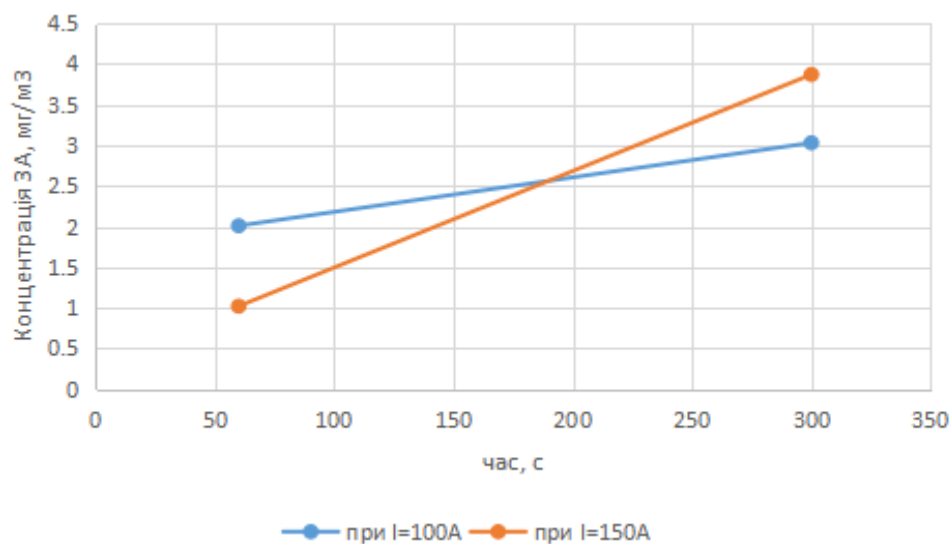
Математичну модель процесу зварювання рутиловими електродами з використанням вентиляції записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35). Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = 2,4825; b_1 = -0,0375; b_2 = 0,9675;$$

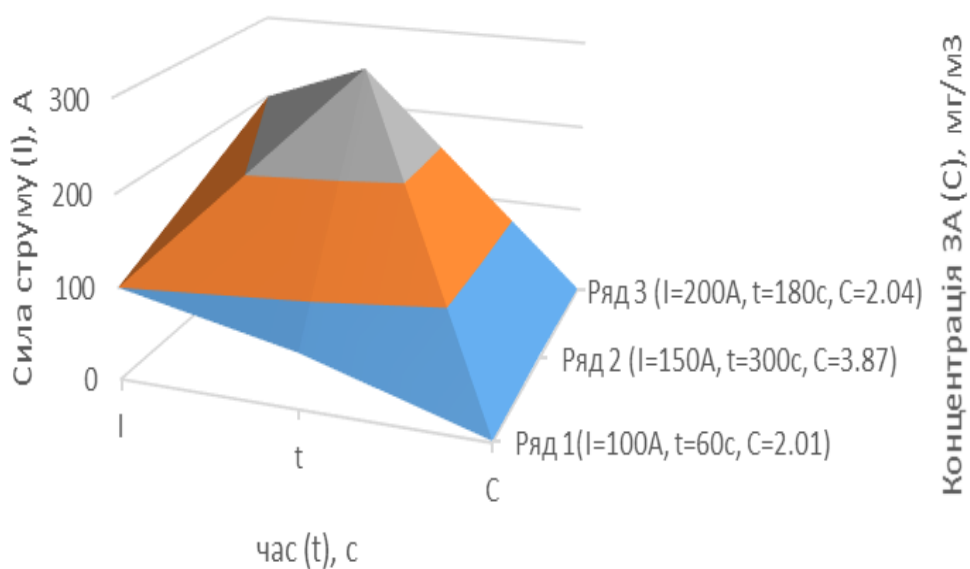
$$b_{12} = 0,4575.$$

Математична модель процесу зварювання з рутиловими електродами набуває вигляду:

$$\hat{Y} = 2,4825 - 0,0375X_1 + 0,9675X_2 + 0,4575X. \quad (3.87)$$



а)



б)

Рисунок 3.36 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні рутилових електродів з вентиляцією, що працює (табл. Г.3, додаток Г): а) при $I=100$ А і при $I=150$ А, б) при $I=100$ А, 150 А, 200 А.

Усі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.88)$$

Отже, усі коефіцієнти рівняння (3.87) значимі.

Відтворюваність дослідів утворення ЗА, отриманих при зварюванні рутиловими електродами, визначена за критерієм Кохрена [94] показала, що розрахункове значення якого за формулою (3.73) дорівнює $G_p = 0,152$. Відповідно табличне значення критерію Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Оскільки розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліді вважаються відтворюваними.

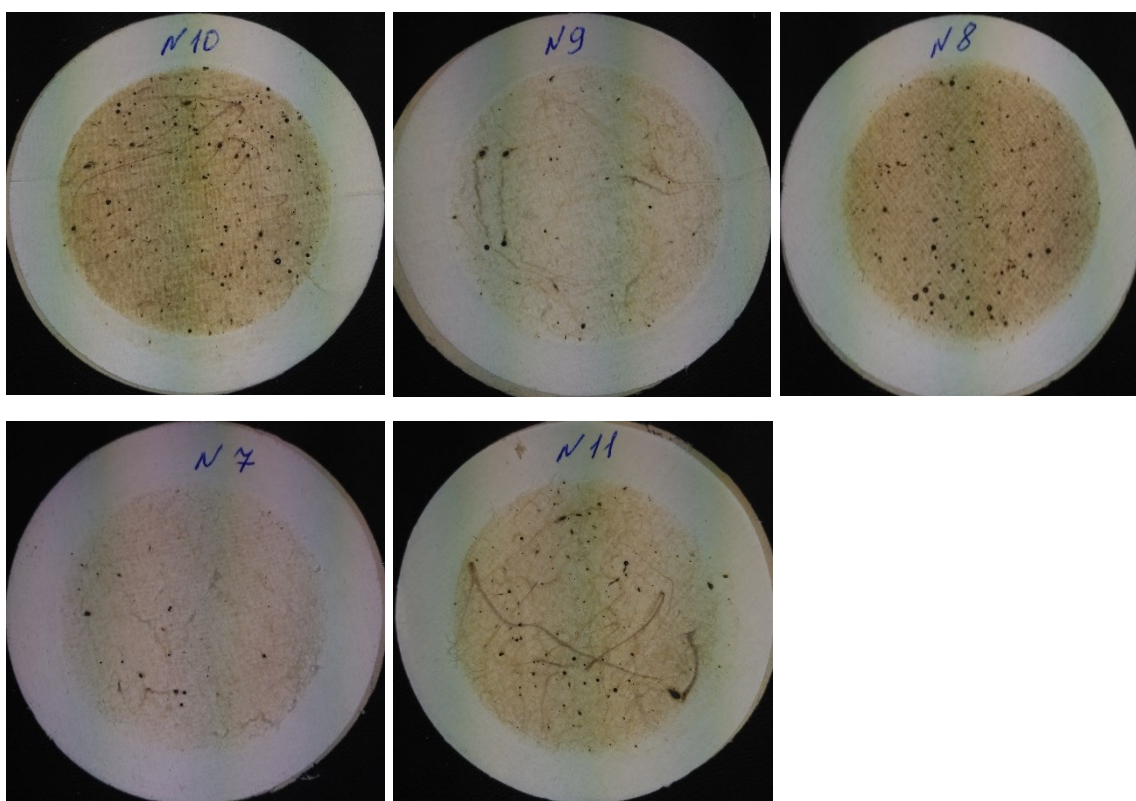
У таблиці Г.4 (додаток Г) наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення зварювального аерозолі при зварюванні основними електродами з вентиляцією. На рис. 3.37 представлені зразки, які отримані в ході експерименту при використанні електродів з основним покриттям в процесі електродугового зварювання при використанні вентиляції.

За результатами досліджень, які зображені в таблиці Г.4 (додаток Г), побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів з основним покриттям і працюючою вентиляцією (рис. 3.38).

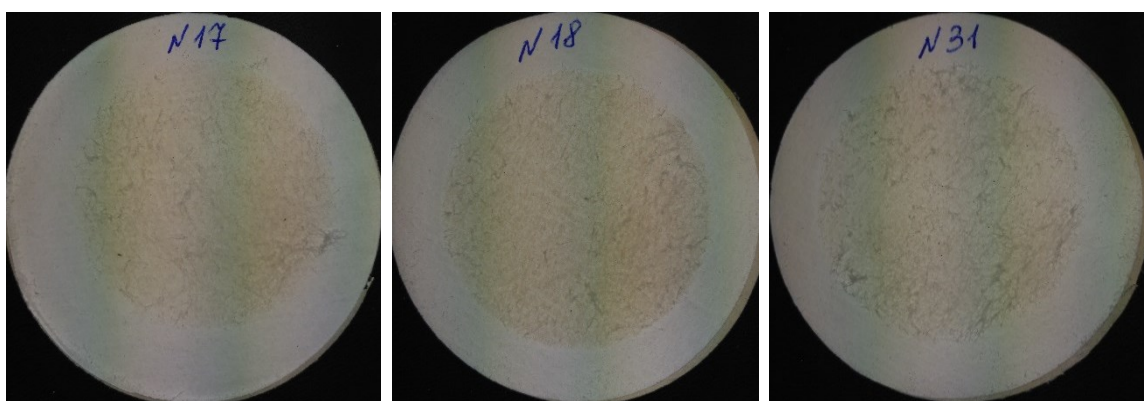
Математичну модель процесу зварювання основними електродами з використанням вентиляції записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = 2,63; b_1 = 0,405; b_2 = 1,095; b_{12} = -0,11.$$



а)

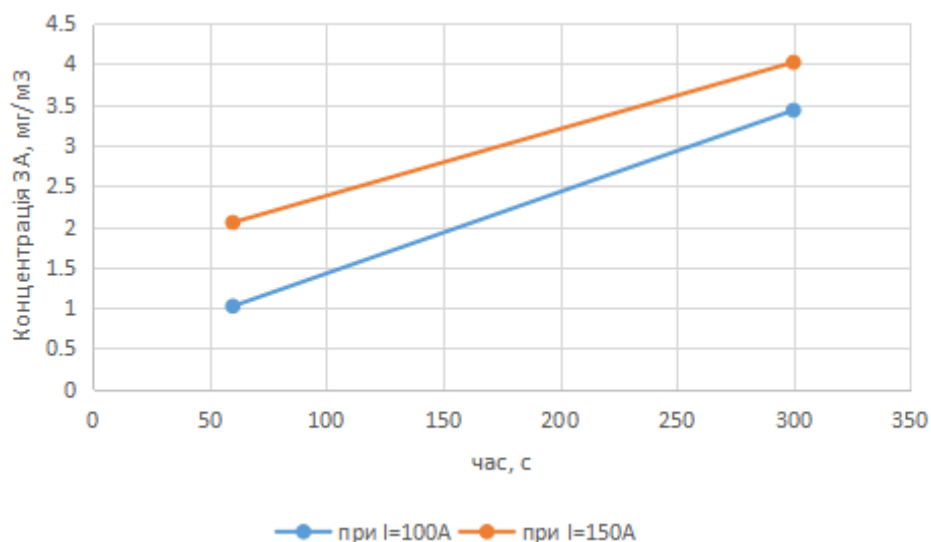


б)

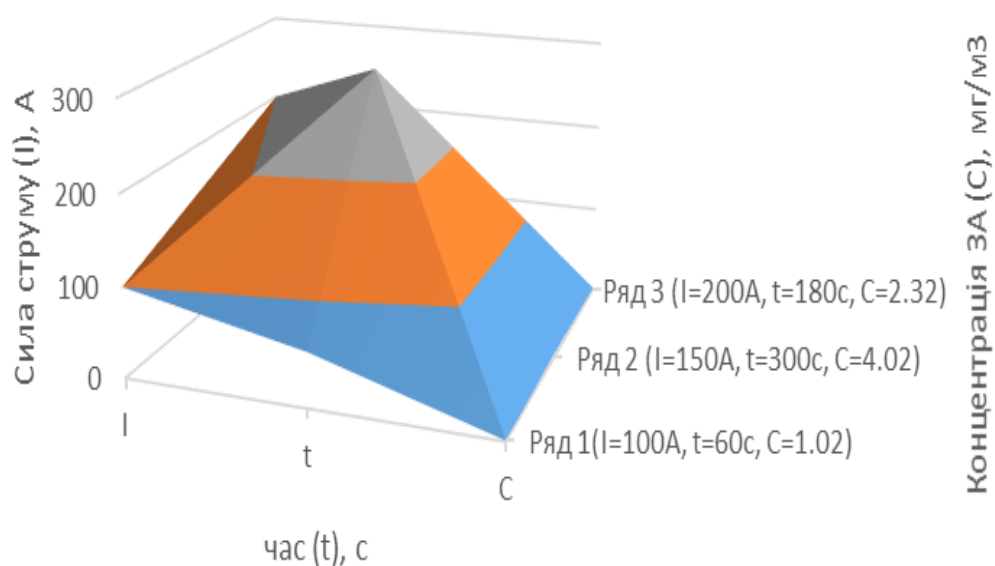
в)

г)

Рисунок 3.37 – Зразки фільтрів при використанні електродів з основним типом покриття: а) з вентиляцією, яка працює (табл.Г.4, додаток Г); б) зразок № 17 отриманий при зварюванні основними електродами при використанні вентиляції і силі струму 200 А, час 180 с, на відстані 0,5 м від місця зварювання; в) зразок № 18 отриманий при зварюванні основними електродами при використанні вентиляції і струмі 200 А, час 180 с, на відстані 1,0 м від місця зварювання; г) зразок № 31 отриманий біля органів дихання зварювальника з використанням вентиляції при струмі 200 А, 180 с



а)



б)

Рисунок 3.38 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні основних електродів з вентиляцією, що працює (табл. Г.4, додаток Г): а) при $I=100$ А і при $I=150$ А, б) при $I=100$ А, 150 А, 200 А.

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

$$\hat{Y} = 2,63 + 0,405X_1 + 1,095X_2 - 0,11X_1X_2. \quad (3.89)$$

Усі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості: $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}.$$

Отже, усі коефіцієнти рівняння (3.89) значимі.

Відтворюваність дослідів утворення ЗА, отриманих при зварюванні рутиловими електродами, визначена за критерієм Кохрена [94] показала, що розрахункове значення якого за формулою (3.73) дорівнює $G_p = 0,146$. Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Оскільки розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліди вважаються відтворюваними.

У табл. Г.5 (додаток Г) наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення зварювального аерозолю при зварюванні основними електродами з вентиляцією і пиловсмоктувачем.

На рис. 3.39 представлені зразки, які отримані в ході експерименту при використанні електродів з основним покриттям в процесі електродугового зварювання з вентиляцією, яка працює і пиловсмоктувачем.

За результатами досліджень, які відображені в табл. Г.5 (додаток Г), побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолю від часу при використанні електродів з основним покриттям при використанні вентиляції та пиловсмоктувача (рис. 3.40).

Математичну модель процесу зварювання основними електродами з використанням вентиляції та пиловсмоктувача записуємо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = 2,36; b_1 = 0,315; b_2 = 0,96; b_{12} = 0,125.$$

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

$$\hat{Y} = 2,36 + 0,315X_1 + 0,96X_2 + 0,125X_1X_2. \quad (3.90)$$

Усі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.91)$$

Отже, усі коефіцієнти рівняння (3.90) значимі.

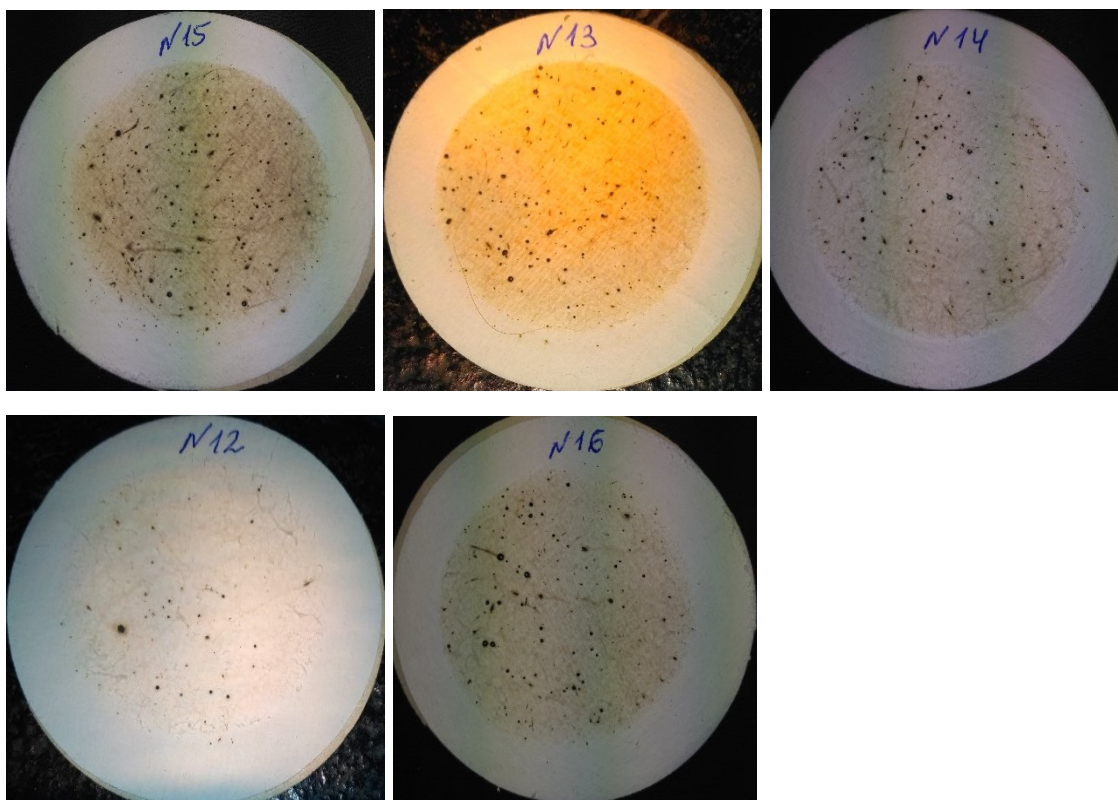
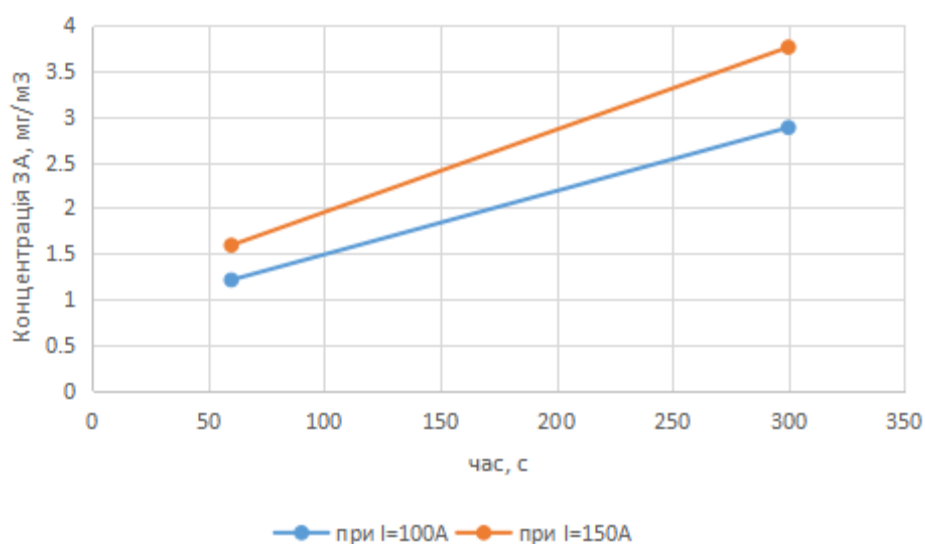
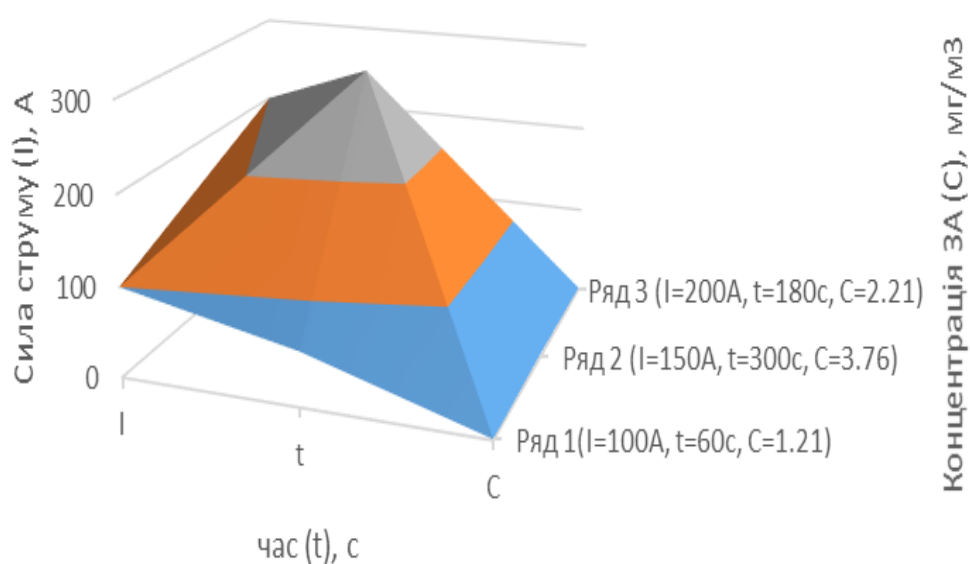


Рисунок 3.39 – Зразки фільтрів при використанні електродів з основним покриттям з вентиляцією, яка працює і пиловсмоктувачем



а)



б)

Рисунок 3.40 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні основних електродів з використанням вентиляції та пиловсмоктувача (табл. Г.5, додаток Г):

а) при $I=100$ А і при $I=150$ А, б) при $I=100$ А, 150 А, 200 А.

Відтворюваність дослідів утворення ЗА, отриманих при зварюванні основними електродами з використанням вентиляції та пиловсмоктувача електродами, визначена за критерієм Кохрена [94] показала, що розрахункове значення якого за формулою (3.73) дорівнює $G_p = 0,159$. Відповідно табличне

значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Оскільки розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліди вважаються відтворюваними.

У табл. Г.6 (додаток Г) наведено матрицю планування експерименту і результати досліджень утворення зварювального аерозолі при зварюванні основними електродами без вентиляції.

На рис. 3.41 представлені зразки, які отримані в ході експерименту при використанні електродів з основним покриттям в процесі електродугового зварювання без вентиляції

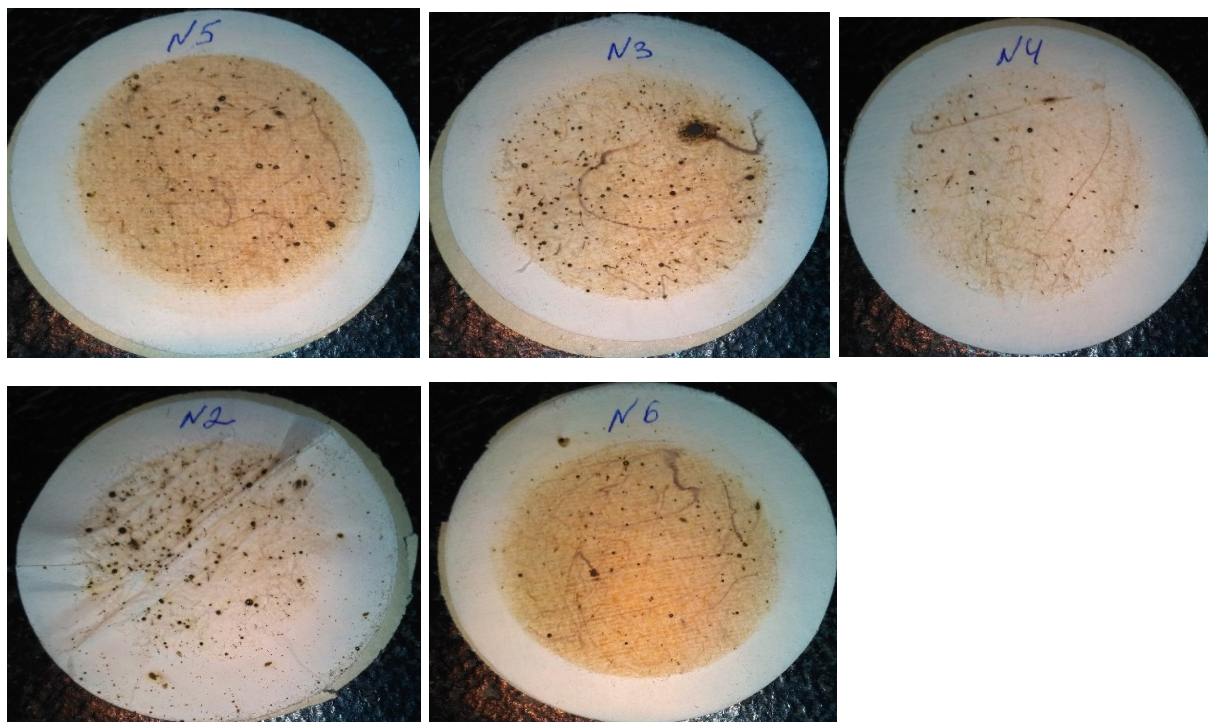
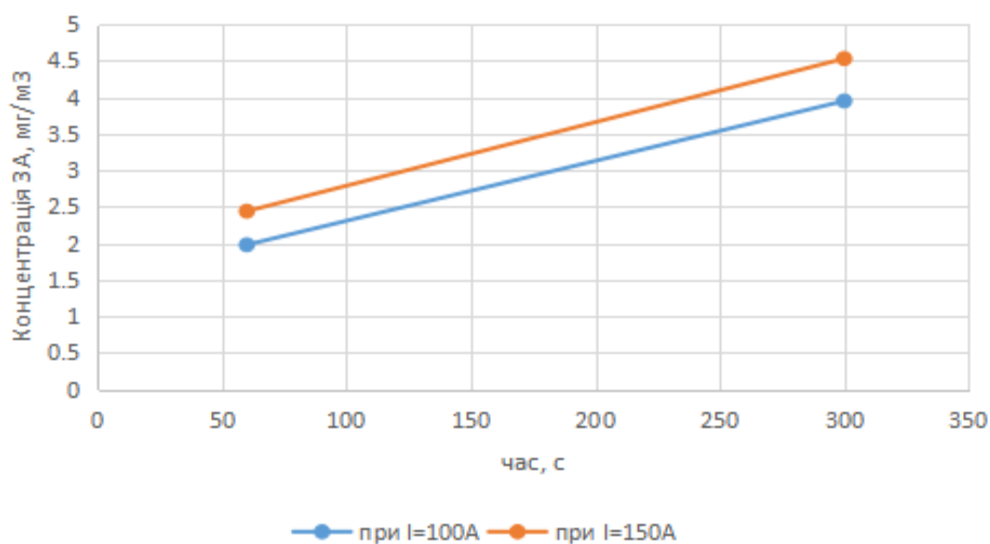
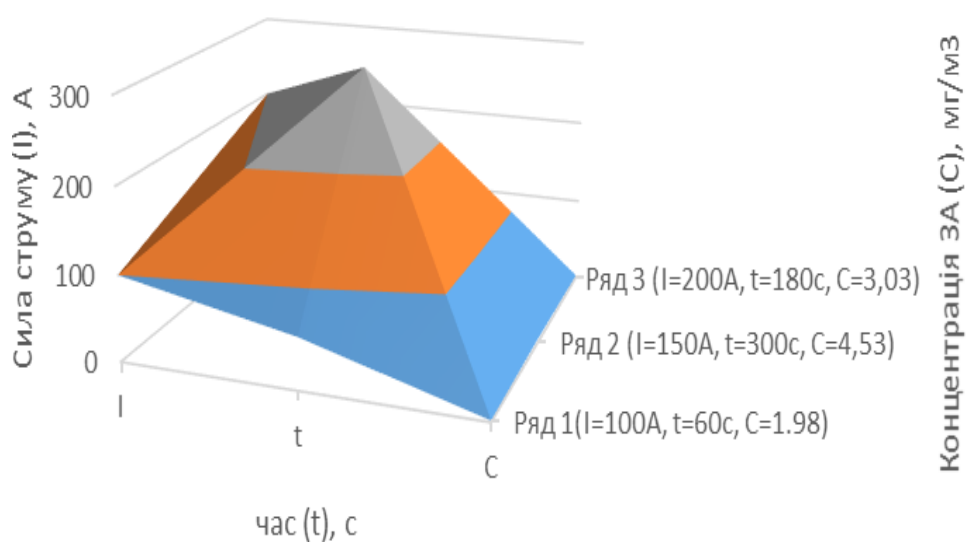


Рисунок 3.41 – Зразки фільтрів при використанні електродів з основним покриттям без вентиляції

За результатами досліджень, які відображені в таблиці Г.6 (додаток Г), побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів з основним покриттям без використання вентиляції (рис. 3.42).



а)



б)

Рисунок 3.42 – Залежність концентрації зварювального аерозолю від часу при використанні основних електродів без вентиляції (табл.Г.6, додаток Г):

а) при $I=100$ А і при $I=150$ А, б) при $I=100$ А, 150 А, 200 А.

Математичну модель процесу зварювання основними електродами без використання вентиляції запишемо у вигляді рівняння регресії відповідно до рівнянь (3.32) – (3.35).

Розрахункові значення коефіцієнтів такі:

$$b_0 = 3,225; b_1 = 0,26; b_2 = 1,015; b_{12} = 0,03.$$

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

$$\hat{Y} = 3,225 + 0,26X_1 + 1,015X_2 + 0,03X_1X_2. \quad (3.92)$$

Усі коефіцієнти рівняння регресії, які визначаються, задовольняють умовам значимості $t_{ip} > t_T$ ($f_y = N(m - 1) = 4$, $\alpha = 0,05$), тому критичне значення критерію Стьюдента:

$$t_{0,05}(4) = 2,78 < t_{ip}. \quad (3.93)$$

Отже, усі коефіцієнти рівняння (3.92) значимі.

Відтворюваність дослідів утворення ЗА, отриманих при зварюванні основними електродами без вентиляції, визначена за критерієм Кохрена [94] показала, що розрахункове значення якого за формулою (3.73) дорівнює $G_p = 0,123$. Відповідно табличне значення критерія Кохрена при числі ступенів свободи $f = k - 1 = 1$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює $G = 0,9985$ [94].

Оскільки розрахунковий критерій Кохрена не перевищує значення табличного, то однорідність дисперсій підтверджується. Отже, досліді вважаються відтворюваними.

На рис. 3.43 розглянуто залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні електродів з основним типом покриття при $I = 150$ А в 3 ситуаціях:

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

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

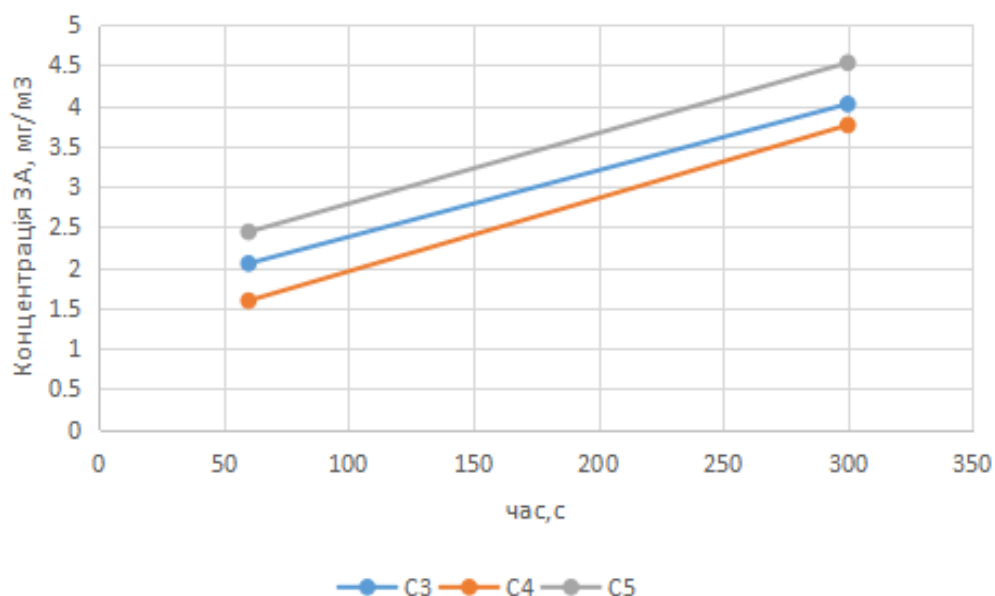


Рисунок 3.43 – Залежність концентрації зварювального аерозолу від часу при використанні електродів з основним типом покриття (С3 – з вентиляцією, С4 – з вентиляцією та пиловсмоктувачем, С5 – без вентиляції) при $I=150$ А.

На рис. 3.44 побудовані залежності концентрації зварювального аерозолу від часу при використанні вентиляції та електродів з різним типом покриття.

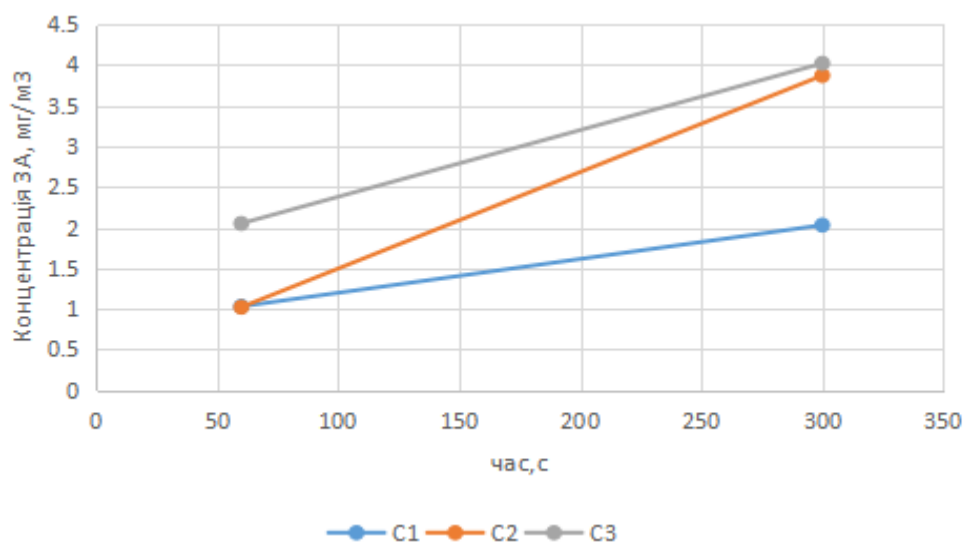


Рисунок 3.44 – Залежність концентрації зварювального аерозолу від часу при використанні вентиляції та електродів з різним типом покриття (1 – рутилово-целюлозне, 2 – рутилове, 3 – основне) при $I=150$ А.

В середовищі Mathcad [103, 104] побудовані графіки залежності концентрації зварювального аерозолі від часу і від сили струму за розрахованими математичними моделями за формулами: 3.78, 3.87, 3.89, 3.90, 3.92 (рис. 3.45-3.49).

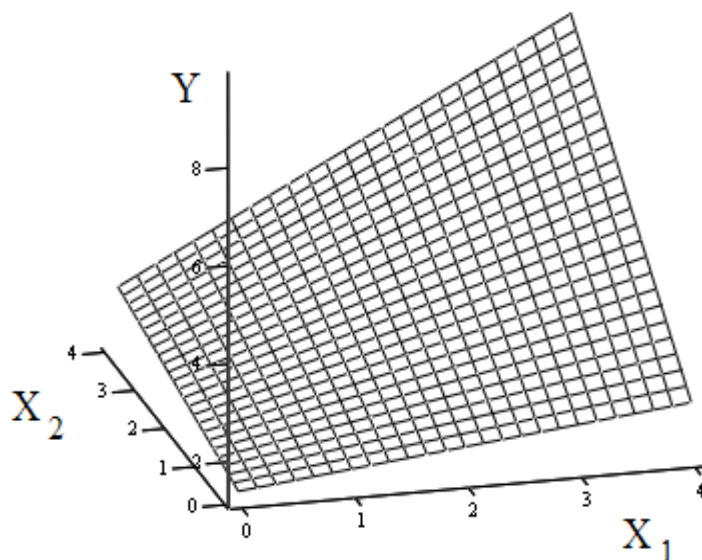


Рисунок 3.45 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні рутилово-целюлозних електродів і вентиляції (табл. 3.15).

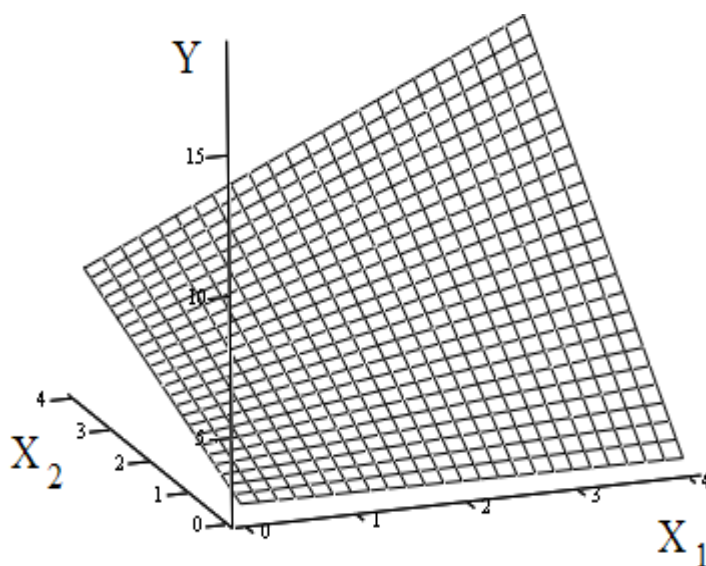


Рисунок 3.46 – Залежність концентрації зварювального аерозолі від часу при використанні рутилових електродів з вентиляцією (табл. Г.3, додаток Г).

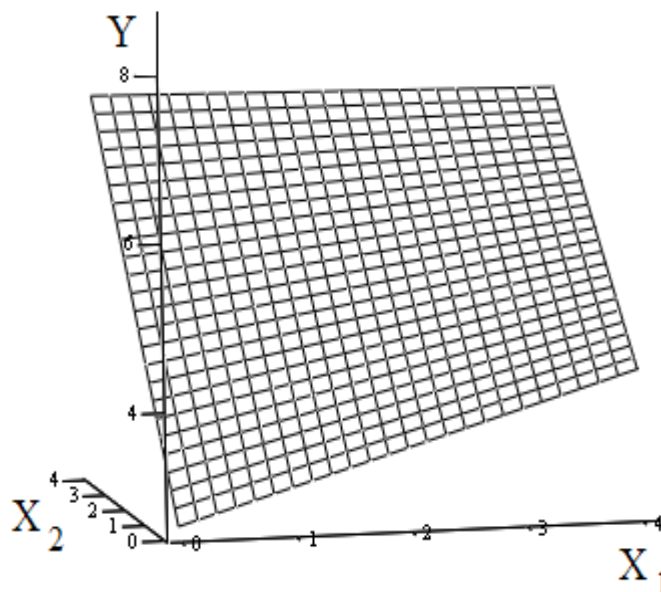


Рисунок 3.47 – Залежність концентрації зварювального аерозолю від часу при використанні основних електродів з вентиляцією (табл. Г.4, додаток Г)

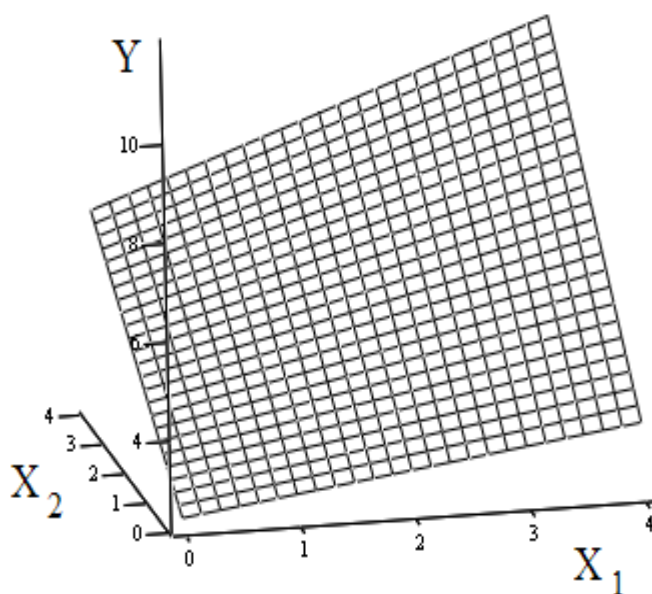


Рисунок 3.48 – Залежність концентрації зварювального аерозолю від часу при використанні основних електродів з вентиляцією та пиловсмоктувачем (табл. Г.5, додаток Г)

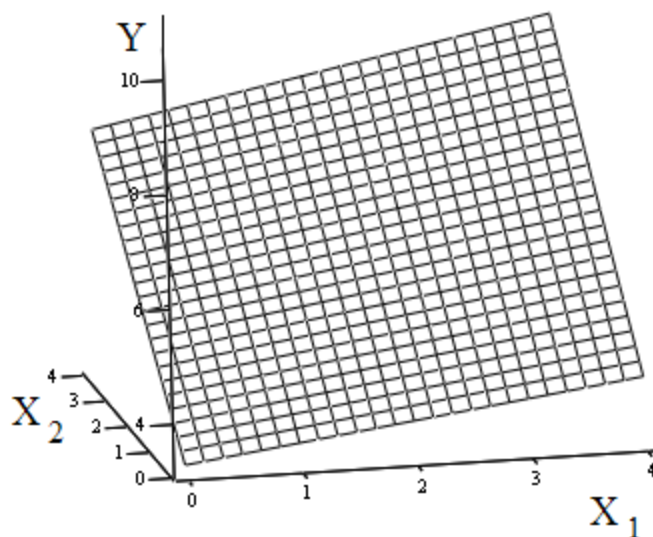


Рисунок 3.49 – Залежність концентрації зварювального аерозолю від часу при використанні основних електродів без вентиляції (табл.Г.6, додаток Г)

Результати досліджень доводять, що найбільша концентрація ЗА від електродів з основним покриттям, менше – з рутиловим. Встановлено, що із трьох досліджених типів електродів, менше ЗА утворюється при роботі із з рутилово-целюлозним покриттям. Результати дослідження вказують на те, що при використанні електродів з рутиловим типом покриття через 310-320 секунд ці електроди стають більш небезпечними, чим основні [105, 106].

Висновки до розділу 3

1. Виконані дослідження та отримані результати забрудненості повітря робочої зони чадним газом і зварювальним аерозолем на ділянках зварювання довели необхідність комплексного рішення щодо їх зниження.
2. Встановлено, що концентрація зварювального аерозолю зменшується при збільшенні відстані від джерела нелінійно.
3. Виконані дослідження довели, що викиди зварювального аерозолю можуть потрапляти у зону дихання не тільки зварювальника, а також оточуючих при

відсутності припливно-витяжної вентиляції та неефективній місцевій витяжній вентиляції.

4. Визначено, що використання тільки витяжної вентиляції без припливно-витяжної не може забезпечити припустимий рівень забруднень у робочій зоні зварювання та у приміщенні.

5. Встановлено, що для того, щоб забезпечити допустимі умови праці зварювальнику безпосередньо в закритій робочій зоні необхідно встановити і припливну, і витяжну вентиляцію, щоб зварювальний аерозоль відсікався потужним потоком повітря. Припливна вентиляція обов'язково повинна бути з двох сторін зварювальника. На робочих місцях тих, хто зайнятий процесом навчання, достатньо звичайної вентиляції.

6. Обґрунтовано обов'язкове використання індивідуальних засобів захисту та ефективних технічних приладів контролю концентрації чадного газу у зоні дихання працівника, при відсутності припливно-витяжної вентиляції.

7. Визначено необхідність проведення у процесі підготовки до зварювання вибору електродів з меншою кількістю забруднюючих викидів ЗА у повітря робочої зони.

8. Було побудовано дерево відмов систем захисту від чадного газу. В результаті його математичного аналізу були виявлені найбільш впливові елементи, складені альтернативні варіанти системи захисту і серед них обраний найбільш оптимальний варіант. Дана оптимізація дозволила знизити ймовірність відмови системи захисту втричі.

9. Встановлено, що при одиничній кількості виділених елементів (умов експлуатації) і їх альтернативної заміни (до 3 шт.) задача може вирішуватися шляхом повного перебору комбінацій. Збільшення кількості вимагає застосування більш складних оптимізаційних методів і відповідного програмного забезпечення.

10. Складено дерево відмов і розрахункова формула для ймовірності відмови системи.

11. Визначено вплив окремих елементів на ймовірність відмови системи, виділені найбільш значущі елементи. Підтверджено доцільність використання для цього приватних похідних функцій ймовірності відмови системи.

12. Доведено можливість керування ризиком шляхом оптимізації вибору найбільш значущих елементів і умов їх експлуатації. Запропоновано два варіанти постановки задачі з цільовими функціями і обмеженнями. Продемонстровано можливість досягнення позитивного ефекту в обох випадках.

13. Встановлено, що засоби індивідуального захисту, що повинні застосовуватися на робочих місцях зварювальників, практично не використовуються або не відповідають рівню захисту, необхідному при утворенні монооксиду вуглецю. Тому основним захистом залишається вентиляція повітря у зоні зварювання. Необхідно враховувати специфіку проведення зварювальних робіт поза стаціонарними робочими місцями, особливо у замкнутих просторах, де, згідно з отриманими розрахунками, за експоненційною залежністю зростає концентрація монооксиду вуглецю. За отриманими динамічними показниками росту концентрації монооксиду вуглецю необхідно кожну годину перевіряти концентрацію чадного газу при роботі у приміщенні, де є вентиляція, при її відсутності – через кожні 0,5 години. Це дозволить запобігти гострому та професійному отруєнню монооксидом вуглецю зварювальників. Для контролю за концентрацією чадного газу можна ефективно використати газові аналізатори-сигналізатори типу ДОЗОР.

14. Визначено ефективність застосування приладу газоаналізатора ДОЗОР-С-М щодо попередження ризику отруєння монооксидом вуглецю зварювальників при виконанні робіт у приміщеннях без вентиляції та відсутності відповідних ЗІЗ органів дихання. Газовідбірну штангу треба розміщувати так, щоб відбір газу був трохи вище голови працівника. При досягненні позначки на приладі «ПОРОГА-1» (20 мг/м^3) прилад подає сигнал про необхідність припинення робіт та вживання заходів щодо провітрювання простору, де відбувається зварювання. Це дозволить запобігти нещасним випадкам із отруєнням зварювальників.

15. Визначено, що утворення монооксиду вуглецю при ручному ЕДЗ призводить до ситуацій, коли ризик стає неприпустимо високим (більш $R=300$ за методом Файн-Кінні), і означає існування високої загрози життю та здоров'ю зварювальників. Тому зварювальники повинні постійно контролювати наявність та концентрацію монооксиду вуглецю (чадного газу) у приміщенні, де відбувається процес зварювання, а також контролювати роботу систем вентиляції, щоб зменшити рівень ризику до мінімального показника ($R \leq 10$).

16. 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 експоненційну залежність, так і лінійну та логарифмічну. Кожен із цих варіантів залежить від стану вентиляції приміщення, де відбувається процес зварювання, його розмірів, особистості електродів що використовуються, та експозиції самого процесу зварювання. При наявності та справної роботи вентиляції процес утворення чадного газу розвивається за логарифмічною формою, при її відсутності – за лінійною, що дуже небезпечно.

17. Встановлено, що з метою запобігання нещасним випадкам під час виконання зварювальних робіт, особливо в замкнутих просторах, необхідно забезпечити постійний контроль повітряного середовища під час виконання робіт. Тому працівники, які виконують роботи у замкнутому просторі, мають бути забезпечені контрольно-вимірювальними приладами та сигналізаторами, які реагують на появу в робочій зоні чадного газу, а також засобами індивідуального захисту на основі фільтрів-сорбентів для очищення від СО.

18. Доведено, що для видалення і розрідження небезпечних газів та забезпечення припливу свіжого повітря повинна бути влаштована система примусової вентиляції не лише витяжної, а й припливної. Контроль стану повітряного середовища має продовжуватись у процесі всієї роботи.

19. Виконані дослідження та отримані результати забрудненості повітря робочої зони зварювальним аерозолем на ділянці зварювання довели залежність утворення ЗА у повітрі робочої зони від типу електродів та необхідність вибору для

роботи при ручному електродуговому зварюванні електродів з меншою кількістю викидів ЗА у повітря робочої зони, що дозволяє регулювати та зменшувати обсяги ЗА, які виділяються у оточуюче середовище.

20. Досліджено зміни концентрацій зварювального аерозолі, які утворюються при ручному електродуговому зварюванні та використанні електродів з основним типом покриття, рутиловим та рутилово-целюлозним.

21. Визначено математичні залежності процесів утворення ЗА за допомогою повного факторного експерименту типу ПФЕ-2² та встановлено характер розповсюдження зварювального аерозолі, який може бути причиною професійних захворювань зварювальників.

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

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

24. 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 300 с при електричному струмі 100 А, більше СО утворюється при використанні основних електродів.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [76,105, 106].

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ПРАЦІВНИКА ВІД ВПЛИВУ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ ТА МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

4.1 Розроблення та створення нової модифікації маски зварювальника

З метою удосконалення стандартного засобу оцінки чадного газу на робочих місцях автором була розроблена та створена 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.

Розроблена модель відноситься до засобів захисту при виконанні монтажних, збирально–зварювальних, газорізальних, захисних та інших робіт, а саме очей, обличчя працюючого на виробництві.

Відомі захисні маски зі світлофільтром, призначені для захисту очей, обличчя, шкіряного покриву голови і шиї від випромінювання дуги та від бризок розплавленого металу. Захисні маски складаються з корпусу, який виготовлюється з тонкого термостійкого матеріалу, оглядового скла-світлофільтра, розташованого на рівні очей; наголовника для кріплення на голові.

Недоліком цих масок є те, що не враховується захист органів дихання від зварювального аерозолю, немає можливості одночасного виявлення і вимірювання шкідливих речовин, які можуть потрапити до організму зварювальника в процесі роботи.

Відома конструкція захисної маски зварювальника «хамелеон» з автозатемненням, яка складається з корпусу маски, світлозахисного фільтра та наголовника.

Недоліком цього пристрою є неможливість одночасного виявлення і вимірювання шкідливих речовин, які утворюються при зварюванні та можуть потрапити до організму зварювальника в процесі роботи.

В основу нової розробки поставлена задача створення захисної маски 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 [107].

Поставлена задача вирішується тим, що захисна маска зварювальника, яка містить корпус маски, світлозахисний фільтр, наголовник, згідно розробленої моделі, додатково введений сигналізатор чадного газу, який розташований всередині корпусу маски у верхній її частині за допомогою фіксуючих елементів вузла кріплення.

Суть розробленої моделі пояснюється кресленнями, де на рис. 4.1 зображений вид маски збоку.

Захисна маска зварювальника містить корпус 1, світлозахисний фільтр 2, наголовник до маски 3, сигналізатор чадного газу 4, розташований всередині корпусу маски у верхній її частині, вузлом кріплення 5.

Описана вище захисна маска зварювальника використовується наступним чином.

Перед початком роботи зварювальник перевіряє стан сигналізатора чадного газу, вмикає його, надягає маску на голову за допомогою наголовника, встановлює в робоче положення та проводить зварювальні роботи. Під час роботи всередину маски можуть потрапляти зварювальний аерозоль та газоподібні шкідливі речовини.

Сигналізатор чадного газу виявляє і визначає наявність моно оксиду вуглецю в повітрі робочої зони безпосередньо під захисною маскою зварника. Коли пристрій працює в нормальному режимі, зелений світлодіод блимає кожні 30 с.

Якщо виявлений 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/або залишити виробничу ділянку.

Запропонована розробка складається з маски зварювальника «Хамелеон Stark WM 1000» і сигналізатора наявності чадного газу L326, який розміщений під маскою (рис. 4.1).

Таким чином, захисна модифікована маска дозволить захистити зварювальника від випромінювань зварювання, диму, бризок розпечених частинок, а також від впливу чадного газу. Це дасть можливість застосовувати його в будь-яких приміщеннях, особливо з обмеженим простором.

Захисна маска зварювальника, що включає корпус маски, світлозахисний фільтр та наголовник, яка відрізняється від інших моделей тим, що додатково введений сигналізатор чадного газу, який розташований всередині корпусу маски у верхній її частині за допомогою фіксуючих елементів вузла кріплення.

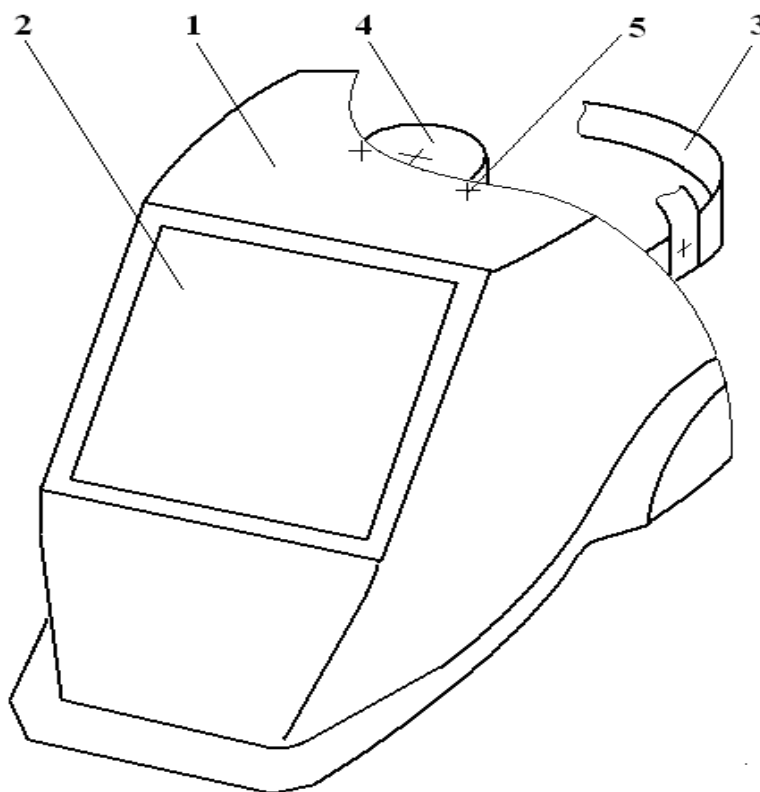


Рисунок 4.1 – Вид збоку маски зварювальника

До недоліків цього пристрою слід віднести те, що працівник повинен перервати свою працю, та зайнятися своїм захистом, покинувши небезпечну зону. Тобто він втрачає робочий час.

Є пристрій, розроблений Гасило Ю.А., Сафоновим В.В., Стрежекуровим Е.Є. «Каска» [108]. Дана каска, котра містить внутрішню та зовнішню поверхні з повітряною порожниною між ними, вентилятор, вентиляційні отвори із встановленими на них з'ємними сегментами тепловідбиваючого екрану, резервуар з твердою або рідкою вуглекислотою, розширювальну камеру, мікроінгалятор, закріплений на її полях в області вискової частини, із гнучкою подаючою трубкою, обладнаною на кінці краплерозпилювачем, алюмінізовану тканину, прикріплену до бокової та задньої частини полів каски, захисний щиток, встановлений під козирком, котрий містить вихлопний клапан, вмонтований у нього на рівні органів дихання, та систему пилогазоочистки, встановлену на потиличній частині каски вище місця розташування вентилятора і з'єднану за допомогою повітроводу з порожниною подаючої трубки, яка відрізняється тим, що захисний щиток виконаний у вигляді прозорого екрану з фотохромного скла.

Каска відноситься до засобів індивідуального захисту голови та обличчя від надлишкових тепло- та пилогазових виділень і профілактики захворювань верхніх дихальних шляхів і може бути використаний для підвищення безпеки життєдіяльності. Каска за рахунок особливостей конструктивного виконання її захисного щитка забезпечує високу ефективність захисту обличчя та голови оператора в умовах підвищених теплопилогазових виділень.

Це вирішується за рахунок того, що у касці, яка містить зовнішню та внутрішню поверхні з повітряною порожниною між ними, вентилятор, вентиляційні отвори із встановленими на них з'ємними сегментами тепловідбиваючого екрану, резервуар з твердою або рідкою вуглекислотою, розширювальну камеру, мікроінгалятор, закріплений на її полях у області вискової частини, із гнучкою подаючою трубкою, обладнаною на кінці краплерозпилювачем, алюмінізовану тканину, прикріплену до бокової та задньої частини полів каски, захисний щиток, встановлений під козирком, котрий містить вихлопний клапан, вмонтований у нього на рівні органів дихання, та систему пилогазоочистки, встановлену на потиличній частині каски вище місця

розташування вентилятора і з'єднану з допомогою повітропроводу з порожниною подаючої трубки, захисний щиток виконано з фотохромного скла.

Суть роботи каски пояснюється кресленням, де на рис. 4.2 показана конструкція каски із захисним козирком 1, що містить сегменти тепловідбиваючого екрану 2, внутрішню порожнину 3 між двома поверхнями тепловідбиваючого екрану, вентиляційні отвори 4, вентилятор 5 з повітряними клапанами 6, розширювальну охолоджуючу камеру 7, резервуар з рідкою вуглекислотою 8, систему пилогазоочистки, що складається з фільтру тонкої очистки 9 і виконана разом із вхідним каналом 10 та нейтралізатором 11 із спеціальними поглиначами з метою нейтралізації шкідливих та агресивних газів, які знаходяться у повітрі робочої зони, інгалятор 12 з подаючою трубкою 13 та краплерозпилювачем 14 на кінці, елементи живлення вентилятора 15, захисний щиток 16, бортики 17 з формою жолоба 18, вихлопний клапан 19, розташований у нижній частині захисного щитка з фотохромного скла, алюмінізовану тканину 20 із з'єднувальними заклепками 21 і манжетом 22, запірний кран інгалятора 23, вентилятор подачі повітря для дихання 24, резервуар з рідиною для інгаляції 25.

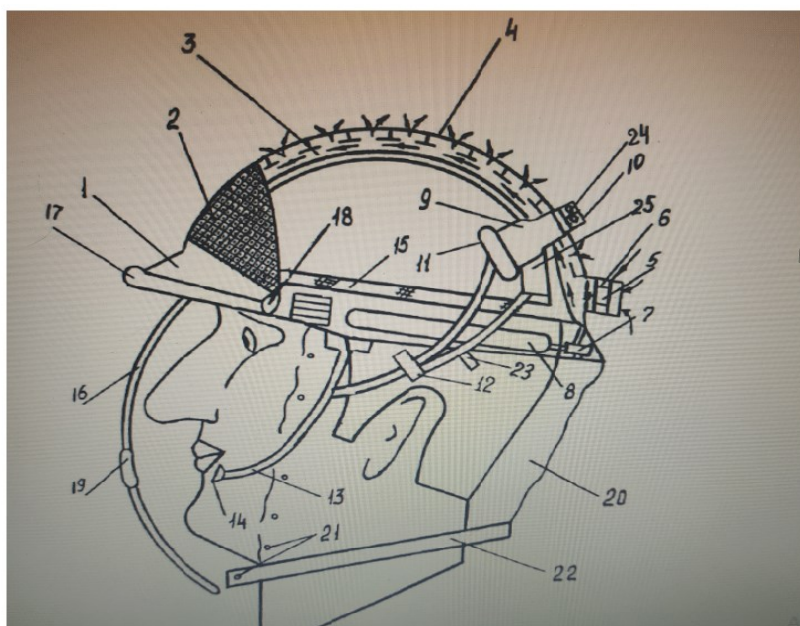


Рисунок 4.2 – Каска, розроблена Гасило Ю.А., Сафоновим В.В.,
Стрежекуровим Е.Є.

Пристрій працює наступним чином. Під час роботи в умовах надлишкових тепло- та пилогазових виділень включається вентилятор 5, котрий нагнітає повітря у внутрішню порожнину каски 3. Повітря з надлишковим тиском виходить через вентиляційні отвори 4 та, пройшовши через сегменти тепловідбиваючого екрану 2, охолоджується, частково очистивши їх від пилу крупних фракцій. Надлишковий тиск, необхідний для забезпечення дихання, створюється за допомогою вентилятора 24. Потім повітря проходить через фільтр тонкої очистки 9, нейтралізатор 11, інгалятор 12 і, насичуючись крапельками інгалюючої суміші, по подаючій трубці 13 та краплерозпилювачу 14, подається у зону дихання. Відпрацьоване повітря виходить через вихлопний клапан 19. У приточному отворі охолоджуючої системи знаходиться повітряний клапан 6, котрий перекриває приточний отвір вентилятора 5 під час його неробочого стану та надлишковому тиску всередині каски. Надлишковий тиск всередині порожнини каски 3 створюється вуглекислотою, котра розширяється та випаровується у екстремальних ситуаціях (робота у зоні пожежі, під час ремонту неохололого обладнання та ін.). Запірний кран 23 перекриває отвір подаючої трубки від резервуару 25 під час роботи у холостому режимі чи відсутності пилогазових викидів (домішок) у повітрі робочої зони. Вуглекислота, яка знаходиться у спеціальному контейнері 8, розташованому всередині каски на її бортах 17. Використання вуглекислого газу у розширювальній камері 7 застосовується у випадках вищевказаних екстремальних ситуацій. Внаслідок конструктивного виконання бортів каски та надлишкового тиску повітряно-інгаляційної суміші всередині робочого простору каски, вуглекислий газ не попадає у зону дихання, т.як він стікає спочатку по корпусу каски, а далі по жолобу 18 і убирається за межі зони дихання, а бортики 17 у вигляді жолоба 18 виконують роль кріплячого елементу для систем та вузлів каски (елементи живлення, захисний щиток, інгалятор та ін.), а також для запобігання від падаючих речей.

При зміні інтенсивності оптичного випромінювання захисний щиток з фото хромного скла змінює свою оптичну щільність і захищає обличчя оператора від перегрівання та шкідливого теплового випромінювання.

Пристрій працює автономно. При пошкодженні захисного щитка та окремих елементів (сегментів) тепловідбиваючого екрану вони легко замінюються. При аварійній ситуації при пошкодженні системи, яка подає повітря у зону дихання, передбачається швидке знімання щитка 19.

Виконання захисного щитка з фотохромного скла дозволяє знизити рівень енергії, яка діє на обличчя оператора до гігієнічних нормативів. При цьому автоматично регулюється рівень пропускання теплового потоку через щиток. Малі потоки теплової енергії не викликають потемніння скла. Однак чим вища енергія теплового потоку, тим темнішим стає скло щитка. Цей пристрій працює та очищає повітря у зоні дихання, але зважаючи на відсутність системи контролю газів (датчиків) він повинен працювати постійно або включатись на розсуд працівника, що скорочує час його застосування та зменшує ефективність.

Пропонується обладнати пристрій Гасило Ю.А., Сафонова В.В., Стрежекурова Е.Є. «Каска» датчиком-сигналізатором (або двома) перевищення допустимої концентрації газів (СО), з'єднавши його із елементом включення подачі чистого повітря у зону дихання при виконанні зварювальних робіт (рис. 4.3). Датчик-сигналізатор на рис. 4.3 показаний номером 26.

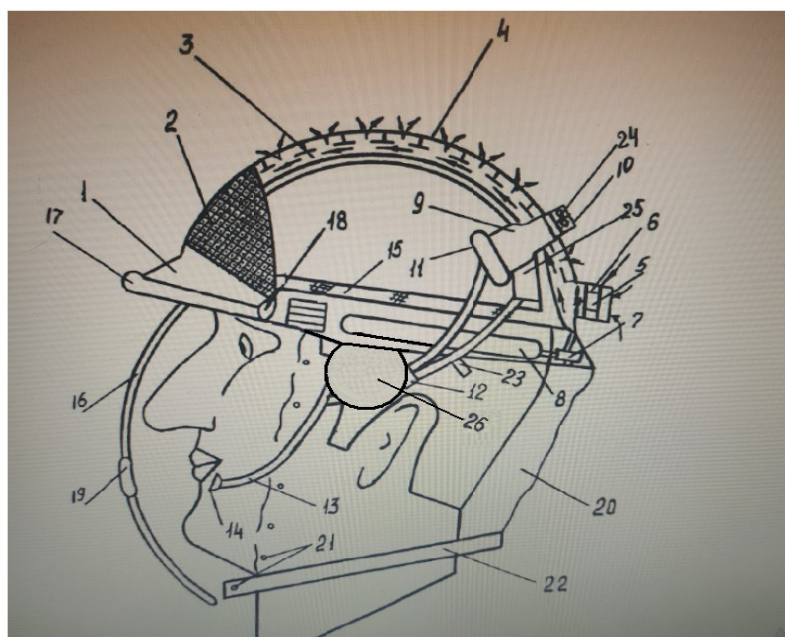


Рисунок 4.3 – Каска з датчиком-сигналізатором (або двома) перевищення допустимої концентрації газів (СО)

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. А також, для аналізу стану накопичення СО у приміщенні, другий датчик необхідно встановлювати зовні маски. Таким чином, досягається ефективний контроль за концентрацією газів та включення подачі очищеного повітря у разі збільшення її до неприпустимих рівнів у разі необхідності. При спрацюванні датчика-сигналізатора, розташованого зовні маски, необхідно перевірити включення роботи вентиляторів. Якщо вмикається датчик-сигналізатор під маскою, необхідно контролювати роботу вентиляторів та зміну концентрації СО. Датчик-сигналізатор має декілька встановлених порогових значень СО, а тому при збільшенні порогового значення, незважаючи на роботу вентиляторів, треба негайно покинути робочу зону, тому що вона стає небезпечною для життя зварювальника.

Таким чином, є два варіанти використання захисних індивідуальних засобів органів дихання зварювальника:

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

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

4.2 Побудова дерева несправностей (відмов) і розрахункової формули ймовірності відмови системи захисту людини від чадного газу в приміщенні, де відбуваються процеси зварювання

Для удосконалення методики та стандартного засобу оцінки чадного газу на робочих місцях система захисту доповнена сигналізаторами чадного газу, які вмонтовані в шоломи (рис. 4.4) [109, 110].

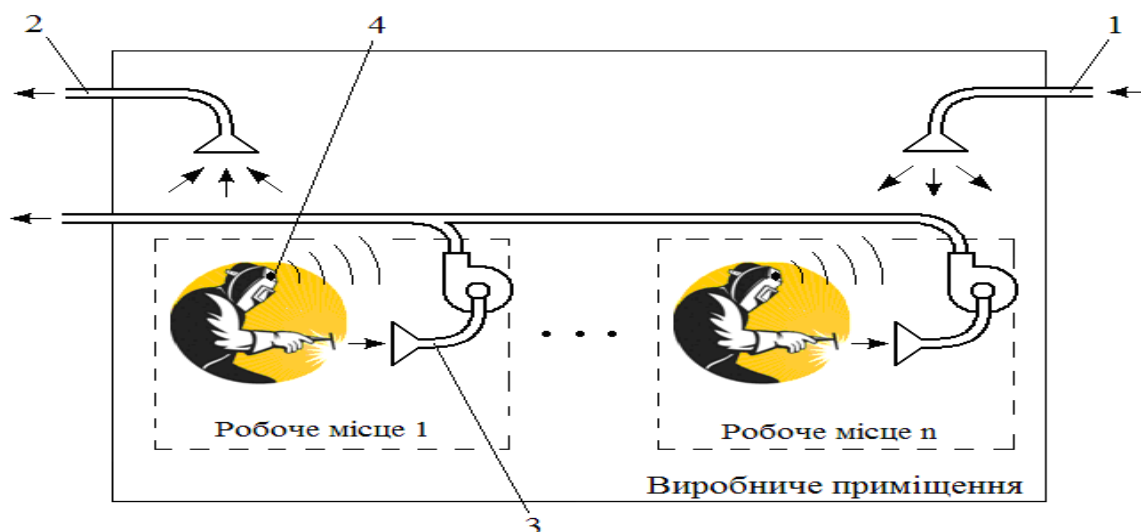


Рисунок 4.4 – Функціональна схема захисту працівників зварювальної ділянки від чадного газу (шоломи з сигналізатором газу): 1 – загальнообмінна припливна вентиляція; 2 – загальнообмінна витяжна вентиляція; 3 – місцева витяжна вентиляція на робочому місці; 4 – сигналізатор чадного газу.

Система захисту доповнена сигналізаторами чадного газу, які вмонтовані в шоломи (рис. 4.4). Інтенсивність відмов сигналізатора складає $1,8 \cdot 10^{-6}$.

Дерево відмов системи показано на рис. 4.5.

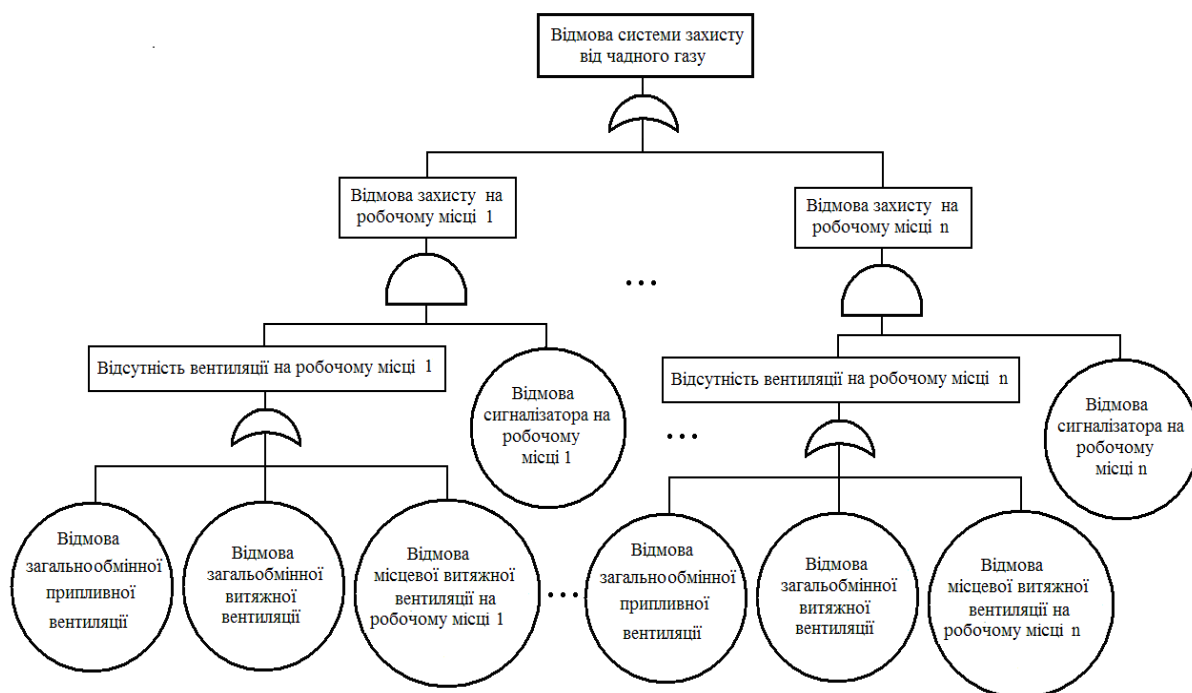


Рисунок 4.5 – Дерево відмов системи захисту людини від чадного газу (шоломи з сигналізатором газу)

Ймовірність відмови доповненої системи захисту розраховується за формулою (4.1):

$$P_5 = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_6), \quad (4.1)$$

де P_6 – ймовірність відмови захисту на окремому робочому місці,

$$P_6 = P_7 \cdot P_8, \quad (4.2)$$

де P_7 – ймовірність відмови вентиляції на окремому робочому місці;

P_8 – ймовірність відмови сигналізатора (розраховується за допомогою формули (3.16)),

$$P_7 = 1 - (1 - P_1) \cdot (1 - P_2) \cdot (1 - P_4). \quad (4.3)$$

Підставляючи певні чисельні значення в формули (3.16, 4.3, 4.2, 4.1), відповідно, отримаємо: $P_8 = 0,0009$; $P_7 = 0,0523$; $P_6 = 0,0005$. Ймовірність відмови доповненої системи захисту дорівнює

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

4.3 Дослідно-експериментальна оцінка результатів проведених досліджень

В даний час в усьому світі широко використовується дистанційна форма навчання. При дистанційній формі навчання, де практично відсутнє «живе» спілкування з викладачем, виникають складності з засвоєнням теоретичного матеріалу та виконанням практичних завдань і лабораторних робіт. Застарілі

підходи не забезпечують достатній рівень вивчення матеріалу та гідну оцінку отриманих знань. Стрімкий розвиток технологій вимагає від сучасних викладачів розробку нових методологій, що будуть як найкраще відповідати темпам сьогоднішніх освітніх потоків. У зв'язку з цим на кафедрі «Охорона праці» Харківського національного університету радіоелектроніки щорічно розробляються і впроваджуються в навчальний процес нові комп'ютерні моделюючі програми, які дають можливість наочно розглядати вплив різних чинників на людину і навколишнє середовище, знайомлять з методами і засобами захисту від їх негативного впливу. Метою створення комп'ютерних моделей лабораторних робіт з дисциплін «Екологічна безпека», «Безпека життєдіяльності людини», «Основи охорони праці» є закріплення теоретичних знань за допомогою різних візуальних компонентів і засобів інформаційних технологій. Комп'ютерні моделі адекватно відображають всі фізичні процеси, досліджувані при виконанні лабораторних робіт. Однією з таких робіт є програма «Зварювальник».

В сучасних умовах питання безпеки життя і діяльності людини, а також пошук засобів захисту людини від негативних наслідків, пов'язаних з антропогенним впливом на людину і на навколишнє середовище, є актуальним. На сьогоднішній день людина в повсякденному житті і в процесі трудової діяльності піддається впливу безлічі факторів, що негативно позначаються на його здоров'ї. Проблема впливу небезпечних і шкідливих чинників на працюючого викликає занепокоєння про стан здоров'я людини, тому особливу увагу приділяють питанням навчання молодих фахівців, студентів основам захисту від чинників небезпек.

Надзвичайно цікавим є питання створення навчального комплексу, який дозволяє просімулювати функціонування стану здоров'я працюючого під впливом техногенних факторів.

Вивчення питань, пов'язаних з методичною розробкою лабораторних і практичних робіт, на яких застосовуються комп'ютерні ігри в навчальних цілях, є одним з актуальних напрямків у дослідженні комп'ютерного навчання. Особлива увага до комп'ютерних ігор пов'язана з двома обставинами. По-перше,

використання комп'ютера є якісно новим етапом застосування гри в навчальному процесі, яка традиційно займала важливе місце поряд з іншими організаційними формами навчальної діяльності. По-друге, становлення і розвиток комп'ютерних ігор багато в чому пов'язано з їх величезною популярністю і широким поширенням. В даний час комп'ютерні ігри вважаються «повноправним елементом культури в епоху науково-технічної революції». Дуже важливо приділяти увагу комп'ютерним моделям, які імітують фізичні процеси, які відбуваються на виробництві і впливають на життєдіяльність людини [111].

Нормальна життєдіяльність людини вагомо залежить від умов зовнішнього середовища, зокрема виробничого [112]. Адже в процесі трудової діяльності на організм людини чиниться своєрідний «тиск» несприятливими виробничими факторами, що прямо чи опосередковано впливає на її здоров'я та працездатність.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003–74, небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Залежно від наслідків впливу на працюючих шкідливих та небезпечних виробничих факторів розрізняють виробничі травми, професійні захворювання та професійні отруєння, внаслідок яких може відбутись зниження або втрата працездатності (тимчасова чи постійна, повна чи часткова), можливий і фатальний кінець.

Реальні умови праці мають виключати передумови для виникнення травм та професійних захворювань. Фактори, що зумовлюють умови праці, поділяють на чотири групи.

Перша група – санітарно-гігієнічні фактори – включає показники, що характеризують виробниче середовище робочої зони. Вони залежать від особливостей виробничого обладнання і технологічних процесів, можуть бути оцінені кількісно і нормовані.

Другу групу складають психофізіологічні елементи, зумовлені самим процесом праці [113]. З цієї групи лише частина факторів може бути оцінена кількісно.

До третьої групи відносяться естетичні фактори, що характеризують сприйняття працюючим навколишньої обстановки та її елементів; кількісно вони оцінені бути не можуть.

Четверта група включає соціально-психологічні фактори, що характеризують психологічний клімат у трудовому колективі; кількісній оцінці також не підлягають.

Відповідно до Гігієнічної класифікації праці, затвердженої наказом МОЗ України від 08.04.2014 р. № 248, шкідливими умовами праці є стан умов праці, за якого рівень впливу одного або більше факторів виробничого середовища та/або трудового процесу перевищує допустимий.

Одним із основних технологічних процесів у багатьох галузях промисловості є зварювання та інші споріднені технології, що характеризуються шкідливими виробничими факторами, які, в свою чергу можуть призвести до нещасних випадків та професійних захворювань.

Несприятливу дію шкідливих факторів виробничого середовища на здоров'я працівників і викликані ними професійні захворювання у зварювальному виробництві можна розділити на три основні групи:

1. Захворювання, викликані дією хімічних факторів;
2. Захворювання під дією фізичного навантаження, а також одноманітних, часто повторюваних рухів, вимушеної пози;
3. Захворювання, викликані фізичними факторами (підвищена або знижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму, ультрафіолетового, електромагнітного та інфрачервоного випромінювання).

Кожне робоче місце за умовами праці оцінюється з урахуванням впливу на працівників всіх факторів виробничого середовища і трудового процесу (фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні), передбачених гігієнічною класифікацією праці.

Діагноз професійного захворювання ставиться у кожному випадку з урахуванням характеристики умов праці, тривалості роботи працюючого за даною

професією, даних попередніх періодичних медичних оглядів, результатів клініко-лабораторних та діагностичних досліджень.

Найбільш поширеними профзахворюваннями у зварювальників є захворювання дихальних шляхів: пневмоконіоз, професійний бронхіт, гіперчутливий пневмоніт, бронхіальна астма.

Щоб робота була безпечною для осіб, безпосередньо зайнятих при процесах зварювання, і для оточуючих, слід знати можливі шкідливі і вражаючі чинники, причини їх виникнення та вміти користуватися прийомами запобігання небезпеки, засобами індивідуального і колективного захисту, щоб уникнути розвитку професійних захворювань.

Під час застосування різного виду зварювальних технологій може підвищуватись рівень електромагнітних полів [21], з'являтися лазерне, ультрафіолетове, інфрачервоне, іонізуюче випромінювання, підвищуватись напруженість електростатичного поля, рівень шуму, ультразвуку, запиленість і загазованість повітря робочої зони; можливі значні статичні навантаження на руки і плечовий пояс. Всі ці чинники належать до шкідливих виробничих чинників (ШВЧ).

Небезпечні виробничі чинники (НВЧ), які можуть виникати при зварюванні це - вплив електричного струму, іскри і бризки, викиди розплавленого металу і шлаку; можливість вибуху балонів і систем, що знаходяться під тиском; рухомі механізми і вироби. Основний наголос робиться на наглядній демонстрації наслідків антропогенної діяльності людини, її впливу на людину і навколишнє середовище [114, 115]. Також пропонуються методи вирішення цих питань.

В даній роботі будуть розглянуті і проаналізовані фізичні і хімічні фактори а саме:

- концентрація зварювального аерозолю;
- концентрація СО;
- рівень шуму;
- температура повітря;
- електромагнітне випромінювання;

- ультрафіолетове випромінювання;
- інфрачервоне випромінювання.

Для зменшення впливу таких факторів і забезпечення сталості значень характеристик життєдіяльності організму включаються механізми адаптації, що дає змогу людині пристосуватися до несприятливого впливу санітарно-гігієнічних факторів (звичайно, якщо вони не виходять за певні межі). Це досягається за допомогою додаткових витрат мускульної та нервово-психічної енергії, що в свою чергу призводить до відволікання внутрішніх ресурсів працюючого від основного трудового процесу, несприятливо впливає на психофізіологічний стан людини, її працездатність і, як наслідок, відбивається на техніко-економічних показниках підприємства.

Для того, щоб оцінити можливі наслідки впливу шкідливих чинників для виробничого процесу та для організму людини, використовують теоретичні моделі та симуляційні програми [116]. Одним з різновидів таких програм є ігри симулятори, що дозволяють вивчити механізми впливу різноманітних чинників без реальних негативних наслідків. Такі програми застосовують, щоб мати змогу провести експерименти, які неможливо або занадто складно відтворити у реальному житті. Також програми такого виду можна застосовувати для навчання студентів або інструктажу робітників.

Розроблений програмний засіб - симулятор впливу шкідливих чинників на організм зварювальника під час робочого процесу та засобів їхньої нормалізації для засвоєння та закріплення знань з охорони праці та безпеки життєдіяльності [117].

Дослідження чинників виробничого середовища в процесі зварювання крізь призму ігрового процесу.

Програма «Зварювальник» була розроблена для симуляції впливу шкідливих чинників на організм зварювальника під час робочого процесу та засобів їх нормалізації для засвоєння та закріплення знань з охорони праці та безпеки життєдіяльності [118]. Програмний засіб був створений на мові C++ з використанням додаткових графічних бібліотек. Інтерфейс програми наданий на рис. 4.6.

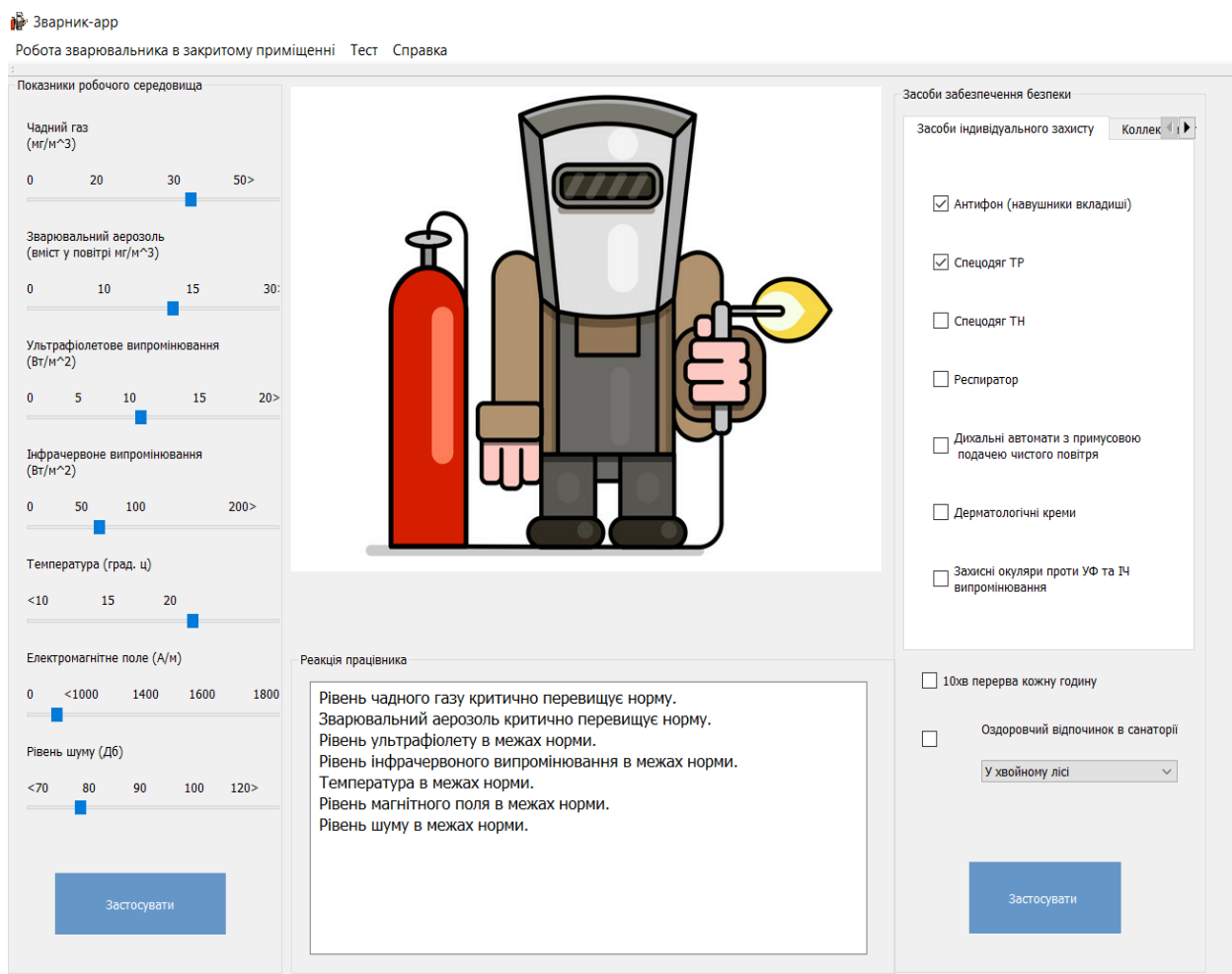


Рисунок 4.6 – Інтерфейс програми «Зварювальник»

Користувача зустрічає графічний інтерфейс, на якому можна виділити три основні відділи використання програми: «Показники робочого середовища», «Засоби забезпечення безпеки» та «Реакція працівника». На верхній вкладці можна розпочати тестування для перевірки знань набутих в процесі використання програми та відкрити вкладку «Довідка» для того, щоб дізнатися про правильне використання програмного засобу, авторів програми, нормативні значення чинників.

Для того, щоб перевірити вплив різних показників робочого середовища на працівника необхідно, за допомогою повзунків, вказати рівні цих самих показників (рис. 4.7). В програмі можна вказати вміст у повітрі зварювального аерозолі, чадного газу, рівень ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання, температуру в приміщенні, рівень електромагнітного поля та рівень шуму. Всі ці

показники впливають на здоров'я та самопочуття працівника. Норми цих показників можна знайти на вкладці «Довідка». Далі, щоб побачити реакцію працівника, потрібно натиснути кнопку «Застосувати».

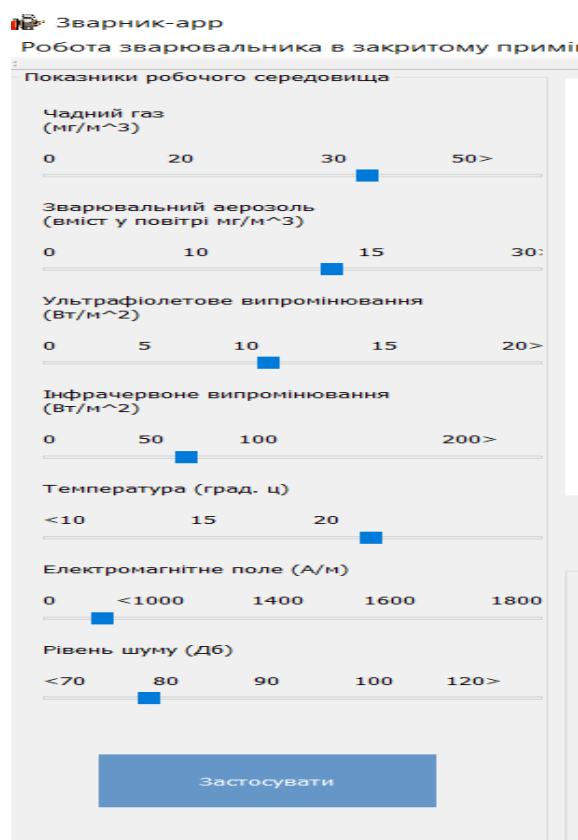


Рисунок 4.7 – Показники робочого середовища

Після цього, можна побачити які показники є поза діапазоном норм (рис. 4.8).

Рівень чадного газу критично перевищує норму.
Зварювальний аерозоль критично перевищує норму.
Рівень ультрафіолету в межах норми.
Рівень інфрачервоного випромінювання в межах норми.
Температура в межах норми.
Рівень магнітного поля в межах норми.
Рівень шуму в межах норми.

Рисунок 4.8 – Рівень чинників виробничого середовища

Після того, як користувач програми отримує інформацію про стан працюючого, необхідно чинники виробничого середовища і трудового процесу привести до нормованих значень, застосовуючи необхідні заходи і засоби захисту.

Для того, щоб нормалізувати стан робочого середовища, необхідно на панелі «Засоби забезпечення безпеки» обрати необхідні засоби захисту. Засоби захисту можна застосовувати індивідуального та колективного характеру (рис. 4.9 та 4.10).

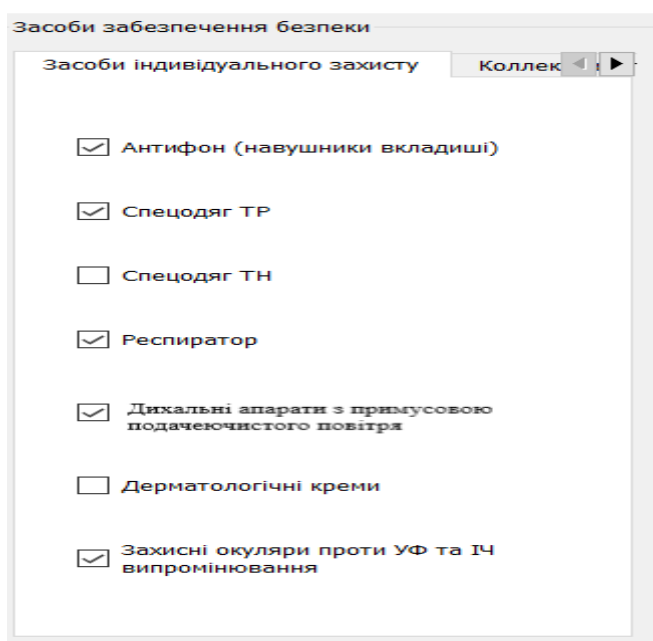


Рисунок 4.9 – Засоби індивідуального захисту

У перелік обов'язкових засобів входять: маска, спеціальний костюм, взуття, рукавиці. Додатково можуть використовуватися захисні каски, щитки, протигази, респиратори, навушники, страхові системи.

Ефективне застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) залежить від їх правильного вибору і умов експлуатації. Також необхідно враховувати конкретні умови виробництва, вид та тривалість впливу шкідливого чинника і індивідуальні особливості людини.

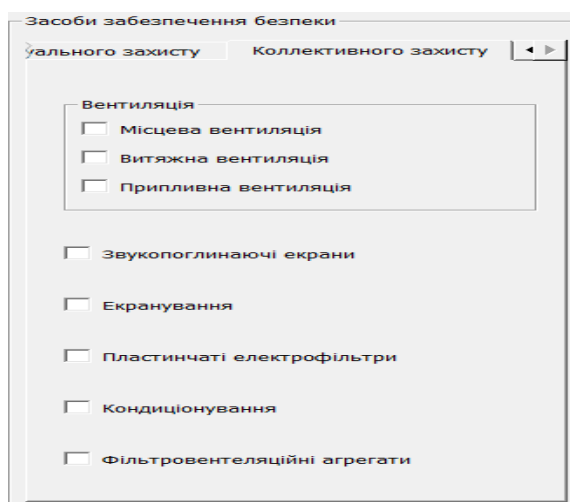


Рисунок 4.10 – Засоби колективного захисту

Далі на цій самій панелі можна вибрати «10 хв перерву кожної години» та «Оздоровчий відпочинок» (рис. 4.11). Ці всі засоби будуть сприяти покращенню здоров'я та самопочуття працівника.

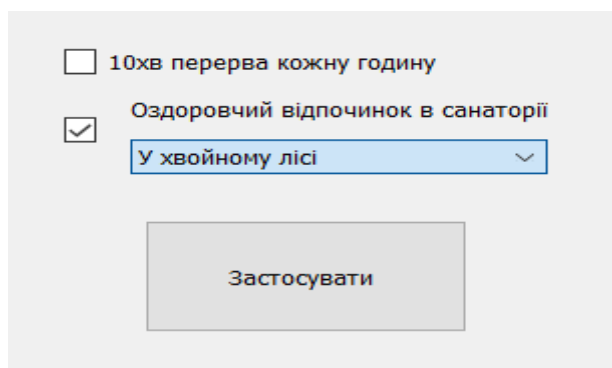


Рисунок 4.11 – Додаткові засоби покращення здоров'я працівника

Після того, як всі складові були вибрані, необхідно натиснути кнопку «Застосувати». Якщо всі засоби були вибрані вірно, то на панелі «Реакція працівника» можна буде побачити, що зварювальник працює в безпечному середовищі і добре себе почуває.

Далі, коли користувач опрацює надану інформацію, він зможе пройти тест на знання з охорони праці та безпеки життєдіяльності натиснувши кнопку на верхній

панелі. Приклад тестових питань наведений на рис. 4.12.

ГДК - це

☐ А - така концентрація, при дії якої на організм людини періодично або протягом життя прямо або опосередковано через екологічні системи, а також через можливий екологічний збиток виникають незначні захворювання або зміни в стані здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень відразу або у віддалені терміни життя

☐ Б - така концентрація, при дії якої на організм людини періодично або протягом життя прямо або опосередковано через екологічні системи, а також через можливий екологічний збиток не виникає захворювань або змін в стані здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень відразу або у віддалені терміни життя нинішніх або подальших поколінь

☐ В - така концентрація, при дії якої на організм людини періодично або протягом життя прямо або опосередковано через екологічні системи, а також через можливий екологічний збиток виникають суттєві зміни в стані здоров'я, які виявляються сучасними методами досліджень відразу або у віддалені терміни життя

Рисунок 4.12 – Тест

Висновки до розділу 4

1. За допомогою дерева відмов визначений ризик отруєння чадним газом, який значно перевищує значення 10^{-6} , яке на сьогодні є допустимим для технічних ризиків. Необхідні додаткові заходи та засоби захисту (зміна режиму роботи вентиляційної системи, колективні засоби сигналізації, евакуація).

2. З метою запобігання нещасним випадкам та удосконалення стандартного засобу оцінки чадного газу на робочих місцях автором була розроблена 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 замкнених приміщеннях.

3. Вперше була створена комп'ютерна програма з питань оцінки впливу шкідливих виробничих чинників в процесі зварювання, а саме рівня шуму, температури повітря робочої зони, ЕМВ, інфрачервоного випромінювання, ультрафіолетового випромінювання на зварювальника, а також запропоновані

заходи щодо зменшення цього впливу. При виконанні цієї роботи закріплюються теоретичні знання і набуваються практичні навички, що стосуються питань впливу шкідливих чинників виробничого середовища і трудового процесу на здоров'я зварювальника та основних заходів та засобів захисту від їх негативної дії.

4. Створена програма «Зварювальник» може бути використана в навчальному процесі в якості лабораторної роботи для студентів денної, заочної і дистанційної форми навчання в різних вузах України і буде цікавою для всіх, хто займається питаннями охорони праці та безпеки життєдіяльності, особливо процесами зварювання.

Основні положення цього розділу викладені у публікаціях автора [107, 109, 110, 112, 113, 116–118].

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеною науково-дослідною роботою, вирішена важлива для охорони праці проблема удосконалення заходів та засобів захисту працівників від зварювального аерозолю та монооксиду вуглецю при електродуговому зварюванні.

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

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 ЗА є: з

основним типом покриття; з рутиловим типом покриття; з рутилово-целюлозним типом покриття.

4. Досліджена залежність концентрації зварювального аерозолі 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 замкнутих 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фонд соціального страхування. URL: <http://www.fssu.gov.ua/fse/control/zap/uk/publish/article/89296;jsessionid=DF8B46F9A415442E8F324D40C8D2390F> (дата звернення: 15.01.2018).
2. Захист органів дихання під час зварювальних робіт. *Охорона праці і пожежна безпека*. 2018, № 1. URL: <http://oppb.com.ua/articles/zahyst-organiv-dyhannya-pid-chas-zvaryuvalnyh-robit> (дата звернення: 27.06.2018).
3. Корнієнко О. М. Становлення та розвиток зварювального виробництва в Україні у світовому контексті (70-ті роки XIX ст. – 50-ті роки XX ст.): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. іст. наук: 07.00.07 «Історичні науки і техніки»/ Центр досліджень науково-технічного потенціалу та історії науки ім. Г.М.Доброва НАН України. Київ, 2009.
4. Види зварювання // учебно-технический центр. 2018. URL: <http://www.dytc.com.ua/index.php/ua/vidy-svarki-metalla-osnovnye-vidy-svarki-ukr> (дата звернення: 20.06.2018).
5. Марків Б. Умови праці зварників. Вплив шкідливих виробничих факторів // Управління Держрпаці у Тернопільській області. 2018. URL: <http://te.dsp.gov.ua/umovy-pratsi-zvarnykiv-vplyv-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv> (дата звернення: 20.05.2018).
6. Вредные условия производства при выполнении сварочных работ, рекомендации и меры повышения безопасности. URL: www.nisa.net.ua (дата звернення: 10.06.2018).
7. Трушкова Е. А., Ладная Е. В. Особенности профессиональных заболеваний электросварщиков при выполнении сварочных работ на производстве. *Молодой ученый: электрон.версія журн.* 2016. №18(122). С. 25-27. URL: <https://moluch.ru/archive/122/33781/> (дата звернення: 10.01.2018).
8. Левченко О.Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві: навч. посіб. Київ: Основа, 2004. 98с.

9. Демчина М. Вплив компонентів зварювального аерозолію на здоров'я людини. Львівська міська рада. 2016. URL: <https://city-adm.lviv.ua/news/society/emergency/233003-vplyv-komponentiv-zvariuvalnoho-aerозoliu-na-zdorovia-liudyny> (дата звернення: 10.01.2018).
10. Отруєння цинком: симптоми передозування, лікування наслідків. 2019. URL: <https://diagnoz.in.ua> › ШКТ (дата звернення: 15.06.2019).
11. Перша допомога, основні причини та симптоми отруєння чадним газом. Управління охорони здоров'я Миколаївської облдержадміністрації. URL: <http://oblzdrav.mk.gov.ua/> (дата звернення: 15.06.2019).
12. Боброва Т. Б Основи матеріалознавства: навч. посіб. Ресурсний центр ГУРТ, 2019. 104 с.
13. Биковський О.Г., Лазуткін М.І. Охорона праці при виробництві конструкцій з кольорових металів і сплавів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2012. №.1. С.128-136.
14. Левченко О. Г., Демецька О.В., Лук'яненко А. О. Цитотоксичність зварювальних аерозолів, що утворюються під час зварювання покритими електродами. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2016. № 3. С. 30-35.
15. Технічна енциклопедія Tech Trend. URL: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=15962> (дата звернення: 15.06.2018).
16. Нанорозмірні фракції твердої складової зварювальних аерозолів, що утворюються під час зварювання покритими електродами зі зниженим вмістом хрому (VI) / О. В. Демецька, І. М. Андрусишина, Т. Ю. Ткаченко, А. О. Лук'яненко, Ю. О. Полукаров. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1 (7). С. 79-86.
17. ISO 15011-1: 2008. 2011, Health protection and safety in welding and related processes. A laboratory method for sampling aerosols and gases, generated in arc welding. Part 1. Determination of emission levels and sampling for analysis of aerosol microparticles. [Effective as of 15.08.2008]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 8 p. (in Ukrainian).
18. ISO 15011-1: 2008. 2011, Health protection and safety in welding and related processes. A laboratory method for sampling aerosols and gases, generated in arc welding. Part 1. Determination of emission levels and sampling for analysis of aerosol

microparticles. [Effective as of 15.08.2008]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 8 p. (in Ukrainian).

19. Шкідливі речовини при зварюванні і навіщо потрібно фільтровентиляційне обладнання. 2017. URL: http://sammit.dp.ua/articles/svarka_vred.htm/ (дата звернення: 15.05.2018).

20. Костюк І. Ф., Капустник В. А. Професійні хвороби: підручник, 2-е вид., переробл. і доп. Київ: Здоров'я, 2003. 636с.

21. 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. Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 41 (1317). С. 91-102.

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

23. 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.

24. Енциклопедія міжнародної організації праці. URL: <http://prombezpeka.com/enciklopediya-mizhnarodno%D1%97-organizaci%D1%97-praci/> (дата звернення: 16.05.2018).

25. Энциклопедия по охране и безопасности труда. URL: <http://base.safework.ru/iloenc> (дата звернення: 20.05.2018).

26. Отравление монооксидом углерода (угарным газом) / под ред. Зобнина Ю. В. Санкт-Петербург, 2011. 86с.

27. Международная организация труда. Welding and metal work. *Occupational safety and health*: електрон. версія журн.: URL: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--americas/---ro-lima/---sro-port_of_spain/documents/presentation/wcms_250195.pdf (дата звернення: 20.05.2018).

28. Головні правила безпеки зварювальних робіт. *Охорона праці і пожежна безпека*. 2017. №1–2. URL: <https://oppb.com.ua/news/golovni-pravyla-bezpeky-zvaryuvalnyh-robot> (дата звернення: 20.04.2018).
29. Дозвіл на початок виконання робіт підвищеної небезпеки. URL: <http://registrio.com.ua/dozvil-na-pochatok-vikonannya-robot-pidvishhen%D1%97-nebezpeki> (дата звернення: 18.04.2018).
30. Гришагин В. М., Луговцова Н. Ю. Сварочный аэрозоль как основная экологическая проблема современного сварочного производства в машиностроении. *Вестник науки Сибири*. Серия 12: Машиностроение и транспорт. 2011. №1 (1), С. 726–728.
31. Левченко О.Г., Булат А. В., Безушко О. М. Вплив виду електродного покриття на гігієнічні характеристики аерозолів, що утворюються при зварюванні високолегованих сталей. *Вісник НТУ «КПІ»*. Серія: Гірництво. 2010. Вип. 19. С. 168-175.
32. Azian Hariri, Nuur Azreen Paiman, Abdul Mutalib Leman, Mohammad Zainal Development of Welding Fumes Health Index (WFHI) for Welding Workplace's Safety and Health Assessment. *Iranian Journal of Public Health*. 2014 Aug, 43(8): 1045–1059. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4411901/> (дата звернення: 18.05.2018).
33. Савицький О.М., Мандрик О.М. Екологічна складова дугового зварювання та напрямок її підвищення. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. Серія: Машини, обладнання та матеріали. 2014. № 1(36). С.66-73. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/2544/1/3450p.pdf> (дата звернення: 18.05.2018).
34. Pankaj Kumar. J. Mistry Dept. Impact of Welding Processes on Environment and Health. *International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering & Technology (IJARMET)*. Apr. - Jun. 2015. Vol. 1, Issue 1. P. 17-20. URL: <http://ijarmet.com/wp-content/themes/felicity/issues/vol1issue1/pankaj1.pdf> (дата звернення: 18.05.2018).

35. ValterAlves, de Meneses, Valdemar Silva Leal, Américo Scotti. Influence of Metal Transfer Stability and Shielding Gas Composition on CO and CO₂ Emissions during Short-circuiting MIG/MAG Welding. 2016. URL: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242016000300253 (дата звернення: 18.03.2018).
36. Jingxiang Qin, Wuzhong Liu, Jun Zhu, Wei Weng, Jiaming Xu, Zisheng Ai. Health Related Quality of Life and Influencing Factors among Welders. *PLoS One*. 2014. № 9 (7). URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4105539/> (дата звернення: 16.02.2018).
37. Кириченко К.Ю., Рогулин Р.С., Дрозд В.А. Оценка распространения частиц сварочного аэрозоля в пространстве рабочей зоны сварщика в зависимости от времени. *Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства*. 2018. №2. С.42-51.
38. Игнатова А.М., Игнатов М.Н. Оценка морфологии, дисперсности, структуры и химического состава твердой составляющей сварочных аэрозолей посредством современных методов исследований. *Научно–технический вестник Поволжья*. 2012. № 3. С. 133–138.
39. Кузнецов Д.А., Симонович А.Л., Наумов С.В., Игнатова А.М. Исследование физико–химических характеристик твердой составляющей сварочных аэрозолей. *Аэрозоли Сибири: сб. тез. докл. XIX Рабочей группы конф. Ин–т оптики атмосферы Сиб. отд–е РАН. Томск, 2012. С. 78.*
40. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів: довідковий посіб. К.:Основа, 2011. 389 с.
41. Основні шкідливі речовини та фактори, що діють на працівників при проведенні ручного електродугового зварювання. Державна установа «Харківський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України». URL: <https://labcenter.kh.ua/?p=3062> (дата звернення: 16.01.2018).
42. Логвинов Ю.В. Экологический менеджмент и решение конкретного вопроса по локализации и нейтрализации сварочного аэрозоля при наплавке. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету*. Серія: Технічні № 33. 2016.

43. Гранично допустимі концентрації \ГДК\ та орієнтовні безпечні рівні діяння \ОБРД\ забруднюючих речовин в атмосферному повітрі населених місць. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> (дата звернення: 17.01.2018).
44. Huiqi Li, Maria Hedmer, Monica Kåredal, Jonas Björk, Leo Stockfelt, Håkan Tinnerberg, Maria Albin, and Karin Broberg. A Cross-Sectional Study of the Cardiovascular Effects of Welding Fumes. *PLoS ONE*. 2015 Jul. 10 (7): e0131648. URL: <https://doi.org/10.1371/journal> (дата звернення: 16.01.2018).
45. Левченко О. Г., Безушко О. М. Мінімізація виділень зварювальних аерозолів. Результати досліджень шкідливих речовин, що забруднюють повітря під час ручного зварювання легованими електродами: монографія. НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Globe Edit, 2020. 150 с.
46. ГН 3.3.5-8-6.6.1 2002 р. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Київ, 2001. 46 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0528282-01#Text> (дата звернення: 16.02.2018).
47. Опара Н.М., Дударь Н.І. Чадний газ: вплив на організм людини, способи індивідуального захисту і безпечної поведінки. *Аспекти безпеки праці, життя та довкілля людини*. Матеріали VI регіональної міжвуз. наук.-практ. конф., 28 березня 2013. Полтава: ПДАА. 2013. С. 42-45.
48. Що треба знати про чадний газ. Міністерство охорони здоров'я України. URL: <https://moz.gov.ua/article/health/scho-treba-znati-pro-otruennja-chadnim-gazom-i-jak-jomu-zarobigti> (дата звернення: 16.01.2018).
49. Encyclopedia on labor protection and safety. URL: <http://base.safework.ru/iloenc> (дата звернення: 16.02.2018).
50. Україна лідирує за кількістю підприємств державної форми власності. 2017. URL: <https://konkurent.in.ua/publication/14844/ukrayina-lidiruye-za-kilkistyu-pidpriyemstv-derzhavnoyi-formi-vlasnosti-/> (дата звернення: 10.01.2018).
51. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 181с.

52. Каталог засобів індивідуального захисту. Фізико-хімічний інститут захисту навколишнього середовища і людини Міністерства освіти і науки України та Національної академії наук України (ФХІЗНСІЛ). Одеса. 2017.
53. 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.
54. 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 «ХП», 2020. С. 175-176.
55. Левченко О. Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты: монографія. Киев: Наукова думка. 2015. 248 с.
56. Прогнозування професійної захворюваності зварників залежно від умов праці / Кружилко О.Є., Сторож Я.Б., Гуць В.С. Полукаров Ю.О., Землянська О.В. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2017. Ч. 1. Вип. 6 (107). С. 129-135.
57. Караєва Н.В., Варава І.В. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 56 с.
58. Березуцький В.В. , Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навч. посіб. Харків: ФОП Панов А. М., 2016. 385 с.
59. Dinmohammadi F., Shafiee M. A fuzzy-FMEA risk assessment approach for offshore wind turbines. *International Journal of Prognostics and Health Managemen*. 2013. №4. P. 59–68.
60. Ho CC1, Liao CJ. The use of failure mode and effects analysis to construct an effective disposal and prevention mechanism for infectious hospital waste. *Waste Management*. 2011. Volume 31, Issue 12. P.. 2647-2651.
61. Baoping Cai, Yonghong Liu. Reliability analysis of subsea blowout preventer control systems subjected to multiple error shocks. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2012. № 25(6). P.1044–1054.

62. Zengkai Liu, Yonghong Liu, Baoping Cai. Reliability Analysis of the Electrical Control System of Subsea Blowout Preventers Using Markov Models. *Plos one*. 2014. 9(11). P. 1-9.
63. Fault tree analysis of failure cause of crushing plant and mixing bed hall at Khoy cement factory in Iran / Ali Nouri.Gharahasanlou, Ashkan Mokhtarei, Aliasqar Khodayarei, Mohammad Ataei. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*. 2014. P.33-38.
64. Roland-Iosif Moraru, Gabriel-Bujor Băbuț. The use of fault tree in industrial risk analysis: a case study. *Recent advances in industrial and manufacturing technologies: 1st wseas international conference on industrial and manufacturing technologies*. 2013. P.70-75.
65. N. A. Wessiani, F. Yoshio. Failure mode effect analysis and fault tree analysis as a combined methodology in risk management. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 337. 2018. P.1-11.
66. Liu, C.-T.; Hwang, S.-L.; Lin, I.-K. Safety analysis of combined FMEA and FTA with computer software assistance—take Photovoltaic plant for example. *IFAC Proc.* Vol. 2013, 46, 2151–2155.
67. Zhai Guofu, Zhou Yuege, Ye Xuerong, Hu Bo. A method of multi-objective reliability tolerance design for electronic circuits. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2011. P. 161-170.
68. Дозор С М. Сигнализатор-анализатор газов многокомпонентный индивидуальный. Руководство по эксплуатации АГАТ РЭ. URL: <https://docplayer.ru/53460271-Dozor-s-m-signalizator-analizator-gazov-mnogokomponentnyy-individualnyy-rukovodstvo-po-ekspluatacii-agat-re.html> (дата звернения: 18.02.2018).
69. 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*).

70. Жуковский С.С. Эффективность загальнообмінної вентиляції щодо переміщення шкідливих речовин поза межі приміщення. *Lviv Polytechnic National University Institutional Repository*. 2004. С. 72-78.
71. Солодский С.А. Снижение вредных выделений при дуговой сварке металлов. *Экология и безопасность в техносфере : современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, г.Юрга, 23-25 ноября 2017*. С. 124-126.
72. Розе С. Концепции возникновения и сокращения выбросов дыма, выделяющегося при сварке металлов в среде защитного газа с учетом новых вариантов процесса. *Сварка и контроль: материалы междун. научно-техн. конф., посвящ. 125 летию изобретения Н.Г. Славяновым электродуговой сварки плавящимся электродом. г.Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет*. 2013.
73. Писаренко В.Л., Рогинский М.Л. Вентиляция рабочих мест в сварочном производстве. М.: Машиностроение, 1981. 120 с.
74. Вентиляция сварочного цеха. URL: <http://www.ads-vent.ru/blog/ventilyaciya-svarochnogo-ceha> (дата звернення 10.02. 2018).
75. Денисова Н.М. Шляхи зниження забрудненості повітря робочої зони зварювальних дільниць. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. Чернігів: ЧНТУ, 2012. №3 (59). С.208-213.
76. 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. Вип. 1 (1) 2020. С. 48–53.
77. Методичні вказівки Міністерства охорони здоров'я України. Измерение концентрации аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. МУ № 4436- 87. URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=50186 (дата звернення 10.02. 2018).
78. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0024858-13#Text> (дата звернення 15.02. 2018).

79. Половко А.М., Ганичев И.В. MATHCAD для студента. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 336 с.
80. Гурский Д.А., Турбина Е.С. Вычисления в MATHCAD 12. М.: Питер, 2006. 544 с.
81. Глазачев А. Интенсивность отказов элементов. Справочник. URL: <https://areliability.com/intensivnost-otkazov-elementov-spravochnik/> (дата звернення: 30.04.2018).
82. Пачурин Г.В., Шевченко С.М., Галка Н.В., Галка А.Г. Оценка профессионального риска в производственных помещениях учреждения быстрого питания. *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11 (часть 1). С. 69-73.
83. Заец Ю.Л., Беляева В.В. Расчет образования взрывоопасной концентрации в помещении при аварийной утечке газа. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2008. № 20. С. 91-93.
84. Толстых В.К. Программирование в среде Mathcad: учеб.-метод. пособ. / Донец. нац. ун-т. Донецк: ДонНУ, 2010. 128 с.
85. Рибалко О.М. Вища математика (спеціальні розділи). Основи теорії імовірностей з елементами математичної статистики. Харків: Колегіум, 2014. 359 с.
86. Кирьянов Д. В. Mathcad 15 / Mathcad Prime 1.0. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
87. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс. СПб: БГТУ-Военмех, 2011. 345с.
88. Гуменюк І.В., Іваськів О.Ф., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: підручник. К.: Грамота, 2006. 512 с.
89. Савуляк В.І., Осадчук А.Ю. Ручне електродугове зварювання: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2004, 130 с.
90. Технічні характеристики зварювальних матеріалів. URL: http://www.mbm.ua/files/img/novyy_katalog_2018.pdf (дата звернення: 23.04.2018).

91. Левченко А.О. Властивості шкідливих речовин, що утворюються при зварюванні, та методи їх нейтралізації. *Вісник НТУ «КПІ». Серія «Гірництво»*. 2017. № 15. С. 138-147.
92. Левченко О.Г. Классификация сварочных аэрозолей и выбор методов их нейтрализации. *Автоматическая сварка*. № 6. 1999. С. 38-41.
93. Безпечне виконання робіт у замкнутому просторі залежить від організованих дій персоналу. Охорона праці і пожежна безпека. 2018. URL: <https://oppb.com.ua/articles/bezpechne-vykonannya-robit-u-zamknutomu-prostori-zalezhyt-vid-organizovanyh-diyi-personalu> (дата звернення 09.09.2018).
94. Основы научных исследований в химической промышленности / под ред. И.М. Глущенко. Киев: Вища школа, 1983. 158 с.
95. Эннан А.А., Ракитская Т.Л., Паина В.Я. Катализаторы низкотемпературного окисления монооксида углерода для очистки сварочных аэрозолей. *Автоматическая сварка*. № 2. 1997. С. 42-44.
96. Ракитская Т.Л., Эннан А.А. Физико-химические основы очистки газов от фосфина и фосфора. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1992. 95 с.
97. Левченко О.Г., Грищенко С.А. Методи нейтралізації токсичних речовин у зварювальному виробництві. *Вісник Національного науково-дослідного інституту охорони праці*. 2007. № 6. С. 19-23.
98. Левченко О.Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты: монография. Киев: Наукова думка, 2015. 248 с.
99. Лук'яненко А.О. Нормалізація концентрації шкідливих речовин на робочих місцях ручного дугового зварювання: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Держ. служба гірн. нагляду та пром. безпеки України, ДУ «Нац. НДІ пром. безпеки та охорони праці» Київ, 2012. 20 с.
100. Лубянова И.П. Характер и структура производственно обусловленных заболеваний у сварщиков. *Довкілля та здоров'я*. 1999. № 3. С. 51-57.
101. Гримитлин М.И., Кгондрашов С.Ю., Алексеева И.С и др. Улучшение состояния воздушной среды в сборочно-сварочных цехах. *Охрана труда в условиях интенсификации производства*. Ленинград. 1987. С. 40-67.

102. Гримитлин М.И. Вентиляция сварочного производства. 2007. URL: <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/845/> (дата звернення: 12.04.2018).
103. Кирьянов Д.В. Mathcad 15 /Mathcad Prime 1.0. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. 432 с.
104. Макаров Е.Г. Инженерные расчеты в Mathcad 15: учебный курс. Санкт-Петербург: БГТУ-Военмех, 2011. 345с.
105. Березуцький В.В., Хондак І.І. Дослідження залежності утворення зварювального аерозолі при електродуговому зварюванні з використанням електродів з основним, рутиловим та рутилово – целюлозним покриттям. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2020. № 6. С. 10-28.
106. Березуцький В.В., Хондак І.І. Вплив зварювального аерозолі 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 «ХП», 2020. С. 301-303.
107. 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.
108. Каска: пат. № 28886А України: МКИ А42В3/00 / Гасило Ю.А., Сафонов В.В., Стрежекуров Э.Е. № 97105238, заявл. 28.10.1997; опубл. 29.12.1999, Бюл. № 8.
109. Березуцький В.В., Хондак І.І. Оцінка ризику утворення чадного газу при ручному дуговому зварюванні. *World science*. 2020. № 7 (59). Р. 130-136. (*Index Copernicus*).
110. 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 «ХП», 2019. С. 215-217.
111. Березуцька Н.Л., Хондак І.І. Дослідження чинників виробничого середовища крізь призму ігрового процесу. *Вісник Національного технічного університету «ХП»*. Серія: Транспортне машинобудування. 2018. № 29 (1305). С.157-163.

112. 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.
113. 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.
114. Колодій О.С. Охорона праці при виконанні робіт з електродугового зварювання. 2018. 16 с.
115. Березуцька Н.Л., Хондак І.І. Использование тестирующей программы «Исследование действия основных экологических законов» и информационно-обучающей программы по экологической безопасности в учебном процессе. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків: НТУ «ХПІ». 2015. № 11. С. 164 – 170.
116. Березуцький В.В., Хондак І.І. Вплив шкідливих чинників на зварювальника. *Безпека життєдіяльності в ХХІ столітті: тези доповідей VIII міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 листопада 2020 р.* Дніпро: ПДАБА, 2020. С. 8-10.
117. 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), March 2020. P.20-26. (Index Copernicus).
118. 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.

ДОДАТОК А
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор
Харківського національного
університету радіоелектроніки
д.т.н., проф. Рубан І.В.

« 23 » 09 2020 р.

АКТ

щодо впровадження в навчальний процес Харківського національного університету радіоелектроніки результатів наукових досліджень кандидатської дисертаційної роботи

Хондак Інни Іванівни за темою «Підвищення безпеки працівників при електродуговому зварюванні за рахунок вдосконалення заходів захисту».

Комісія у складі: зав.каф. охорони праці, к.т.н., доц. Стиценко Т.Є., к.т.н., доц. Березуцької Н.Л., к.т.н., доц. Мамонтова О.В. розглянула результати наукових досліджень та прийняла рішення щодо впровадження їх в навчальний процес кафедри охорони праці при викладанні дисциплін «Безпека життєдіяльності» та «Організація управління умовами праці», а саме:

комп'ютерної програми «Зварювальник», за допомогою якої проводиться оцінка впливу шкідливих виробничих чинників в процесі зварювання, а саме рівня шуму, температури повітря робочої зони, ЕМВ, інфрачервоного випромінювання, ультрафіолетового випромінювання на зварювальника, а також запропоновані заходи щодо зменшення цього впливу.

При виконанні цієї роботи закріплюються теоретичні знання і набуваються практичні навички, що стосуються питань впливу шкідливих чинників виробничого середовища і трудового процесу на здоров'я працівника та основних заходів та засобів захисту від їх негативної дії. Дані питання розглядаються при читанні лекцій за темою: «Поняття небезпеки та запобігання НС», «Електромагнітні поля та випромінювання радіочастотного та оптичного діапазонів», «Шум та вібрація», «Повітря робочої зони».

Система тестування допомагає закріпити отриманні знання та оцінити успішність засвоєння цих знань у студента.

Створена комп'ютерна програма «Зварювальник», може бути використана в навчальному процесі в якості лабораторної роботи для студентів денної, заочної і дистанційної форми навчання в різних вузах 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 сучасним підходом до моделювання процесів, які в реальних умовах можуть бути небезпечними. Використання цього підходу дозволяє удосконалити навчальний процес, а також готує майбутнього спеціаліста до умов вирішення реальних ситуацій, які виникають на виробництві.

Розглянуті результати дозволяють студентам отримати більш якісну теоретичну підготовку при вивченні лекційного матеріалу та більший досвід експериментальних досліджень при проходженні лабораторних робіт за вказаними дисциплінами.

Голова комісії:

зав.каф. охорони праці,

к.т.н., доц.



Стиценко Т.Є.

Члени комісії:

к.т.н., доц.



Березуцька Н.Л.

к.т.н., доц.



Мамонтов О.В.

ДОВІДКА

Про впровадження результатів дослідження закінченої науково-дослідної роботи 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.

А також впровадження в навчальний процес 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 замкнених приміщеннях.

Корисна модель відноситься до засобів захисту при виконанні монтажних, збирально – зварювальних, газорізальних, захисних та інших робіт, а саме очей, обличчя працюючого на виробництві і т.п.

Ця захисна маска є результатом науково-дослідної роботи, яка була виконана Хондак І.І. Захисна маска була рекомендована для застосування на підприємствах, де проводяться зварювальні роботи, особливо в замкнених приміщеннях.

Робота була виконана на високому науково-технічному рівні. Захисна маска дозволяє відразу виявляти підвищену концентрацію чадного газу при проведенні зварювальних робіт.

Зав.каф. «Зварювання» НТУ «ХПІ»

лауреат державної премії,

д.т.н., проф.



Дмитрик Віталій Володимирович

Дмитрик В.В. заст. проф.
Василь В.В.

ДОДАТОК Б

ПОКАЗНИКИ НЕБЕЗПЕК ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ

Таблиця Б.1 – Шкідливі виробничі чинники при різних видах зварювання і споріднених процесах

Шкідливі виробничі чинники	Види процесів
1	2
Шкідливі речовини	Ручне дугове зварювання покритими електродами. Зварювання під флюсом: напівавтоматичне і автоматичне зварювання. Дугове зварювання в захисних газах: напівавтоматичне і автоматичне. Електрошлакове зварювання. Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне та ін.) Контактне стикове зварювання оплавленням. Електронно-променеве зварювання. Ультразвукове зварювання Газове зварювання. Плазмове зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання Лазерне зварювання і різання Наплавлення Пайка Напилення

Продовження таблиці Б.1

1	2
Ультрафіолетове випромінювання	Ручне дугове зварювання покритими електродами. Дугове зварювання в захисних газах: напівавтоматичне і автоматичне. Електрошлакове зварювання Електронно-променеве зварювання. Газове зварювання. Плазмове зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання. Лазерне зварювання і різання Наплавлення Напилення
Видиме	Ручне дугове зварювання покритими електродами. Дугове зварювання в захисних газах: напівавтоматичне і автоматичне. Електрошлакове зварювання. Електронно-променеве зварювання. Газове зварювання. Плазмове зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання. Лазерне зварювання і різання. Наплавлення і напилення.

Продовження таблиці Б.1

1	2
Інфрачервоне випромінювання	Ручне дугове зварювання покритими електродами, зварювання під флюсом: напіваавтоматичне і автоматичне. Дугове зварювання в захисних газах: напіваавтоматичне і автоматичне. Електрошлакове зварювання. Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне). Контактне стикове зварювання оплавленням. Газове зварювання. Плазмове зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання. Лазерне зварювання і різання. Наплавлення. Напилення.
Електромагнітні поля	Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне). Контактне стикове зварювання оплавленням. Дифузійне зварювання. Зварювання струмами підвищеної частоти.
Магнітні поля	Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне). Контактне стикове зварювання оплавленням.
Іонізуючі випромінювання	Електронно-променеве зварювання. Плазмове зварювання. Плазмове різання.

Продовження таблиці Б.1

1	2
Шум	Ручне дугове зварювання покритими електродами. Зварювання під флюсом: напіваавтоматичне і автоматичне. Дугове зварювання в захисних газах: напіваавтоматичне і автоматичне. Електрошлакове зварювання. Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне). Контактне стикове зварювання оплавленням. Електронно-променеве зварювання. Зварювання тертям. Дифузійне зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Ультразвукове зварювання. Газове зварювання. Плазмове зварювання. Плазмове різання. Лазерне зварювання і різання. Напилення.
Ультразвук	Дифузійне зварювання. Ультразвукове зварювання. Плазмове зварювання. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання. Напилення.

Продовження таблиці Б.1

1	2
Статичне навантаження на руку	Ручне дугове зварювання покритими електродами. Зварювання під флюсом: напівавтоматичне і автоматичне. Дугове зварювання в захисних газах: напівавтоматичне і автоматичне. Контактне зварювання (точкове, рельєфне, шовне та ін.). Газове зварювання. Контактне стикове зварювання оплавленням. Кисневе, киснево-флюсове різання. Плазмове різання. Наплавлення

Таблиця Б.2 – ГДК шкідливих речовин в повітрі при зварюванні металів

Зварювані метали, сплави і газові сполуки	Речовини	ГДК, мг/м ³
Алюміній і сплави на його основі	Алюміній	2
Мідь і сплави на її основі	Мідь (метал і його оксиди)	1
	оксид марганцю	0,3
	оксид кремнію	1
	оксид нікелю	0,5
	оксид цинку	5
	оксид азоту	5
	Озон	0,1
Берилієва бронза	Берилій і його сполуки	0,01
Свинець	Свинець і його неорганічні сполуки	0,01
Сполуки водню	Фтористий водень	0,05
Зварювання у вуглекислому газі	Двоокис азоту	2
Зварювання в захисних газах	Монооксид вуглецю	20

ДОДАТОК В

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИКІВ

Таблиця В.1 – Нормована тривалість використання фільтруючих респіраторів

Важкість Роботи	Початковий опір диханню	
	до 100 Па	понад 100 Па
Легка	Не більше 45 хв.	Не більше 30 хв.
Середня	Не більше 30 хв.	Не більше 15 хв.
Важка	Не більше 15 хв.	Не більше 3–5 хв. на кожні півгодини

Таблиця В.2 – Найбільш поширені сучасні респіратори в Україні для
зварювальників

Марка респіратору	Перелік речовин від яких захищають органи дихання
1	2
ФІЛЬТРУЮЧІ ПРОТИПИЛОВІ РЕСПІРАТОРИ (ФП)	
«ЛЕПЕСТОК-210» FFP2 ДСТУ EN 149:2003	Від пилу та аерозолів, але не від парів та газів
«СНІЖОК» FMP2 (ДСТУ EN 149:2003)	Від пилу та аерозолів, але не від парів та газів
«СНІЖОК» К FMP2 (ДСТУ EN 149:2003)	Від пилу та аерозолів, але не від парів та газів
ФІЛЬТРУЮЧІ ГАЗОПИЛОЗАХИСНІ РЕСПІРАТОРИ (ГП)	

Продовження таблиці В.2

«ЗВАРНИК» FFGаз2P2(ДСТУ EN 405:2003)	Кислі гази і озон; тверда складова зварювальних аерозолів
«МРІЯ» FMA1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Пари органічних сполук, точка кипіння котрих вище 65°C; аеродисперсні частинки
«МРІЯ» FMB1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Хлор, сірководень, ціаністий водень; аеродисперсні частинки
«МРІЯ» FME1P2(ДСТУ EN 1827-2001)	Кислі гази; тверда складова зварювальних аерозолів
«МРІЯ» FMK1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Аміак і пари азотовмісних органічних основ, аеродисперсні частинки
«СНІЖОК» FMA1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Пари органічних сполук, точка кипіння котрих вище 65°C; аеродисперсні частинки
«СНІЖОК» FMB1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Хлор, сірководень, ціаністий водень; аеродисперсні частинки
«СНІЖОК» FME1P2(ДСТУ EN 1827-2001)	Кислі гази і пари кислот; аеродисперсні частинки
«СНІЖОК» FMK1P2 (ДСТУ EN 1827-2001)	Аміак і пари азотовмісних органічних основ; аеродисперсні частинки
«СНІЖОК» FMГаз2P2(III) (ДСТУ EN 1827-2001)	Кислі гази і пари кислот, аміак і пари азотовмісних органічних основ, озон, пари органічних сполук; аеродисперсні частинки

ДОДАТОК Г
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕМІСІЙ ЗВАРЮВАЛЬНОГО
АЕРОЗОЛЮ ТА МОНООКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

Таблиця Г.1 – Матриця планування експерименту і результати досліджень по
СО з рутиловими електродами

№ дослі- да	X ₁	X ₂	Натуральні значення		Y ₁ , мг/м ³	Y ₂ мг/м ³	Y ₃ мг/м ³	Y, мг/м ³	Y ² , мг/м ³
			I, A	t, c					
1	+1	+1	200	300	67	70,5	70,8	69,4	4816,36
2	-1	+1	100	300	25	28	30	27,6	761,76
3	+1	-1	200	60	37	54	82	57,6	3317,76
4	-1	-1	100	60	22,9	23,8	25,5	24,1	580,81
Σ								178,7	31933,69
0	0	0	150	180	37	46	56,7	46,6	2171,56

Таблиця Г.2 – Матриця планування експерименту і результати досліджень по СО з основними електродами

№ дослід-да	X_1	X_2	Натуральні значення		Y_1 , мг/м ³	Y_2 мг/м ³	Y_3 мг/м ³	Y , мг/м ³	Y^2 , мг/м ³
			I, А	t, с					
1	+1	+1	200	300	98	100	106	101,3	10261,69
2	-1	+1	100	300	86	80	80	82	6724
3	+1	-1	200	60	67	56	57	60	3600
4	-1	-1	100	60	50,1	54	55	53	2809
Σ								296,3	87793,69
0	0	0	150	180	106,2	108	111	108,4	11750,56

Таблиця Г.3 – Матриця планування експерименту і результати досліджень вмісту зварювального аерозолю з рутиловими електродами при використанні вентиляції

№ дослі- ду (№ зразка)	X1	X2	Натуральні значення		Y1, мг/м 3	Y2 мг/м 3	Y3 мг/м 3	$\bar{y}$, мг/ м3	Y2, мг/м3
			I, A	t, c					
1 (№24)	+1	+1	150	300	3,93	3,63	4,02	3,87	14,9769
2 (№20)	-1	+1	100	300	3,08	2,85	3,15	3,03	9,1809
3 (№21)	+1	-1	150	60	0,95	1,05	1,07	1,02	1,0404
4 (№19)	-1	-1	100	60	1,95	2,05	2,03	2,01	4,0401
Σ								9,93	98,6049
0 (№23)	0	0	200	180	2,02	1,95	2,16	2,04	4,1616

Таблиця Г.4 – Матриця планування експерименту і результати досліджень вмісту зварювального аерозолі з основними електродами при використанні вентиляції

№ Дослі- ду (№ зразка)	X ₁	X ₂	Натуральні значення		Y ₁ , мг/ м ³	Y ₂ мг/м ³	Y ₃ мг/м ³	$\bar{Y}$, мг/м ³	Y ² , мг/м ³
			I, A	t, c					
1 (№10)	+1	+1	150	300	4,10	3,50	4,45	4,02	16,1604
2 (№8)	-1	+1	100	300	3,35	3,41	3,52	3,43	11,7649
3 (№9)	+1	-1	150	60	2,37	2,51	1,28	2,05	4,2025
4 (№7)	-1	-1	100	60	1,05	1,03	0,98	1,02	1,0404
Σ								10,52	110,6704
0 (№11)	0	0	200	180	2,27	2,25	2,43	2,32	5,3824

Таблиця Г.5 – Матриця планування експерименту і результати досліджень вмісту зварювального аерозолі з основними електродами при використанні вентиляції і пиловсмоктувача

№ дослід- да (№зразка)	X_1	X_2	Натуральні значення		Y_1 , мг/м ³	Y_2 мг/м ³	Y_3 мг/м ³	$\bar{Y}$, мг/м ³	Y^2 , мг/м ³
			I, А	t, с					
1 (№15)	+1	+1	150	300	3,75	3,82	3,73	3,76	14,1376
2 (№13)	-1	+1	100	300	2,72	3,01	2,91	2,88	8,2944
3 (№14)	+1	-1	150	60	1,83	1,50	1,45	1,59	2,5281
4 (№12)	-1	-1	100	60	1,22	1,28	1,13	1,21	1,4641
Σ								9,44	89,1136
0 (№16)	0	0	200	180	2,15	2,22	2,27	2,21	4,8841

Таблиця Г.6 – Матриця планування експерименту і результати досліджень з вмісту зварювального аерозолі з основними електродами без вентиляції

№ дослід (№ зразка)	X_1	X_2	Натуральні значення		Y_1 , мг/м ³	Y_2 мг/м ³	Y_3 мг/м ³	$\bar{Y}$, мг/м ³	Y^2 , мг/м ³
			I, A	t, c					
1 (№5)	+1	+1	150	300	4,43	4,66	4,45	4,53	20,5209
2 (№3)	-1	+1	100	300	3,95	4,05	3,91	3,95	15,6025
3 (№4)	+1	-1	150	60	2,49	2,51	2,32	2,44	5,9536
4 (№2)	-1	-1	100	60	1,89	1,67	2,38	1,98	3,9204
Σ								12,9	166,41
0 (№6)	0	0	200	180	3,08	2,9	3,12	3,03	9,1809

ДОДАТОК Д

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА 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, рутиловим та рутилово–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 X 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 аерозолі 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). Р. 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). Р. 130-136. (*Index Copernicus*).