

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЗАБЕЛІНА ВАЛЕНТИНА АНДРІЇВНА

УДК 665.521.004.17

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ СХОВИЩ
ПАЛИВНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ПУНКТІВ ЗАПРАВКИ**

спеціальність 263 Цивільна безпека
галузь знань 26 Цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ В.А. Забеліна
(підпис здобувача)

Науковий керівник – Голінько Василь Іванович, доктор технічних наук,
професор

Дніпро – 2026

АНОТАЦІЯ

Забеліна В.А. - Вдосконалення систем технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 263 Цивільна безпека (галузь знань 26 Цивільна безпека) – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2026.

У дисертаційній роботі, яка є завершеною науковою роботою, наведено рішення актуальної науково-прикладної задачі щодо обґрунтування заходів спрямованих на підвищення рівня технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки виходячи з оцінки ризиків небезпечних подій, зумовлених небезпечними та шкідливими умовами праці, встановлення їх пріоритетності та обґрунтування рішень, спрямованих на зниження числа пріоритетності виявлених ризиків.

Виконано аналіз умов праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення та робіт вчених, які присвячені цим питанням. Показано, що серед найбільш розповсюджених об'єктів, на яких використовуються хімічні речовини здатні спричинити шкідливий вплив на працівників є сховища паливних матеріалів та автозаправні станції (АЗС). Розглянуті процеси утворення, розповсюдження та накопичення парів палива в приміщеннях АЗС і на прилеглій території та досліджений їх вплив на працівників.

Проведена оцінка сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки як об'єктів підвищеної небезпеки та виконана оцінка їх впливу на оточуюче навколишнє середовище. Показано, що найбільш поширеними надзвичайними ситуаціями, які спричиняють великі економічні збитки і загибель працівників та населення є пожежі та вибухи. До значних збитків призводять викиди парів бензину та інших нафтопродуктів. Цей збиток полягає не тільки у втраті

коштовних енергетичних ресурсів, але й у шкідливому впливі на довкілля та погіршенні якості нафтопродуктів.

Виконано аналіз існуючих методів до оцінювання професійного ризику, зумовленого шкідливими умовами праці. Запропоновано новий підхід до встановлення серйозності наслідків дії шкідливих чинників, який полягає у врахуванні закономірностей процесу виникнення професійних і виробничо-зумовлених захворювань працівників, наявних механізмів їх попередження та оцінки поширеності різних захворювань в визначених професійних групах з конкретними умовами праці та їх зв'язку з експозицією шкідливих чинників виробничого середовища.

Проведено аналіз процесу планування та виконання робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків пунктів заправки паливними матеріалами. Виявлено, що найбільш небезпечною ситуацією, яка може з високою ймовірністю привести до аварійної ситуації являється накопичення парів бензину в технологічному обладнанні за наявності витоків нафтопродуктів внаслідок порушення герметичності з'єднань, оскільки за наявності витоків нафтопродуктів тут з високою імовірністю може утворюватися вибухонебезпечна суміш парів палива і повітря, вибух якої здатний спричинити тяжкі наслідки, а крім того ця подія, на відміну від випадкового розливу чи переливу палива, може бути тривалий час не виявлена.

Обґрунтовані рішення, що дозволяють підвищити ефективність контролю умов праці на об'єктах нафтопаливного комплексу. Показано, що контроль вмісту парів в повітрі робочої зони можна здійснювати з використанням термokatалітичних сенсорів. При цьому чутливість засобів контролю вмісту парів нафтопродуктів в межах встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК), можна забезпечити за умови стабілізації напруги на порівняльному елементі та проведення періодичної автоматичної перевірки нульових показань газоаналізаторів і відповідного їх корегування.

Встановлено, що при контролі вибухонебезпечності паливоповітряних сумішей термokatалітичними датчиками, максимальне значення вихідного

сигналу вимірювального моста спостерігається при концентрації парів палива що забезпечує повне відновлення сорбованого каталізатором кисню, а при більшій концентрації парів палива, коли для його повного окислення на поверхні каталізатора недостає кисню, спостерігається зниження вихідного сигналу вимірювального моста. Показано, що на відміну від газоповітряних сумішей, зниження вихідного сигналу моста в області високих концентрацій парів горючих компонентів до нуля неможливе, а мінімальне значення вихідного сигналу моста залежить від величини парціального тиску кисню в паливоповітряній суміші при її насиченні парами бензину, що забезпечує однозначність спрацювання засобів вибухозахисту в усьому можливому діапазоні вибухонебезпечних концентрацій парів палива

Обґрунтовані рішення, спрямовані на контроль організованих викидів парів палива в довкілля. Встановлено, що виділення тепла на чутливому термоелементі датчика пропорційне масовому вмісту компонентів палива та добутку коефіцієнта дифузії компоненту і його нижчої теплоти згоряння. Найбільша чутливість датчика характерна до таких летких складових бензину як пентан, бензол, толуол та ін. Чутливість датчика до більш важких вуглеводнів знижується. Показано, що вихідний сигнал термokatалітичного датчика лінійно залежить від концентрації парів нафтопродуктів в суміші лише за умови, що в паливоповітряній суміші ці пари є лімітуючим агентом і визначають швидкість реакції.

Обґрунтовані рішення, що дозволяють пришвидшити обробку вихідних даних термokatалітичних датчиків та підвищити їх інформативність. Показано, що в системах керування та контролю для цього доцільне використання сингулярного спектрального аналізу (SSA). Його, використання дозволяє виконати фільтрацію даних, виявити сховану інформацію та закономірності, прогнозувати зміни стану датчиків, виявити аномалії, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення. Застосування в системах контролю SSA дозволяє виділяти інформативні компоненти у складних сигналах, що сприяє більш точному та ефективному управлінню процесами. Застосування SSA в системах

управління дозволяє автоматизувати процеси моніторингу та контролю, що знижує ймовірність людських помилок та забезпечує більш високу чутливість системи до змін у виробничому середовищі.

Проведені дослідження показали на доцільність використання терموкаталітичних датчиків для моніторингу викидів парів нафтопродуктів у довкілля, що дозволяє встановлювати норми втрат нафтопродуктів і гранично допустимі значення маси викидів, що прискорить процес впровадження відомих ефективних заходів щодо їх зниження. Раннє виявлення потенційних проблем у технологічних процесах та швидке реагування на них знижує ризики аварій, підвищує загальну безпеку та економічну ефективність виробництва.

Наукові результати:

- *запропоновано* новий методологічний підхід до оцінки професійних ризиків, зумовлених шкідливими умовами праці який полягає у врахуванні кількісних закономірностей формування професійної та виробничо-зумовленої захворюваності працівників і наявних механізмів її попередження, заснованої на наявності лінійної залежності тяжкості наслідків від експозиції шкідливих чинників;

удосконалено:

- методичний підхід до ідентифікації небезпек та розрахунку числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів, який враховує всі небезпеки і небезпечні чинники, що можуть виникнути при їх експлуатації і забезпечує системний підхід до керування ризиками виявлених небезпек;

- підхід до визначення персоналізованого рівня ймовірності розвитку професійно зумовлених та професійних захворювань, який ґрунтується на припущенні про прямопропорційний зв'язок між ступенем тяжкості можливих медичних наслідків і сумарною масою пилових частинок, що накопичуються в організмі працівника за умов пилового навантаження, наближеного до гранично допустимих або критичних значень;

- терموкаталітичний метод контролю вмісту парів нафтопродуктів в повітрі, що полягає у стабілізації напруги на порівняльному елементі та

проведенні періодичної автоматичної перевірки нульових показань аналізаторів шляхом зміни напруги живлення чутливих елементів датчика до величини, за якої окислення парів бензину на каталітичноактивному елементі не відбувається та корегування нуля аналізатора за результатами перевірки;

- метод контролю викидів парів нафтопродуктів в повітря шляхом вимірювання масового вмісту парів у викидах та їх об'єму, що полягає у налаштування газоаналізатора по повірочній суміші гексану в повітрі, тепловиділення при окисленні якого близьке до середнього значення тепловиділення від усіх горючих компонентів в повітрі, визначення вмісту парів бензину виходячи з залежності вихідного сингала мостової вимірювальної схеми від концентрації парів пального на ділянці характеристики де лімітуючим компонентом є кисень та визначення обсягів викидів за частотою вихорів, що утворюються при обтіканні потоком термокatalітичного датчика шляхом використання спектрального сингулярного аналізу для розкладання вихідного сигналу на компоненти, та виявлення гармонічної складової при відновленні сигналу за першими сімома значимими компонентами.

Практичне значення. Запропонований у роботі методологічний підхід до оцінювання професійних ризиків, що формуються під впливом шкідливих і небезпечних умов праці, надає фахівцям служб охорони праці інструментарій для комплексного визначення інтегрального ризику для здоров'я персоналу. Застосування цього підходу дозволяє здійснювати таку оцінку безпосередньо на основі наявної документації, зокрема карт умов праці, складених за результатами атестації робочих місць, без залучення додаткових складних вимірювальних процедур.

Практичне значення. Запропонований методологічний підхід до оцінки професійних ризиків, дозволяє здійснити оцінку загального професійного ризику для здоров'я працівників, обумовленого шкідливими виробничими чинниками, безпосередньо за наявними картами умов праці, отриманими в процесі атестації робочих місць. Рішення щодо підвищення чутливості газоаналізаторів створюють умови для використання відносно простих,

стабільних і дешевих термокаталітичних датчиків в системах моніторингу умов праці для контролю вмісту парів летких нафтопродуктів в повітрі робочої зони об'єктів нафтопаливного комплексу та використання їх для вимірювання вміста парів бензину та обсягу організованих викидів об'єктів нафтопаливного комплексу, що створює передумови впровадження сучасних інформаційних технологій в сфері охорони здоров'я та безпеки працівників і дозволяє обґрунтовано встановлювати нормативи втрат та гранично допустимі значення викидів парів нафтопродуктів, що прискорить процес розробки та впровадження ефективних заходів щодо зменшення обсягів шкідливих викидів.

Впровадження результатів роботи. За результатами досліджень розроблено Положення про ідентифікацію небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів, яке впроваджено ТОВ «Альянс Холдинг», Shell Retail Ukraine. Результати дослідження були використані викладачами кафедри охорони праці та цивільної безпеки НТУ «Дніпровська політехніка» при викладанні дисциплін «Гігієна праці та виробничого середовища», «Контроль умов праці» та «Системи контролю та спостереження за надзвичайними ситуаціями» для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека».

Ключові слова: ризик, небезпека, вибух, умови праці, пари бензину, шкідливий виробничий чинник, моделювання, контроль, датчики, газоаналізатор, моніторинг.

SUMMARY

Zabelina V.A. - Improvement of technological safety systems of fuel storage facilities and refueling stations. Qualifying scientific work in the form of a manuscript.

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 263 Civil Safety (Field of Knowledge 26 Civil Safety) — National Technical University “Dnipro Polytechnic”, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2025.

The dissertation, which constitutes a completed and independent scientific study, presents a solution to a relevant scientific and applied problem aimed at substantiating measures for improving the level of technological safety of fuel storage facilities and refueling stations based on the assessment of occupational risks caused by harmful and hazardous working conditions, the determination of their priority, and the justification of decisions intended to reduce the priority number of the identified risks.

The study includes an analysis of working conditions at petroleum product supply facilities as well as a review of scientific works devoted to these issues. It is shown that among the most widespread facilities where chemical substances capable of causing harmful effects on workers are used are fuel storage facilities and automobile filling stations. The processes of formation, dispersion, and accumulation of fuel vapors in the premises of filling stations and in adjacent areas are examined, and their impact on workers is investigated.

An assessment of fuel storage facilities and refueling stations as high-hazard objects is carried out, and their impact on the surrounding environment is evaluated. It is demonstrated that the most common emergency situations leading to significant economic losses and fatalities among workers and the population are fires and explosions. Substantial damage is also caused by emissions of gasoline vapors and other petroleum products. Such damage consists not only in the loss of valuable energy resources but also in adverse environmental consequences and changes in the quality of petroleum products.

An analysis of existing methods for assessing occupational risk caused by harmful working conditions has been carried out. A new approach to determining the severity of the consequences of exposure to harmful factors is proposed. This approach is based on accounting for the quantitative patterns of formation of occupational and work-related morbidity among employees, the availability of mechanisms for its prevention, and a comparison of the prevalence of specific types of morbidity in defined occupational groups with particular working conditions (i.e., exposure to factors of the industrial environment).

An analysis of the process of planning and conducting activities for hazard identification and risk assessment at fuel refueling facilities has been performed. It has been established that the most hazardous situation, which with high probability may lead to an emergency, is the accumulation of gasoline vapors in technological equipment in the presence of petroleum product leaks resulting from the loss of tightness of connections. Under such conditions, an explosive mixture of fuel vapors and air is highly likely to form, the explosion of which can cause severe consequences. Moreover, unlike accidental fuel spills or overflows, this event may remain undetected for a prolonged period of time.

Substantiated solutions aimed at improving the reliability of working condition monitoring systems at oil and fuel industry facilities have been developed. It is shown that thermocatalytic sensors can be used in working environment monitoring systems to control the concentration of gasoline vapors in the air of the working zone. At the same time, the sensitivity of thermocatalytic gas analyzers required to monitor gasoline vapor concentrations within the limits of maximum permissible concentrations (MPC) can be ensured by selecting a sensor power supply mode with voltage stabilization at the reference element, as well as by performing periodic automatic verification and correction of the zero readings of gas analyzers.

Substantiated solutions aimed at improving the reliability of explosion protection systems for fuel storage facilities and refueling stations have been developed. It has been established that, when controlling the explosiveness of fuel–air mixtures using thermocatalytic sensors, the maximum value of the output signal of

the measuring bridge is observed at a fuel vapor concentration that ensures complete reduction of oxygen adsorbed by the catalyst. At higher fuel vapor concentrations, when the amount of oxygen available on the catalyst surface is insufficient for complete oxidation, a decrease in the output signal of the measuring bridge is observed. It is shown that, unlike gas–air mixtures, a decrease in the bridge output signal to zero in the region of high concentrations of combustible vapors is impossible; the minimum value of the bridge output signal depends on the partial pressure of oxygen in the fuel–air mixture under conditions of saturation with gasoline vapors. This feature ensures unambiguous actuation of explosion protection devices over the entire range of possible explosive fuel vapor concentrations.

Substantiated solutions aimed at controlling organized emissions of fuel vapors into the environment have also been developed. It has been established that heat release at the working thermoelement depends on the mass of the fuel components and on the product of the lower heating value of a component and its diffusion coefficient. The highest sensor sensitivity is characteristic of the most volatile gasoline constituents (pentane, benzene, toluene, etc.), while sensitivity decreases for heavier hydrocarbons. It is shown that the output signal of a thermocatalytic sensor is proportional to the concentration of gasoline vapors in a fuel–air mixture only under the condition that gasoline vapors are the rate-limiting agent in the mixture determining the reaction rate.

A new approach to controlling the explosiveness of oil and fuel industry facilities is proposed, based on the use of methods that make it possible to increase the speed of sensor output data processing and improve the quality of information. It is shown that one of the promising methods that can be applied for the preliminary processing of time series of sensor output data in control and monitoring systems is Singular Spectrum Analysis (SSA). The use of SSA enables data filtering, identification of hidden structures and patterns, forecasting of changes based on the analysis of prior information, detection of anomalies and abnormal operating conditions, and more well-grounded decision-making. The application of SSA in explosiveness monitoring systems for industrial facilities allows the extraction of

principal components in complex systems, thereby contributing to more accurate and efficient process control. Furthermore, the use of SSA in control systems enables the automation of monitoring and control processes, reduces the probability of human error, and ensures higher system responsiveness to changes in the production environment.

Studies of the output signals of thermocatalytic gas analyzers have been carried out, the results of which make it possible to recommend thermocatalytic sensors for use in monitoring systems of organized emissions at oil and fuel industry facilities. This, in turn, enables the formulation and substantiation of requirements for loss standards and maximum permissible emission levels, as well as accelerates the development and implementation of effective measures for their reduction. Early detection of potential problems in technological processes and rapid response to them reduce the risk of accidents and enhance the overall safety and economic efficiency of production.

Scientific results:

- a new methodological approach to the assessment of occupational risks caused by harmful working conditions has been proposed. This approach is based on accounting for the quantitative patterns of formation of occupational and work-related morbidity among employees and the existing mechanisms for its prevention, and relies on a linear relationship between the severity of consequences and the exposure to harmful factors.

improved:

- a methodological approach to hazard identification and calculation of the risk priority number for fuel refueling stations, which takes into account all hazards and hazardous factors that may arise during their operation and ensures a systematic approach to risk management of the identified hazards;

- a methodology for assessing the individual risk of occupational disease occurrence, which is based on a linear relationship between the severity of consequences and the amount of accumulated dust, characteristic of dust loads close to critical levels;

- a thermocatalytic method for controlling the concentration of gasoline vapors in the air of the working zone, which involves the use of a thermocatalytic sensor power supply mode with voltage stabilization at the reference element, as well as periodic monitoring and correction of zero readings of gas analyzers by reducing the sensor supply voltage to a level at which the oxidation reaction of gasoline vapors on the working thermoelement of the sensor does not occur;

- a method for controlling organized emissions of gasoline vapors into the environment by measuring the mass concentration of vapors in emissions and their volume. This method includes calibration of the gas analyzer using a reference mixture of hexane in air, whose heat release during oxidation is close to the average heat release of all components of gasoline vapors in air; determination of gasoline vapor concentration based on the dependence of the output signal of the bridge measuring circuit on fuel vapor concentration in the region of the characteristic where oxygen is the limiting component; and determination of emission volumes based on the frequency of vortices formed during flow past the thermocatalytic sensor, using Singular Spectrum Analysis to decompose the output signal into components and to identify the harmonic component when reconstructing the signal from the first seven significant components.

Practical significance. The proposed methodological approach to the assessment of occupational risks caused by harmful working conditions enables occupational health and safety specialists to evaluate the overall occupational health risk to employees directly on the basis of existing working condition cards obtained from workplace certification results. The solutions aimed at increasing the sensitivity of gas analyzers create conditions for the use of relatively simple, stable, and low-cost thermocatalytic sensors in working environment monitoring systems to control gasoline vapor concentrations in the air of the working zone at oil and fuel industry facilities, as well as for their application in monitoring systems of organized emissions from such facilities. This, in turn, creates prerequisites for the implementation of modern information technologies in the field of occupational health and safety, enables the formulation and substantiation of requirements for loss

standards and maximum permissible emission levels, and accelerates the development and implementation of effective measures for their reduction.

Implementation of the research results. Based on the research findings, Regulations on Hazard Identification and Calculation of the Risk Priority Number for Fuel Refueling Stations were developed and implemented at LLC “Alliance Holding”, Shell Retail Ukraine. The research results were also used by lecturers of the Department of Occupational Safety and Civil Protection at the National Technical University “Dnipro Polytechnic” in teaching the courses “Occupational Hygiene and the Working Environment”, “Control of Working Conditions”, and “Workplace Certification by Working Conditions” for students majoring in Specialty 263 “Civil Safety”.

Keywords: risk, hazard, harmful occupational factor, working conditions, explosion, modeling, gasoline vapors, control, sensors, gas analyzer, monitoring.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України:

1. Golinko V., Zabelina V. Use of thermocatalytic sensors in systems for monitoring working conditions at oil and fuel facilities // ВІСТІ Донецького гірничого інституту. 2024. №1(54). С. 26–34. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-1-26-33>
2. Golinko V., Zabelina V. Actualization of the problem of identification of high-risk facilities // Науковий вісник ДонНТУ. 2024, № 1(12). С. 78–84 : <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2024-1-12-78-85>
3. V.I. Golinko, V.A. Zabelina, S.I. Cheberyachko, O.V. Deryugin, O.V. Stanislavchuk. Analysis of reasons occurrence of dangerous situations during the operation of gas stations // Bulletin of Lviv State University of Life Safety. 2024, №29. С. <https://doi.org/79-9210.32447/20784643.29.2024.09>

4. Голінько В.І., Забеліна В.А. Контроль вмісту парів бензину в організованих викидах автозаправних станцій. ВІСТІ Донецького гірничого інституту, №2 (55), 2024, с. 106-112. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-106-112>
5. Цопа В.А., Дерюгін О.В., Забеліна В.А. Чеберячко Л.М. Визначення тяжкості наслідків вибуху пального на автозаправній станції. Вісник приазовського державного технічного університету, 2025, №50. С. 200 - 209. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336385>

Публікації у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз

6. V.I. Golinko, V.A. Zabelina. Features of the assessment of occupational risks under hazardous working conditions. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2024, №4. 94-99. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/086>
7. Vasyl Holinko; Valentyna Zabelina; Oleksandr Holinko; Oleg Kuznetsov. Investigation of the operation of thermocatalytic sensors in explosion hazard monitoring systems for technogenic objects. Mining of Mineral Deposits 2025, 19(1), 142-150. <https://doi.org/10.33271/mining19.01.142>
8. Holinko O.V., Alekseev M.O., Holinko V.I., Zabelina V.A. Application of singular spectral analysis in control systems of technological processes and explosion safety control of facilities. Radio Electronics, Computer Science, Control, 2025, № 1, 209-219. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-19>

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Забеліна В.А. Шляхи вдосконалення системи технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Молодь: наука та інновації: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації», Дніпро,

22–24 листопада 2023 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 370-371.

10. Забеліна В.А. Контроль вмісту парів бензину в повітрі робочої зони об'єктів нафтопродуктозабезпечення. «Наукова весна» 2024: Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» 2024, Дніпро, 27–29 березня 2024 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2024. С. 105-106.
11. Забеліна В.А. Особливості ідентифікації автозаправних станцій як об'єктів підвищеної небезпеки. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Безпечна, комфортна та спроможна територіальна громада», Дніпро. 16-18 жовтня 2024 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2024. С. 92-94.
12. Забеліна В.А. Моніторинг організованих викидів парів нафтопродуктів на автозаправних станціях. «Наукова весна» 2025: Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» 2025, Дніпро, 26–28 березня 2025 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2025. С. 133-134.

Статті у інших виданнях

13. Голінько В.І., Кузнецов О.К., Забеліна В.А. Дослідження термокatalітичних датчиків при заливанні їх газодифузійних фільтрів водою. Актуальні питання охорони праці, цивільної та техногенної безпеки, № 1(1), 2025 [https://doi.org/10.36910/3083-6255/1\(1\).2025.17-23](https://doi.org/10.36910/3083-6255/1(1).2025.17-23). С. 17-23.

ЗМІСТ

ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ.....	18
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ОБ’ЄКТАХ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	31
1.1. Аналіз умов праці на об’єктах нафтопродуктозабезпечення	31
1.2. Сховища паливних матеріалів та пункти заправки як об’єкти підвищеної небезпеки	40
1.3. Оцінка впливу сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки на довкілля	48
1.4. Актуальність впровадження системи моніторингу умов та безпеки праці	56
Висновки до розділу 1.....	65
Література до розділу 1.....	68
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ, ОБУМОВЛЕНИХ ШКІДЛИВИМИ ТА НЕБЕЗПЕЧНИМИ УМОВАМИ ПРАЦІ	76
2.1. Особливості оцінки професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці	76
2.2. Оцінка впливу основних технологічних процесів на вибухо- та пожежонебезпеку об’єктів нафтопродуктозабезпечення	93
2.3. Ідентифікація небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів	102
Висновки до розділу 2	122
Література до розділу 2	124
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ, СПРЯМОВАНИХ НА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ УМОВ ПРАЦІ ТА ВИБУХОБЕЗПЕЧНОСТІ ОБ’ЄКТІВ	134

3.1. Обґрунтування методу контролю вмісту парів бензину в повітрі робочої зони	134
3.2. Обґрунтування методу контролю вибухонебезпечності сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки	147
3.3. Методи та алгоритми контролю організованих викидів парів палива в довкілля	165
Висновки до розділу 3	183
Література до розділу 3	186
ВИСНОВКИ	190
ДОДАТКИ	194

Терміни та визначення

АЗС – автозаправна станція.

Безпека праці – захищеність трудової діяльності людини від дії шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

Вибухонебезпечна суміш - суміші газів чи парів горючих речовин з повітрям, які за певних умов можуть вибухнути.

Газоаналізатори - прилади якими вимірюють вміст газів чи парів горючих речовин в повітрі.

Газодифузійний фільтр - пристрій, для відокремлення певного об'єму газу, що забезпечує взаємний обмін газами за рахунок їх дифузії.

ГДК - гранично допустимі концентрації.

Діагностика - визначення технічного стану об'єкта з означеною (заданою) точністю.

Держпраці України – Державна служба України з питань праці.

Допустимий ризик (прийнятний ризик) – ризик, який підприємство (установа, організація) можуть допустити, ураховуючи їх легальні обов'язки та власну політику у сфері охорони праці.

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій.

Інцидент – подія, що виникає у зв'язку чи у процесі роботи, яка може призвести або призвела до травми і шкоди для здоров'я.

Каталітично активний термоелемент - пристрій на поверхні якого при певній температурі протікає процес окислення горючих газів чи парів.

Моніторинг - постійне або регулярне спостереження за яким-небудь об'єктом або процесом з метою оцінки, порівняння та прогнозування.

Моніторинг умов праці - система спостережень, збору, обробки, передачі, збереження й аналізу інформації про стан умов праці, прогнозування їхніх змін та розробка науково-обґрунтованих рекомендацій для управлінських рішень.

Небезпека – будь-яке джерело (об'єкт, речовина, ситуація) що потенційно здатне привести до аварії чи заподіяти травми та погіршення стану здоров'я працівників.

Нульові показання - показання вимірювального приладу при відсутності об'єкту контролю.

Оцінка ризиків – це систематичний і структурований процес визначення ймовірності заподіяння шкоди та її тяжкості.

Повірочна суміш – суміш газу з повітрям з відомою концентрацією газу, що використовується для метрологічного забезпечення газоаналізаторів.

Політика з охорони праці – офіційно виражені керівництвом підприємства (установи, організації) наміри забезпечувати безпечні і сприятливі для здоров'я умови праці та щодо попередження травматизму і професійної захворюваності.

Професійний ризик – ймовірність порушення здоров'я в результаті несприятливого впливу шкідливих та/або небезпечних виробничих чинників з урахуванням важкості наслідків, що виникають.

Ризик – ймовірність того, що небезпека реалізується, в поєднанні з тяжкістю наслідків її реалізації (травм, захворювань, пошкоджень, економічних збитків).

SSA – сингулярний спектральний аналіз.

Термогрупа - пристрій який складається з кількох термоелементів.

Термокаталітичний датчик - пристрій, що включає поміщені в реакційну камеру компенсаційний і каталітично активний чутливі термоелементи.

Термокаталітичний метод контролю - метод, заснований на визначенні виділення тепла внаслідок окиснення горючих газів чи парів на каталітично активних термоелементах.

Чутливість датчика - характеристика, яка показує на скільки змінюється вихідний сигнал датчика при зміні вхідної величини на одиницю.

ВСТУП

Актуальність роботи.

Технологічна безпека суб'єктів господарювання розглядається як цілісна система організаційних, технічних та управлінських заходів, спрямованих на використання сучасних інженерних рішень та досягнень науково-технічного розвитку з метою забезпечення надійної, безперебійної та безпечної експлуатації виробничих об'єктів. Важливою передумовою такої безпеки є підтримання належного рівня науково-технічного, кадрового та виробничого потенціалу підприємств, що дозволяє ефективно використовувати власні технологічні можливості, інтелектуальні ресурси та інноваційні розробки. Саме поєднання внутрішніх ресурсів із прогресивними технологіями забезпечує стабільне функціонування об'єктів господарювання в умовах зростаючих техногенних і економічних ризиків.

Ключовими завданнями системи технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення є формування та впровадження пріоритетних технологічних рішень, які з позицій безпеки, енергоефективності та економічного розвитку здатні забезпечити вирішення найбільш критичних проблем галузі. До таких проблем належать створення безпечних і гігієнічно допустимих умов праці персоналу, мінімізація втрат нафтопродуктів на всіх етапах їх обігу, зниження шкідливого впливу на довкілля, а також гарантування надійної й безаварійної роботи виробничих об'єктів у сучасних умовах господарювання.

У сучасний період питанням технологічної безпеки приділяється дедалі більше уваги з боку органів державної влади, регуляторних інституцій та керівництва підприємств. Це зумовлено як зростанням масштабів використання нафтопродуктів, так і підвищенням вимог до екологічної та промислової безпеки. Одним із визначальних напрямів у цій сфері є скорочення втрат нафтопродуктів, починаючи з етапів їх видобування та транспортування, продовжуючи процесами зберігання і переробки та завершуючи кінцевим використанням. Особливої уваги потребують втрати, спричинені розливами та

випаровуванням легких фракцій, оскільки вони спричиняють не лише економічні збитки, але й соціальні та екологічні наслідки.

Зменшення втрат нафтопродуктів є важливим завданням як з позиції точки зору раціонального використання ресурсів, так і підвищення ефективності виробництва та створення допустимих умов праці. Окрім цього, такі заходи сприяють зниженню ризику виникнення техногенних надзвичайних ситуацій, зокрема вибухів і пожеж, а також мінімізації негативного впливу вуглеводнів на навколишнє природне середовище. Найбільш актуальними ці питання є для об'єктів нафтопродуктозабезпечення, розташованих у межах або поблизу великих населених пунктів, зокрема автозаправних станцій, нафтобаз і паливних сховищ, де потенційні аварії можуть мати масштабні наслідки для населення.

З метою скорочення втрат, пов'язаних із випаровуванням нафтопродуктів, на практиці застосовується широкий спектр технічних рішень. До них належать використання резервуарів із плаваючими дахами та понтонами, впровадження систем уловлювання парів легких фракцій, застосування резервуарів спеціалізованих конструкцій, встановлення відбивних елементів, газових обв'язок і газовирівнювальних систем. Незважаючи на різноманіття наявних технологій, більшість із них досі не отримали масового поширення. Однією з причин цього є відсутність єдиного науково обгрунтованого підходу до вибору та впровадження методів запобігання втратам, а також недостатнє усвідомлення на рівні підприємств важливості енергозбереження, ефективного використання ресурсів і захисту персоналу та довкілля від шкідливого впливу вуглеводневих сполук.

У зв'язку з цим актуальними залишаються як дослідження існуючих технологій, так і впровадження нових перспективних методів зменшення втрат нафтопродуктів. Не менш важливим є узагальнення наукових підходів до прогнозування та скорочення викидів вуглеводнів на об'єктах нафтопродуктозабезпечення. Методологічною основою таких досліджень має

стати системний підхід, який дозволяє комплексно врахувати технічні, економічні, екологічні та безпекові чинники, а також взаємозв'язки між ними.

Особливої гостроти проблема безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення набуває в умовах сучасних воєнних загроз. Внаслідок артилерійських і ракетних обстрілів територій населених пунктів, використання безпілотних літальних апаратів, а також падіння уламків збитих повітряних цілей зростає ймовірність пошкодження резервуарів, трубопроводів і транспортних комунікацій. Такі пошкодження можуть призвести до масштабних пожеж і вибухів, що становлять серйозну загрозу життю та здоров'ю не лише працівників об'єктів, але й мешканців прилеглих територій, а також спричиняють значні матеріальні втрати та суттєві збитки для держави й суб'єктів господарювання.

З огляду на постійне зростання ймовірності виникнення вибухів і пожеж на об'єктах, пов'язаних зі зберіганням, транспортуванням і відпуском нафтопродуктів, першочергового значення набувають наукові дослідження, орієнтовані на розроблення та впровадження превентивних заходів безпеки. У цьому контексті особливо важливою складовою загальної системи техногенної та технологічної безпеки є організація безперервного контролю вибухонебезпечних станів, а також створення ефективних комплексів захисту та своєчасного інформування про виникнення потенційно небезпечних ситуацій.

У разі фіксації ознак формування вибухонебезпечного середовища захисні системи повинні функціонувати в автоматичному режимі, забезпечуючи негайне відключення технологічного обладнання, яке може виступати джерелом запалювання паливоповітряних сумішей, або припинення окремих виробничих процесів з метою недопущення розвитку аварійної ситуації. Поряд із цим системи оповіщення мають забезпечувати оперативну передачу інформації відповідальному персоналу, а за необхідності - ініціювати автоматичний запуск систем пожежогашіння та інших засобів локалізації небезпечних подій.

Методологічною та технічною основою створення таких систем повинні слугувати сучасні інформаційно-комунікаційні технології, які на сьогодні відіграють основну роль у підвищенні точності вимірювань, надійності функціонування та адаптивності засобів контролю. Використання цифрових технологій дозволяє реалізувати автоматичну діагностику працездатності сенсорних елементів, засобів захисного відключення та виконавчих механізмів, а також впроваджувати інтелектуальні алгоритми аналізу поточної ситуації. Такі алгоритми здатні не лише ідентифікувати небезпечні відхилення параметрів, але й формувати рекомендації для персоналу з метою підтримки обґрунтованих управлінських рішень у реальному часі.

Водночас системи моніторингу вибухонебезпечності повинні функціонувати не ізольовано, а в тісній взаємодії з системами оповіщення, пожежогасіння та автоматизованого управління технологічними процесами, забезпечуючи наявність зворотного зв'язку та узгодженість дій усіх елементів безпекової інфраструктури. Для мінімізації негативних наслідків функціонування об'єктів нафтопродуктозабезпечення як у штатних режимах роботи, так і в аварійних ситуаціях, особливого значення набуває застосування методів математичного та комп'ютерного моделювання. Прогнозування сценаріїв виникнення та розвитку небезпечних подій дозволяє завчасно виявляти критичні точки, оцінювати потенційні ризики та запобігати виникненню надзвичайних ситуацій ще на етапі їх появи.

Важливою складовою системи технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення є її екологічний компонент. Традиційні системи екологічного моніторингу, як правило, зосереджені на контролі загального стану навколишнього природного середовища, зокрема на вимірюванні концентрацій шкідливих речовин у повітрі населених пунктів, питній воді та ґрунтах, рівнів шумового навантаження, електромагнітного й іонізуючого випромінювання. Водночас значно менша увага приділяється ідентифікації конкретних джерел негативного впливу та визначенню їхнього внеску в загальний рівень забруднення.

Виявлення питомої частки впливу окремих об'єктів є надзвичайно важливим як для об'єктивної оцінки екологічних ризиків, так і для прийняття ефективних рішень щодо впровадження природоохоронних заходів або застосування адміністративних та економічних інструментів регулювання. У цьому зв'язку системи моніторингу вибухонебезпечності доцільно інтегрувати з комплексами екологічного моніторингу, що дозволить отримувати достовірну інформацію про обсяги та характер шкідливих викидів у довкілля, а також оперативно реагувати на перевищення допустимих нормативів.

Висока актуальність зазначених проблем, їх наукова новизна, практична значущість та потреба у комплексному вирішенні з урахуванням викликів сьогодення зумовили вибір теми дисертаційного дослідження, визначили його основну мету та сформували коло ключових завдань, спрямованих на підвищення рівня безпеки та відповідальності суб'єктів господарювання.

Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та тематиками досліджень. Обрана тема дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку вітчизняної науки, техніки та інноваційної діяльності в Україні. Зокрема, вона узгоджується з положеннями Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності» від 21 грудня 2023 року, яким визначені стратегічні завдання щодо науково-технологічного розвитку держави. Крім того, тематика дослідження відповідає завданням і положенням Концепції реформування системи управління охороною праці в Україні (Постанова КМ України від 12.12.2018 р. № 989-р, що спрямована на поліпшення стану безпеки праці і запобігання техногенним аваріям.

Дисертаційна робота зв'язана із плановими науково-дослідними розробками Національного технічного університету «Дніпровська політехніка». Основні результати дослідження були використані та узагальнені в межах науково-дослідної роботи кафедри охорони праці та цивільної безпеки «Розробка процесу керування ризиками шляхом удосконалення засобів індивідуального захисту та моніторингу стану безпеки техногенних об'єктів» (державний реєстраційний

номер 0125U002025). У процесі виконання зазначеної науково-дослідної роботи автором проведено аналіз сучасних наукових підходів, інженерних рішень і практичних напрацювань, спрямованих на підвищення рівня технологічної безпеки. Основну увагу було приділено питанням удосконалення систем управління ризиками та моніторингу небезпечних станів на об'єктах нафтопаливного комплексу, що дозволило сформулювати теоретичне підґрунтя та прикладні рекомендації для розвитку ефективних безпекових рішень у цій сфері.

Мета і задачі дослідження

Мета роботи - обґрунтувати заходи спрямовані на вдосконалення систем технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки, що забезпечують поліпшення умов праці та підвищення рівня вибухопожежонебезпеки об'єктів.

Для досягнення мети дослідження в дисертаційній роботі сформульовані такі завдання:

- виконати аналіз умов праці, загроз і небезпек на об'єктах нафтопродуктозабезпечення та оцінити вплив сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки на довкілля;
- здійснити оцінку професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення;
- ідентифікувати небезпеки та розрахувати числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів;
- обґрунтувати рішення, спрямовані на підвищення надійності систем контролю умов праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення;
- обґрунтувати рішення, спрямовані на зменшення організованих викидів парів палива в довкілля та підвищення надійності систем вибухозахисту сховищ паливних матеріалів і пунктів заправки.

Об'єкт дослідження – системи технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки.

Предмет дослідження – методичні засади, методи та засоби моніторингу умов та безпеки праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення.

Основна ідея дослідження полягає у цілеспрямованому використанні сучасних цифрових та інформаційно-аналітичних технологій для комплексної оцінки параметрів виробничого середовища, в якому здійснюється зберігання та відпуск паливних матеріалів. У межах цієї ідеї передбачається розроблення й упровадження інтегрованих систем вибухозахисту для паливних сховищ і заправних пунктів, що базуються на підвищенні достовірності та функціональної надійності засобів контролю. Такі системи забезпечують можливість формування інтелектуальних алгоритмів обробки інформації, здатних здійснювати глибокий аналіз небезпечних і передаварійних станів, прогнозувати їх подальший розвиток та генерувати обґрунтовані рекомендації для оперативного персоналу з метою підтримки ефективного прийняття управлінських рішень у реальному часі.

Методи дослідження.

Для досягнення поставленої мети та розв'язання комплексу завдань дисертаційного дослідження було використано сукупність наукових методів. Зокрема, методи наукового узагальнення та статистичної обробки даних застосовувалися під час дослідження умов праці, ідентифікації потенційних загроз і аналізу небезпечних чинників, характерних для об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Методи математичного та комп'ютерного моделювання використовувалися для оцінювання впливу рівня надійності систем контролю на ймовірність виникнення надзвичайних і аварійних ситуацій, а також для прогнозування ефективності запропонованих технічних рішень.

Крім того, у процесі обґрунтування інженерних рішень, спрямованих на підвищення стабільності функціонування систем контролю було залучено елементи класичної теорії газодинаміки, електротехніки та процесів тепломасообміну. Комплексне використання зазначених методів забезпечило наукову обґрунтованість отриманих результатів і дозволило сформулювати цілісне уявлення про взаємозв'язок між технічними характеристиками систем

контролю, умовами праці та рівнем вибухо- і пожежної небезпеки на об'єктах паливної інфраструктури.

Наукова новизна одержаних результатів:

- запропоновано новий методологічний підхід до оцінки професійних ризиків, зумовлених шкідливими умовами праці який полягає у врахуванні кількісних закономірностей формування професійної та виробничо-зумовленої захворюваності працівників і наявних механізмів її попередження, в основу якого покладено лінійну залежність між тяжкістю наслідків і експозицією шкідливих чинників;

удосконалено:

- методичний підхід до ідентифікації небезпек та розрахувату числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів, який враховує всі небезпеки і небезпечні чинники, що можуть виникнути при їх експлуатації і забезпечує системний підхід до керування ризиками виявлених небезпек;

- підхід до визначення персоналізованого рівня ймовірності розвитку професійно зумовлених та професійних захворювань, який ґрунтується на припущенні про прямопропорційний зв'язок між ступенем тяжкості можливих медичних наслідків і сумарною масою пилових частинок, що накопичуються в організмі працівника за умов пилового навантаження, наближеного до гранично допустимих або критичних значень;

- термokatалітичний метод контролю вмісту парів нафтопродуктів в повітрі, що полягає у стабілізації напруги на порівняльному елементі та проведенні періодичної автоматичної перевірки нульових показань аналізаторів шляхом зміни напруги живлення чутливих елементів датчика до величини, за якої окислення парів бензину на каталітичноактивному елементі не відбувається та корегування нуля аналізатора за результатами перевірки;

- метод контролю викидів парів нафтопродуктів в повітря шляхом вимірювання масового вмісту парів у викидах та їх об'єму, що полягає у налаштування газоаналізатора по повірочній суміші гексану в повітрі, тепловиділення при окисленні якого близьке до середнього значення

тепловиділення від усіх горючих компонентів в повітрі, визначення вмісту парів бензину виходячи з залежності вихідного сингала мостової вимірювальної схеми від концентрації парів пального на ділянці характеристики де лімітуючим компонентом є кисень та визначення обсягів викидів за частотою вихорів, що утворюються при обтіканні потоком термokatалітичного датчика шляхом використання спектрального сингулярного аналізу для розкладання вихідного сигналу на компоненти, та виявлення гармонічної складової при відновленні сигналу за першими сімома значимими компонентами.

Практичне значення. Запропонований у роботі методологічний підхід до оцінювання професійних ризиків, що формуються під впливом шкідливих і небезпечних умов праці, надає фахівцям служб охорони праці інструментарій для комплексного визначення інтегрального ризику для здоров'я персоналу. Застосування цього підходу дозволяє здійснювати таку оцінку безпосередньо на основі наявної документації, зокрема карт умов праці, складених за результатами атестації робочих місць, без залучення додаткових складних вимірювальних процедур.

Впровадження результатів роботи. За результатами досліджень розроблено Положення про ідентифікацію небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів, яке впроваджено ТОВ «Альянс Холдинг», Shell Retail Ukraine. Результати дослідження були використані викладачами кафедри охорони праці та цивільної безпеки НТУ «Дніпровська політехніка» при викладанні дисциплін «Гігієна праці та виробничого середовища», «Контроль умов праці» та «Системи контролю та спостереження за надзвичайними ситуаціями» для студентів спеціальності 263 «Цивільна безпека».

Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій Достовірність сформульованих у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і практичних рекомендацій забезпечується комплексом взаємопов'язаних чинників. Насамперед це коректне визначення мети, завдань та логіки дослідження, а також послідовне розв'язання поставлених наукових і

прикладних проблем із залученням сучасної вимірювальної та діагностичної апаратури. У роботі використано перевірені та репрезентативні експериментальні дані, що характеризуються достатнім обсягом і статистичною надійністю, а також застосовано апробований математичний інструментарій для їх оброблення й інтерпретації.

Додатковим підтвердженням обґрунтованості отриманих результатів є їх практична апробація та впровадження в реальних умовах виробничої діяльності. Зокрема, розроблені підходи та методичні положення реалізовано у межах впровадження «Положення про ідентифікацію небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів» на підприємствах ТОВ «Альянс Холдинг» та Shell Retail Ukraine, що свідчить про їх прикладну придатність, ефективність і відповідність сучасним вимогам систем управління ризиками.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійно виконаного наукового дослідження. Усі теоретичні положення, аналітичні узагальнення, висновки та практичні рекомендації, які сформульовано автором і винесено на публічний захист, отримані, систематизовані та належним чином оформлені здобувачем особисто. У публікаціях, підготовлених у співавторстві, внесок автора полягає у формуванні наукової ідеї, розробленні методичного підходу, виконанні розрахунків, аналізі результатів і підготовці відповідних матеріалів до оприлюднення, що забезпечує самостійність і цілісність представленого дисертаційного дослідження. Його внесок в опубліковані у співавторстві роботи [1]- [8] та [13]- полягає у наступному: [1] - обґрунтуванні методу коригування нульових показань газоаналізаторів; [2] – визначення умов за яких АЗС відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки; [3] – визначенні числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів; [4] – обґрунтуванні методу контролю; [5] – проведення моделювання вибуху пального на автозаправній станції; [6] – обґрунтуванні методу визначення ризику захворювання; [7] – дослідженні впливу температурного режиму термоелементів на вихідний сигнал датчика; [8]

– обґрунтуванні можливості визначення параметрів вибухонебезпечної суміші шляхом здійснення сингулярного спектрального аналізу вихідного сигналу датчика; [13] – визначенні впливу води на процеси теплопередачі в датчиках.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ ТА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз умов праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення.

Для сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки, як об'єктів нафтопродуктозабезпечення, умови праці в першу чергу визначаються наявністю значної кількості шкідливих речовин – продуктів переробки нафти, які здатні негативно впливати на здоров'я працівників при інгаляційному надходженні їх парів до організму людини, при попаданні їх на шкіру працівників та у разі потрапляння в шлунок. Крім того на умови праці часто суттєво впливають інші чинники, в першу чергу шкідливі викиди транспортних засобів, шуми, аерозолі, особливий режим роботи працівників, кліматичні умови та ін.

Серед найбільш розповсюджених хімічних речовин здатних спричинити шкідливий вплив на працівників сховищ паливних матеріалів та автозаправних станцій (АЗС) є бензин, дизельне паливо та скраплений газ.

Бензин являє собою багатокomпонентну рідку паливну систему, що складається з комплексу різноманітних органічних сполук вуглеводневої природи. За своїми фізико-хімічними властивостями він належить до категорії горючих і легкозаймистих рідин підвищеної небезпеки, що обумовлено його високою леткістю, здатністю швидко утворювати вибухонебезпечні пароповітряні суміші та наявністю специфічного характерного запаху. Однією з важливих особливостей бензину є його вкрай низька розчинність у водному середовищі, що зумовлює тривале збереження забруднень у разі потрапляння палива в ґрунт або водні об'єкти.

Хімічні властивості бензинів прийнято описувати через так званий груповий вуглеводневий склад, який відображає співвідношення основних класів вуглеводнів, що входять до їх структури. До таких класів належать

ароматичні сполуки, олефіни, нафтени та парафіни, кожна з яких по-різному впливає на експлуатаційні, екологічні та вибухопожежні характеристики палива. Співвідношення цих компонентів визначає октанове число, стабільність згоряння, рівень утворення шкідливих викидів і загальні показники якості бензину.

Окрім вуглеводневої складової, до складу бензину можуть входити кисневмісні добавки, зокрема різні види спиртів, які застосовуються для покращення окремих паливних характеристик. Також у незначних концентраціях у бензинах присутні гетероатомні органічні сполуки, до молекулярної структури яких входять такі елементи, як сірка, кисень та азот. Наявність цих домішок має суттєве значення з точки зору токсичності, корозійної активності, екологічної безпеки та умов зберігання і використання бензину в технологічних процесах. Бензин використовується в основному як моторне паливо, та розчинник. Потрапити в організм бензин може різними способами, найчастіше це відбувається при вдиханні парів через дихальні шляхи. Негативні наслідки від цієї речовини можна отримати і при попаданні його як розчинника на шкіру, а також в шлунок. Отруєння бензином може носити різний ступінь тяжкості, на це впливає концентрація пального і час його контакту з людиною [2,3]. Тяжкі наслідки спостерігаються при переливанні бензину в невеликих закритих приміщеннях або застосуванні в якості розчинника. За умов, що вміст парів бензину становить 30-40 г/м³ небезпека для життя людини виникає при вдиханні парів протягом 5-10 хв. Підвищений рівень небезпеки під час поводження з бензином спостерігається за умов високих температур навколишнього середовища та технологічного обладнання, що зумовлено значною леткістю бензину та здатністю інтенсивно переходити у пароподібний стан [4,5]. За таких умов різко зростає концентрація парів бензину у повітрі, що сприяє утворенню вибухонебезпечних пароповітряних сумішей і водночас підвищує ризик негативного впливу на здоров'я працівників.

Відповідно до чинних нормативно-правових документів, бензини класифікуються за ступенем небезпеки залежно від шляху надходження в організм людини [1]. Зокрема, при інгаляційному впливі пари бензину належать до 3 класу небезпеки, що характеризує їх як помірно небезпечні речовини. У разі потрапляння бензину до шлунково-кишкового тракту він відноситься до 4 класу небезпеки та вважається малонебезпечним. Контакт бензину зі шкірними покривами також класифікується за 3 класом небезпеки, що свідчить про наявність помірного токсичного впливу на організм людини.

Для бензинів характерна кумулятивна дія, яка проявляється при тривалому або повторюваному впливі навіть за відносно низьких концентрацій. Пари бензину чинять подразнювальну дію на слизові оболонки дихальних шляхів і очей, а також характеризуються обмеженою, але наявною здатністю до резорбції через органи дихання та шкірні покриви. Це зумовлює необхідність постійного контролю умов праці при виконанні технологічних операцій, пов'язаних із використанням і зберіганням бензинів.

Згідно з вимогами нормативних документів [1], під час виконання робіт із бензинами повітря підлягає обов'язковому контролю щодо вмісту парів бензину в робочій зоні, а також наявності супутніх шкідливих компонентів, зокрема насичених аліфатичних вуглеводнів, оксиду вуглецю та етилового спирту. Склад бензинів суттєво залежить від їх марки та технології виробництва, у зв'язку з чим вони можуть містити домішки таких небезпечних речовин, як свинець, сірка, марганець, бензол та інші сполуки, що відносяться до більш високих класів небезпеки [6,7].

Серед перелічених компонентів особливої уваги заслуговує бензол, який вважається одним із найбільш токсичних складників бензинових сумішей та становить підвищену загрозу для здоров'я робітників [8]–[10]. Тривалий або інтенсивний вплив бензолу може призводити до серйозних порушень функціонування організму, зокрема систем кровотворення. З огляду на це, нормативними документами встановлено гранично допустимий вміст бензолу в

бензині, що становить не більше 1 % [1], що є важливою умовою для зниження професійних ризиків та створення безпечних умов для працівників.

Відомі дослідження потенційної небезпеки впливу бензину на здоров'я працівників АЗС [3] показують, що в основному негативні наслідки пов'язані з інгаляційним впливом парів бензину, які накопичуються в повітрі робочої зони в процесі випаровування бензину та переміщення парів бензину в навколишньому просторі. Питання, пов'язані з процесами випаровування бензину, та впливом різних чинників на них досить широко висвітлені в літературі [10,12]. Багато уваги приділяється також розробці та дослідженню методів та заходів спрямованих на зниження втрат бензину від випаровування [13-17].

Сучасні автозаправні станції являють собою складні інженерно-технологічні комплекси, до складу яких входять будівельні споруди, технологічні установки та допоміжне обладнання, функціональне призначення яких полягає переважно у прийманні нафтопродуктів, їх тимчасовому зберіганні, а також відпуску палива споживачам через заправні колонки. Значна частина технологічного обладнання автозаправних станцій розміщується поза межами закритих приміщень, безпосередньо на відкритих виробничих майданчиках (рис. 1.1), що зумовлено особливостями технологічних процесів та вимогами експлуатаційної безпеки.



Рис. 1.1. Автозаправні станції нідерландської компанії «Shell», що функціонують в Україні.

За умов нормальної експлуатації автозаправних станцій процеси випаровування палива відбуваються у декількох основних випадках:

- під час заповнення ємностей, призначених для зберігання нафтопродуктів;
- у момент заправки транспортних засобів;
- протягом тривалого зберігання палива всередині резервуарів.

Усі потенційні джерела викидів парів бензину на території автозаправних станцій прийнято класифікувати на дві великі категорії:

- організовані джерела викидів, до яких належать дихальні клапани резервуарів для зберігання нафтопродуктів, що передбачені конструкцією для регулювання тиску всередині ємностей;
- неорганізовані джерела викидів, до яких відносять паливороздавальні колонки та інші точки, через які пари палива безконтрольно потрапляють у повітря робочої зони.

Викиди через дихальні клапани резервуарів прийнято додатково поділяти на великі дихання та малі дихання [11].

Великі дихання виникають у процесі прямого заповнення резервуарів нафтопродуктом. Під час заливки бензину або іншого палива з транспортних цистерн усередині резервуара відбувається витіснення повітря та парів, що призводить до підвищення внутрішнього тиску. Коли цей тиск перевищує критичне значення, спрацьовує дихальний клапан, і пари бензину викидаються у навколишнє середовище. З огляду на обсяг викидів, великі дихання є одним із ключових джерел викидів парів бензину, що робить їх значущими з точки зору екологічної та пожежної безпеки.

Малі дихання формуються під впливом коливань температури та змін атмосферного тиску. Підвищення температури всередині резервуара або зниження зовнішнього атмосферного тиску призводить до спрацьовування дихального клапана та непомітного, але регулярного викиду парів бензину в атмосферу. Хоча окремі викиди мають невеликі обсяги, вони можуть

накопичуватися упродовж тривалого часу та призводити до значних втрат палива, особливо за умов наземного розташування резервуарів.

Таким чином, і великі, і малі дихання становлять важливі фактори, які слід враховувати при оцінці впливу автозаправних станцій на довкілля та при розробці систем контролю викидів парів нафтопродуктів [11].

Викиди парів бензину через дихальні клапани, що розміщені на значній висоті, розсіюються в атмосфері і спричиняють негативні екологічні наслідки та за певних умов створюють загрозу виникнення вибухів паливоповітряних сумішей. Проте, за умов штилю вони можуть накопичуватися на території та в приміщеннях АЗС і спричиняти погіршення умов праці.

Не менш значні викиди парів бензину виникають під час заправки автомобілів, внаслідок витіснення насиченого парами бензину повітря з баків автомобілів. Ці джерела викидів безпосередньо знаходяться в робочій зоні працівників АЗС, що в основному і призводять до забруднення повітря робочої зони, а за певних кліматичних умов спричиняє забруднення повітря в приміщеннях та в санітарно-захисній зоні АЗС.

Крім розглянутих причин забруднення повітря робочої зони парами бензину за нормальної роботи АЗС існує низка причин забруднення внаслідок виникнення аварій та аварійних ситуацій. Потенційними джерелами забруднення довкілля та утворення вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей на автозаправних станціях є численні технічні фактори, пов'язані з експлуатацією резервуарів і технологічного обладнання. Зокрема, до таких джерел відносять: витоки летких фракцій нафтопродуктів під час переповнення резервуарів у процесі зливання палива з автоцистерн; роз'єднання технологічних сполук і аварійні ситуації в обв'язках резервуарів; пошкодження напірно-всмоктувальних трубопроводів; переповнення паливних баків транспортних засобів під час заправки; аварійні ситуації, що виникають на трубопроводах або роздавальних колонках через корозійні процеси металевих елементів; несправності кранів, рукавів та зливо-наливних пристроїв

резервуарів; пошкодження дихальних клапанів та люків, що порушує герметичність ємностей [11, 18].

За характером прояву та тривалості дії токсичних речовин розрізняють гострі та хронічні наслідки. Гострі ефекти виникають у разі короткочасного впливу високих концентрацій токсичних компонентів на організм людини, тоді як хронічні наслідки формуються поступово через тривалу експозицію малих доз речовин, які накопичуються в тканинах та органах.

При вдиханні парів бензину у концентрації до 3000 мг/м³ протягом 10 хвилин гострі токсичні ефекти не спостерігаються. Однак збільшення концентрації та тривалості експозиції призводить до подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів. В умовах перевищення концентрації понад 20 000 мг/м³ можуть з'являтися запаморочення, втрата свідомості та порушення дихальної функції. Концентрації понад 45 000 мг/м³ вважаються смертельними для людини. Постійна робота за умов вмісту парів бензину в повітрі 250–300 мг/м³ здатна порушувати репродуктивні функції, зокрема спричиняти гіпофункції яєчників, кровотечі та погіршення лактації у жінок [19–21], а також негативно впливати на органи травної системи, особливо печінку та підшлункову залозу. Порогом чутливості до запаху бензину вважається концентрація 40 мг/м³ [6, 7].

Додатково слід враховувати підвищену токсичність бензолу, присутнього в складі бензину, який навіть у невеликих концентраціях викликає наркотичне сп'яніння, судоми, порушення зору та може призвести до летальних наслідків [6, 7]. Леткі вуглеводні ряду C5–C7, що переважають у парах бензину, мають наркотичну дію та здатні пригнічувати діяльність центральної нервової та дихальної систем. Зокрема, гексан проявляє нервово-паралітичну активність, викликаючи стан сп'яніння, порушення зору та координації рухів, головний біль, а також пригнічення рухової, нервової та дихальної функцій [19, 22, 23]. Компонент бензину октан може спричинювати глибокий наркоз [6, 7]. Деякі складники бензину, зокрема бензол, здатні спричиняти генетичні зміни та мутації [24, 25].

Контакт зі шкірними покриттями під час роботи з бензином призводить до фізико-хімічних реакцій, що проявляються знежиренням шкіри, сухістю, подразненням, розвитком дерматитів, екземи, а у випадках тривалого чи інтенсивного контакту можливі навіть хімічні опіки [7].

Серед інших хімічних речовин здатних спричиняти шкідливий вплив на працівників АЗС слід виділити дизельне паливо та скраплений газ, а для сховищ паливних матеріалів також гас.

Гас як і дизельне паливо відносяться до продуктів переробки нафти, що отримуються двома шляхами – ректифікацією або крекінгом. Гас є сумішшю вуглеводнів, температура кипіння яких від 150 до 250 °С. Це злегка масляниста на дотик прозора рідина, деякі її різновиди можуть мати жовтуватий колір. Щільність при 20 °С – 0,75-0,85 г/см³. Дизельне паливо в середньому трохи важче гасу – від 0,84 до 0,86 г/см³. За низьких температур воно майже не випаровується, внаслідок чого концентрація парів порівняно низька, тому випадки гострого отруєння парами дизельного палива дуже рідкісні. При вдиханні парів дизельного палива проявляється подразнювальний вплив на верхні дихальні шляхи, що супроводжується кашлем та дискомфортом у горлі. Допустима максимально разова ГДК як парів дизельного палива так і гасу в повітрі робочої зони складає 300 мг/м³. За такої концентрації відсутній негативний їх вплив на здоров'я персоналу.

Гас характеризується більш високою леткістю порівняно з дизельним паливом, що спричиняє інтенсивніше утворення парів. При гострому інтоксикаційному впливі гасу на людину спостерігаються підвищена стомлюваність, виникають подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів та кашель, а також сонливість та шум у вухах,. У разі хронічного впливу можливе виникнення головного болю, зниження апетиту, загальна слабкість, болі в області серця, свербіж шкіри, зниження маси тіла та порушення сну. Тривалий контакт гасу зі шкірними покриттями призводить до розвитку гострих і хронічних дерматологічних уражень, таких як дерматити, екзема, а у тяжких випадках — хімічні опіки.

Скраплений газ є безбарвною та майже без запаху рідиною з густиною, залежно від температури, тиску та вмісту вищих алканів від 0,41 до 0,5 кг/дм³. При високій тиску та за низької температури густина рідини зростає. Основними компонентами скрапленого газу є пропан і бутан, які становлять основу його легких фракцій. Максимально допустима разова концентрація (ГДК) пропану та бутану у повітрі робочої зони становить 300 мг/м³, тоді як у атмосферному повітрі на відкритій місцевості — 200 мг/м³. Перевищення цих норм може спричинити слабку наркотичну дію, а гострі токсичні ефекти виникають при вдиханні повітря, що містить газ у концентраціях, що досягають кількох відсотків [26, 27].

Вплив бензину, гасу, скрапленого газу та інших розглянутих речовин на організм людини значною мірою визначається індивідуальними особливостями персоналу. До груп підвищеного ризику належать особи старшого віку, підлітки, а також люди зі зниженим імунітетом чи наявними хронічними захворюваннями (наприклад, грип, бронхіт, туберкульоз). У деяких випадках виникає явище сенсibiliзації — підвищеної чутливості окремих людей до дії певних токсичних речовин, що робить їх більш сприйнятливими до розвитку гострих або хронічних отруєнь навіть за відносно невисоких концентрацій шкідливих компонентів.

Спостерігаються когнітивні порушення, пов'язані з їх постійною тривалою дією бензину [28, 29]. Шкідливий вплив на працівників здійснюють також оточуючі АЗС промислові об'єкти, а особливо транспортні засоби. Це пов'язано з тим, що АЗС, як правило розміщуються біля автомагістралей з інтенсивним рухом транспортних засобів, вихлопні гази яких впливають на якість повітря робочої зони. Крім того рух транспортних засобів погіршує умови праці за шумовим чинником [30].

Ще однією особливістю роботи працівників сховищ паливних матеріалів та АЗС є позмінна та нічна їх робота, а також тривалі робочі години, що обумовлює негативний вплив на здоров'я працівників [31]. Це проявляється у порушеннях сну таких працівників [32], зниженні уваги та погіршенні безпеки

[33], зменшення продуктивності [34], підвищення втомлюваності [35], а інколи і до розвитку таких тяжких наслідків як рак [36] та ішемічної хвороби серця [37].

Виконаний аналіз показує, що кореневою причиною шкідливого впливу умов праці на здоров'я працівників сховищ паливних матеріалів та АЗС є пари нафтопродуктів і в першу чергу пари бензину. Для попередження впливу парів бензину на працівників та довкілля необхідно здійснювати постійний моніторинг умов праці та стану атмосфери в санітарно-захисній зоні АЗС. Наявність такого моніторингу закладає умови для широкого впровадження заходів і засобів спрямованих на зменшення викидів парів бензину в повітря, що відповідно буде сприяти поліпшенню умов праці та зниженню екологічного навантаження сховищ паливних матеріалів та АЗС на довкілля.

1.2. Сховища паливних матеріалів та пункти заправки як об'єкти підвищеної безпеки

Відповідно до положень Закону України «Про об'єкти підвищеної безпеки», усі промислові та технологічні об'єкти, на яких здійснюється використання, виробництво, переробка, зберігання або транспортування однієї або декількох небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також ті об'єкти, які становлять реальну потенційну загрозу виникнення надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру, підлягають віднесенню до категорії об'єктів підвищеної безпеки [37].

Згідно з додатком 2 до зазначеного закону, нормативно визначені порогові маси горючих рідин для класифікації об'єктів підвищеної безпеки першого та другого класу становили відповідно 50 000 та 5 000 тонн, а порогові маси займистих газів — 50 та 10 тонн. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 р. № 1030 «Порядок ідентифікації об'єктів підвищеної безпеки та ведення їх обліку» було запроваджено третій

клас об'єктів підвищеної небезпеки [38]. Для цього класу порогові маси займистих рідин категорій 2 і 3 встановлені на рівні 500 тонн, а порогові маси займистих газів — 2 тонни.

Нафтосховища класифікують за різними критеріями: по характеру виконуваних операцій вони бувають перевалочними, розподільними та перевалочно-розподільними; за способом постачання — водні (морські та річкові), залізничні, трубопровідні, глибинні, а також ті, що отримують нафтопродукти автотранспортом. Перевалочні сховища призначені для тимчасового перенесення нафтопродуктів з одного виду транспорту на інший і оснащені великим резервуарним парком, що забезпечує зберігання всього обсягу нафтопродуктів, які реалізуються в міжнавігаційний період [39].

Наземні сховища нафтопродуктів зазвичай оснащуються вертикальними сталевими циліндричними резервуарами або резервуарами спеціальних конструкцій, такими як каплевидні, з плаваючим дахом та іншими конструктивними варіантами. До складу нафтосховищ входять не лише резервуари, а й комплекс технологічних трубопроводів, насосних станцій, напірних і безнапірних ліній, що забезпечують транспортування, накопичення та контроль продуктів, а також системи скорочення втрат, забезпечення безпеки, пожежогасіння та автоматизації [39].

Резервуарний парк являє собою комплекс взаємопов'язаних ємностей, призначених для зберігання або тимчасового накопичення рідких нафтопродуктів. Кожен резервуарний комплекс обладнаний технологічними трубопроводами, запірною арматурою, насосними установками, системами контролю втрат продуктів та автоматизації, а також засобами протипожежного захисту. Ємність окремих резервуарів у межах однієї групи зазвичай не перевищує 200 000 м³ [39].

За способом розташування резервуарів виділяють такі типи резервуарних парків: надземні, напівпідземні, підземні та підводні, що дозволяє адаптувати розміщення резервуарів до конкретних умов експлуатації та забезпечувати максимальний рівень безпеки на об'єкті.

Загальний вигляд сховища паливних матеріалів з наземним розміщенням резервуарів наведено на рис. 1.2.



Рис.1.2. Загальний вигляд сховища паливних матеріалів з наземним розміщенням резервуарів

З огляду на значні обсяги горючих рідин, що зберігаються в нафтосховищах, такі об'єкти, як правило, відносяться до категорії об'єктів підвищеної небезпеки першого або другого класу та підлягають обов'язковій ідентифікації та державному контролю. Власник нафтосховища відповідно до положень законодавства [37] зобов'язаний підготувати та подати до місцевих органів виконавчої влади декларацію безпеки об'єкта підвищеної небезпеки, яка відображає загальний рівень ризику для персоналу, населення та навколишнього середовища. Крім того, власник розробляє, погоджує з ДСНС та затверджує план локалізації і ліквідації аварій, який детально регламентує заходи щодо запобігання надзвичайним ситуаціям, локалізації вогнища аварії та мінімізації наслідків для людей, матеріальних цінностей та навколишнього середовища на кожному конкретному об'єкті.

Пожежі та вибухи на таких об'єктах відносяться до категорії надзвичайних ситуацій техногенного характеру, що завдають значних економічних збитків, спричиняють руйнування будівель та споруд, а також становлять серйозну загрозу для життя і здоров'я працівників, рятувальників та мешканців прилеглих територій (рис. 1.3). Вибухи, як правило, супроводжуються руйнуванням інфраструктури та посиленням масштабу пожежі, що ускладнює її ліквідацію і підвищує ризик травмування людей.



Рис. 1.3. Пожежа в резервуарах на нафтобазі

Яскравим прикладом такої надзвичайної ситуації є пожежа з вибухом на нафтобазі «БРСМ-Нафта», яка сталася у Васильківському районі Київської області 8 червня 2015 року. Пожежа охопила всі 17 резервуарів із паливом, що знаходилися на території бази. Під час гасіння пожежі стався потужний вибух, який завдав значних руйнувань і призвів до загибелі 5 осіб, а ще 18 осіб отримали травми різного ступеня тяжкості [40]. Цей випадок демонструє критичну необхідність ретельного планування, регулярного контролю та впровадження систем управління ризиками на об'єктах підвищеної небезпеки.

До моменту набуття чинності Постанови Кабінету Міністрів України № 1030 [38], більшість автозаправних станцій (АЗС) класифікувалися переважно як потенційно небезпечні об'єкти. Відповідно до положень [37], потенційно небезпечний об'єкт – це такий об'єкт, на якому можуть використовуватися, виготовлятися, перероблятися, зберігатися або транспортуватися небезпечні хімічні речовини, біологічні препарати або інші компоненти, які за певних умов здатні створити реальну загрозу виникнення аварійної ситуації. Проте таке визначення потенційно небезпечного об'єкта не включає конкретних кількісних показників ризику чи параметрів аварійності, що ускладнює однозначну оцінку об'єктів та їх віднесення до зазначеної категорії. Фактично, будь-який об'єкт, залежно від певних обставин, може створити потенційну загрозу аварійної ситуації.

Процедура ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів здійснювалася відповідно до Методики ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, затвердженої наказом МНС України від 23.02.2006 № 98 [41], яка втратила чинність 03.01.2023 року. Втрата чинності цієї методики [41], а також низки інших нормативно-правових актів, що регламентували окремі аспекти функціонування потенційно небезпечних об'єктів [42, 43], разом із введенням третього класу об'єктів підвищеної небезпеки за Постановою КМУ [38], фактично виводить термін «потенційно небезпечний об'єкт» з офіційного вжитку. Замість нього, відповідно до «Положення про порядок формування, ведення та використання галузевого страхового фонду документації», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 13 березня 2002 р. № 319, передбачено створення Державного реєстру об'єктів підвищеної небезпеки замість Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів.

Варто підкреслити, що введення третього класу об'єктів підвищеної небезпеки значно розширює сферу дії Закону [37]. Проте, як у самому законі, так і в Порядку [38], відсутні чіткі пояснення щодо особливостей вимог до об'єктів при їх віднесенні до конкретного класу підвищеної небезпеки. Нормативно-правові акти різних державних органів управління часто не

узгоджуються між собою у частині класифікації та регламентування об'єктів підвищеної небезпеки. Наприклад, Державні санітарні правила (ДСП) планування та забудови населених пунктів [44] при визначенні розмірів санітарно-захисних зон використовують п'ятиступеневу класифікацію підприємств та виробництв, яка не синхронізована з Порядком [38]. При цьому розміри санітарно-захисних зон визначені виключно з урахуванням шкідливого впливу виробничих факторів на населення та навколишнє середовище.

Згідно [44], мінімальна відстань від АЗС із підземними резервуарами для зберігання рідкого палива до меж дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл, шкіл-інтернатів, лікувально-профілактичних установ, житлових будівель та інших громадських споруд має визначатися на основі розрахунків забруднення атмосферного повітря шкідливими викидами АЗС, але не менше ніж 50 м. Такий самий розмір санітарно-захисної зони встановлений і для пунктів очистки, промивки та пропарки цистерн, які є складовими нафтохранищ [44].

Водночас, на підставі аналізу реальних наслідків аварій на АЗС та нафтохранищах [40, 45], а також результатів комп'ютерного моделювання можливих аварійних сценаріїв [46, 47], тяжкі та летальні наслідки вибухів можуть проявлятися на відстанях, що значно перевищують нормативні розміри санітарно-захисних зон, визначені у [44].

Введення третього класу об'єктів підвищеної небезпеки, що суттєво розширює сферу застосування Закону [37], передбачає, що об'єкт вважається об'єктом підвищеної небезпеки відповідного класу тоді, коли сумарна маса небезпечних речовин, які використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються на ньому, дорівнює або перевищує нормативно встановлену порогову величину.

Відповідно до [38], для віднесення автозаправної станції до третього класу об'єктів підвищеної небезпеки порогова маса світлих нафтопродуктів становить 500 тон, а порогова маса займистих газів або рідин, що зберігаються за температури, вищої за їхню точку кипіння, – 2 тонни. Такий підхід дозволяє

забезпечити більш точну класифікацію об'єктів та посилити контроль за дотриманням правил безпеки на АЗС і нафтосховищах.

Типові сучасні АЗС, які призначені для приймання, зберігання та відпуску світлих нафтопродуктів як правило мають кілька підземних резервуарів для зберігання світлих нафтопродуктів (бензину та дизельного палива) з тиском насичених парів до 0,07 МПа. Загальна ємність резервуарного парку для зберігання світлих нафтопродуктів становить від 50 до 200 м³. В такому випадку маса світлих нафтопродуктів, які знаходяться в резервуарах, є суттєво меншою за 500 тон. Тобто при відсутності на АЗС резервуарів для зберігання скраплених газів, згідно [38] вони не являються об'єктами підвищеної небезпеки і вимоги цього Закону, що стосуються ідентифікації, подання декларації, розробки та перегляду плану локалізації і ліквідації аварій на них не розповсюджуються.

Зберігання скраплених газів на АЗС здійснюється як в підземних, так і наземних резервуарах. Резервуари можуть мати різну ємність, в тому числі таку, яка не забезпечує зберігання маси газу більшої порогової. Проте, використання резервуарів малої ємності є економічно недоцільним, а зважаючи на те, що скраплений газ на АЗС доставляється автоцистернами зі значним експлуатаційним об'ємом (наприклад 9 м³), практично усі ємності резервуарів для збереження скраплених газів на сучасних АЗС забезпечують зберігання маси скраплених газів більше 2 тон. Виходячи з цього практично усі АЗС на яких здійснюється заправка автомобілів скрапленим газом є об'єктами підвищеної небезпеки 3-го класу і на них розповсюджуються вимоги Закону [37] стосовно ідентифікації, подання декларації, розробки та перегляду плану локалізації і ліквідації аварій.

У випадках, коли на автозаправній станції (АЗС) відсутні окремі небезпечні речовини у кількості, що дорівнює або перевищує встановлену нормативами порогову масу, віднесення такого об'єкта до категорії об'єктів підвищеної небезпеки здійснюється за умови, що виконується наступна умова [38]

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{Q_{3i}} \geq 1, \quad (1.1)$$

де q_i - маса конкретної небезпечної речовини;

Q_{3i} - нормативно встановлена порогова маса конкретної небезпечної речовини для об'єктів третього класу підвищеної небезпеки.

Іншими словами, навіть якщо сумарна маса небезпечних компонентів не перевищує встановлених меж, об'єкт може бути віднесений до класу підвищеної небезпеки, якщо співвідношення фактичної маси кожної речовини до її порогового значення досягає або перевищує одиницю.

Запровадження Кабінетом Міністрів України нового Порядку ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку [38], що передбачає введення третього класу таких об'єктів, а також скасування попередніх нормативно-правових актів, які регламентували процедуру ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, створює необхідність перегляду статусу значної частини об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Цей перегляд передбачає оновлення процедур ідентифікації, подання декларацій безпеки об'єктів, а також розробку та актуалізацію планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій.

Зазначені нормативні зміни дозволяють частково усунути дублювання термінології та процедур, що існувало у попередніх документах, та встановлюють більш прозорий і систематизований порядок для реєстрації, класифікації та обліку об'єктів господарської діяльності, які працюють з небезпечними речовинами. Водночас це вимагає внесення відповідних змін до Закону України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» для приведення його положень у відповідність до нового Порядку [38], а також уточнення критеріїв і процедур при віднесенні об'єктів до різних класів підвищеної небезпеки.

Таким чином, нова нормативно-правова база не лише розширює категоризацію об'єктів підвищеної небезпеки, але й встановлює чіткіші критерії оцінки ризику, сприяє більш ефективному контролю за безпекою на об'єктах

нафтопродуктозабезпечення та формує підстави для посилення заходів щодо запобігання аварійним ситуаціям.

1.3. Оцінка впливу сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки на довкілля

Відповідно до положень Закону України «Про оцінку впливу на довкілля» [48], проведення процедури оцінки впливу на довкілля (ОВД) є обов'язковим етапом у процесі прийняття управлінських та інвестиційних рішень щодо реалізації планованої діяльності на об'єктах, здатних спричинити потенційно негативні наслідки для навколишнього середовища та життєдіяльності людини. Така діяльність може безпосередньо або опосередковано впливати на стан атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів, кліматичні умови, біорізноманіття флори і фауни, а також здоров'я населення, що обумовлює необхідність комплексного аналізу екологічних ризиків ще на стадії планування.

Особливої уваги потребують сховища паливних матеріалів великої місткості. Так, сховища з об'ємом 200 тисяч тонн і більше відносяться до першої категорії видів планованої діяльності та об'єктів, здатних чинити суттєвий вплив на стан навколишнього середовища [48]. До другої категорії належать сховища меншої місткості, а також усі пункти заправки, на яких здійснюється як поверхневе, так і підземне зберігання викопного палива чи продуктів його переробки, за умови, що площа об'єкта становить 500 м² і більше або об'єм рідких чи газоподібних продуктів — 15 м³ і більше [48].

Враховуючи зазначені критерії, на етапі отримання дозволу на будівництво або реконструкцію таких об'єктів обов'язково проводиться екологічна експертиза та оцінка впливу на довкілля, що дозволяє заздалегідь виявити потенційні екологічні ризики та розробити заходи щодо їх мінімізації. За результатами цієї процедури організація-виконавець готує офіційний звіт з оцінки впливу на довкілля, який містить комплексний аналіз можливих

екологічних наслідків планованої діяльності, пропозиції щодо заходів з їх попередження та рекомендації для забезпечення дотримання нормативних вимог [49].

Таким чином, реалізація вимог Закону [48] та підготовка звітної документації [49] забезпечують науково обґрунтоване управління ризиками для довкілля і здоров'я населення, що є необхідною умовою безпечного функціонування об'єктів нафтопродуктозабезпечення.

В звіті з оцінки впливу на довкілля, щодо будівництва сховищ чи АЗС зазначаються усі вимоги екологічного та соціального характеру до розробки проекту, будівництва та їх експлуатації, що направлені на відвернення негативного впливу на навколишнє середовище, захист довкілля, а також на ефективне використання природних ресурсів. Здійснюється опис ділянки, де передбачено будівництво АЗС, опис об'єктів, які розміщені за санітарно-захисної зони АЗС, надається інженерно-геологічна характеристика ділянки, визначається здатність ґрунтів до просідання та можливості затоплення. Наводиться опис будівель і споруд АЗС, з врахуванням функціональної необхідності, та основних показників діяльності АЗС.

Вплив АЗС на атмосферне повітря, водне середовище та ґрунти визначається виходячи з основних показників планової діяльності АЗС з врахуванням викидів вуглеводнів за рахунок випаровування при зберіганні в резервуарах та надходження парів бензину в повітря при заправці автотранспорту нафтопродуктами.

Нині, для отримання дозволу на будівництво нових об'єктів, в звітах з оцінки впливу АЗС на довкілля при розрахунку забруднення атмосферного повітря парами бензину чи дизельного палива враховуються наступні джерела викидів:

1. Викиди парів через дихальні клапани (організовані) при зберіганні в нафтопродуктів в резервуарах (малі дихання);
2. Викиди парів та заправці автотранспорту (неорганізовані) на паливо-розливних колонках.

Викиди при зливі палива з автоцистерн (великі дихання), як правило не враховуються, оскільки передбачається повернення парів бензину (пароповернення) з резервуарів до автоцистерн і при цьому виключається вихід парів нафтопродуктів в навколишнє середовище [49]. Впровадження пароповернення вимагає здійснення доставки нафтопродуктів спеціально оснащеним автомобілем-цистерною та наявність на АЗС обладнання, необхідного для здійснення пароповернення. На переважній більшості діючих АЗС система пароповернення не реалізована. Складності виникають також виникають у зв'язку з відсутністю спеціально оснащених автомобілів-цистерн.

Стосовно неорганізованих викидів на паливо-розливних колонках, слід відзначити, що в звітах з оцінки впливу на довкілля з метою зменшення обсягів цих викидів для наливання палива у паливні баки автомобілів передбачують застосування сучасного паливороздавального обладнання, яке забезпечує уловлювання, відведення та рекуперацію випарів, що витісняються з баків автомобілів під час заправки [49]. При наливанні бензину в бак транспортного засобу відсмоктування газів можливе при використанні сучасних паливозаправник колонок, наприклад виробництва "Tokheim Quantum 510T 5-10" які комплектуються пістолетом з відсмоктуванням парів. Відведення парів здійснюється через трубопровід зворотного виведення та запобіжну арматуру в бензиновий резервуар.

В цьому випадку розраховане, виходячи з обсягів палива, що відпускається, значення неорганізованих викидів зменшується в 10 раз. На переважній більшості діючих АЗС така система рекуперації при заправці автомобілів нині не реалізована.

Незалежно від типу АЗС та організації її роботи, основне техногенне навантаження (до 85%) припадає на атмосферне повітря [50, 51]. Розрахунок забруднення атмосферного повітря парами бензину, дизпалива, пропану, бутану, а також оксиду вуглецю, діоксиду сірки, діоксиду азоту, в районі розташування АЗС в звітах з оцінки впливу на довкілля здійснюють, як

правило, програмою ЕОЛ ПЛЮС або ЕОЛ 2000 [52], які рекомендовані Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України для цих цілей.

При розрахунку забруднення атмосферного повітря парами бензину як в звітах з оцінки впливу на довкілля [49] так і при моделюванні процесів розсіювання парів нафтопродуктів в довкіллі [53] враховуються частіш за все організовані викиди парів через дихальні клапани при зберіганні нафтопродуктів в резервуарах (малі дихання). За таких умов розрахункове значення вмісту шкідливих речовин, обумовлених викидами АЗС, за межами санітарно-захисної зони як правило не перевищує 0,4 – 0,5 ГДК. Проте на долю цих організованих викидів на діючих АЗС припадає лише біля 20% від загальних викидів [13], а решта викидів у першу чергу обумовлена «великими чиханнями» та неорганізованими викидами під час заправлення транспортних засобів на паливо-розливних колонках. Так, згідно [13] на кожен літр бензину, що поставляється на АЗС, витісняється п'ять і більше літрів пари у процесі видавання бензину через паливно-розливні колонки.

Крім того дослідники указують на суттєві додаткові джерела забруднення атмосферного повітря на діючих АЗС, що потребують врахування при оцінці впливу АЗС на довкілля [54], серед яких слід виділити роботу блоку газозаправної станції, ремонт запірної арматури трубопроводів, перевірка роботи запобіжних клапанів, надходження в атмосферне повітря парів вуглеводнів під час очищення фільтрів та ін. Все це часто обумовлює невідповідність результатів прогнозування фактичним екологічним показникам і претензії громадськості щодо негативного впливу на стан здоров'я населення жилих територій, які знаходяться біля санітарно захисної зони АЗС [54].

Слід відзначити також те, що як інтенсивність випаровування палива так і викиди парів в довкілля суттєво залежать від пори року, часу доби, інтенсивності процесів заправки транспортних засобів тощо. Взимку викиди значно менші ніж влітку, вночі – менші ніж вдень. Реальний внесок АЗС в забруднення атмосферного повітря часто складно оцінити у зв'язку з наявністю багатьох інших джерел надходження шкідливих речовин в повітря. Так,

преважна більшість АЗС розміщена біля автомагістралей з інтенсивним рухом транспорту, який в свою чергу є потужним джерелом викидів у повітря шкідливих речовин.

Результати натурних спостережень за забрудненням повітря в районі розміщення АЗС свідчать про те, що фактична концентрація шкідливих речовин в повітрі, як на території АЗС, так і в санітарно-захисній зоні та за її межами, може на порядки перевищувати розрахункові. Наприклад, в роботі [55] неведені результати контролю вмісту парів бензину біля кількох АЗС при їх роботі за високої температури повітря (рис. 1.3), середнє значення вмісту парів бензину в повітрі робочої зони для цих АЗС становило відповідно 152 мг/м³; 90 мг/м³ та 57 мг/м³. Різна величина цього значення для АЗС, які досліджувалися, пояснюється авторами різною інтенсивністю процесів заправки транспортних засобів на цих АЗС. На АЗС 1 кількість транспортних засобів, які обслуговувалися за одиницю часу, була в два рази більша ніж на інших АЗС.

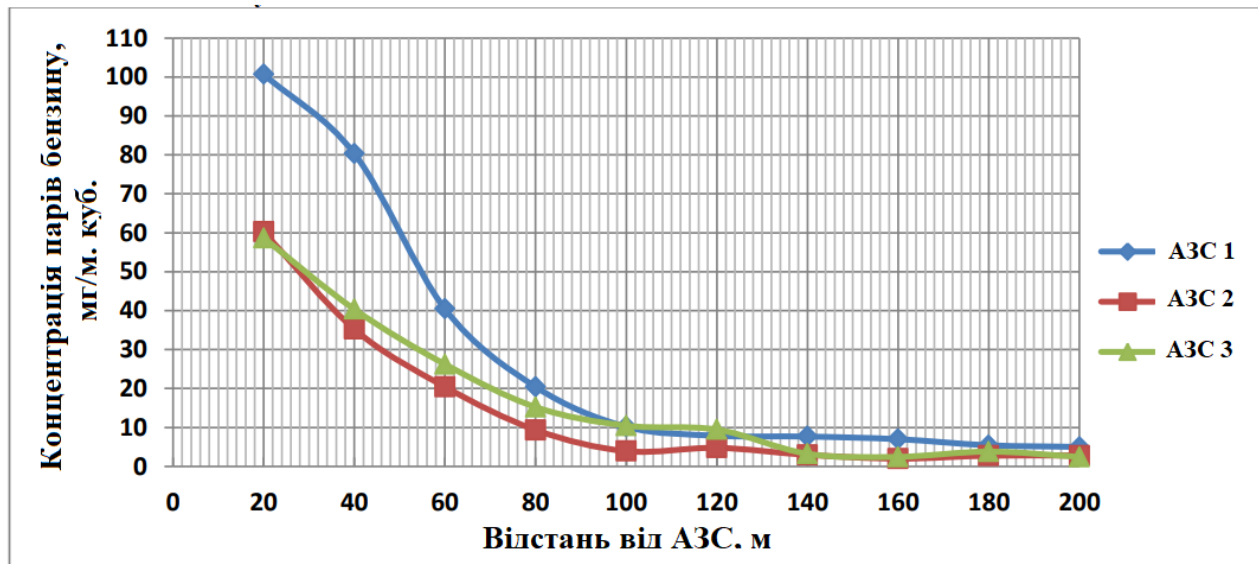


Рис. 1.3. Залежність концентрації парів бензину від відстані до АЗС [55]

Результати цих досліджень показують, що за інтенсивної роботи АЗС концентрація парів бензину як в повітрі робочої зони, так і за межами санітарно-захисної зони може суттєво перевищувати ГДК, а також на суттєвий вплив неорганізованих джерел викидів парів бензину на цю концентрацію. Це

свідчить проте, що неврахування цієї складової викидів при моделюванні процесів розповсюдження шкідливих речовин в довкіллі призводить до суттєвих похибок і недооцінки фактичного рівня впливу АЗС на атмосферне повітря.

Характерним є також різний характер зміни концентрації парів бензину при зміні відстані від АЗС. Очевидно це зв'язано з різним протіканням атмосферних процесів в місці розміщення АЗС, а також впливом на концентрацію інших джерел викидів шкідливих речовин.

Слід відзначити, що результати моделювання, розрахунків і натурних спостережень за процесами накопичення парів бензину на території АЗС та розсіювання їх в довкіллі часто носять суперечливий характер. Так в роботі [56] наводяться розрахункові значення концентрації парів бензину на території АЗС, які становлять від 4600 мг/м³ в літній період часу до 800 мг/м³ в зимовий період, що в порівнянні з результатами моделювання [53] на три порядки більше і суттєво перевищує значення концентрацій наведених в [55].

Такі протиріччя між моделюванням, розрахунками та натурними спостереженнями свідчать про те, що існуючі підходи до оцінки впливу АЗС на довкілля не дозволяють отримати його однозначну оцінку і потребують суттєвого вдосконалення. Не дозволяють визначити фактичний вплив АЗС, як конкретних джерел забруднення атмосферного повітря, і існуючі системи екологічного моніторингу, оскільки вплив транспортних засобів та інших техногенних та побутових джерел викидів шкідливих речовин в повітря може значно перевищувати вплив АЗС. Відсутність можливості отримати достовірну оцінку ролі конкретного джерела викидів на загальну екологічну ситуацію в населених пунктах призводить до складнощів як при встановленні нормативних викидів в атмосферу, так і при визначенні фактичного значення обсягів викидів кожного конкретного об'єкта і часто обумовлює низькі показники впровадження перспективних рішень спрямованих на зниження викидів парів бензину в довкілля на діючих АЗС. Тому для зменшення викидів парів палива в атмосферу важливо забезпечити постійний контроль концентрації парів палива

в повітрі АЗС, результати якого повинні складати інформаційну базу для моделювання процесів розсіювання цих парів в довкіллі, як з врахуванням поточних метеорологічних умов в місці розташування АЗС так і з врахуванням всіх можливих джерел забруднення атмосферного повітря парами вуглеводнів, у тому числі неорганізованих, а також обумовлених нештатними ситуаціями: випадковий розлив палива, переповнення паливних баків, технічної несправності та випаровування з паливних баків автомобілів та ін.

Крім забруднення атмосферного повітря сховища паливних матеріалів та АЗС негативно впливають також на стан ґрунтів та водойм. Накопичення органічних шкідливих речовин у ґрунтах та водоймах виникає внаслідок викидів і скидів їх у процесі функціонування АЗС, потрапляння стічної води сховищ паливних матеріалів та АЗС, яка може містити нафтопродукти (в основному в емульгованому стані та частково – в розчиненому стані) у водойми і джерела забезпечення питною водою населення [57, 58]. Нафтопродукти є токсичними і негативно впливають на біосистеми водоймищ. Стічні води АЗС крім нафтопродуктів можуть містити дисперсні забруднення (пісок, глина, ґрунт) у звішеному стані, а також поверхнево-активні речовини.

На території автозаправних станцій (АЗС) можна виділити низку потенційних джерел забруднення водних ресурсів, які поділяються на декілька категорій за механізмом та місцем виникнення. До поверхневих (наземних) джерел забруднення відносять випадки потрапляння стічних вод з території АЗС на ґрунт або в дренажні системи через ділянки, що не покриті асфальтованим чи бетонним покриттям, а також через тріщини, дефекти або ушкодження існуючих покриттів. Такі потоки води можуть транспортувати нафтопродукти та інші шкідливі речовини у навколишнє середовище, спричиняючи локальне або транзитне забруднення ґрунту та підземних вод.

До підземних джерел забруднення належать витoki через пошкоджені або протікаючі трубопроводи, з'єднувальні елементи, резервуари та інші підземні конструкції, які забезпечують транспортування та зберігання нафтопродуктів. Такі витoki часто залишаються непоміченими протягом тривалого часу і

можуть призводити до накопичення токсичних речовин у ґрунті та ґрунтових водах.

Забруднення стічних вод АЗС виникають також внаслідок діяльності по обслуговуванню пасажирів та водіїв транспортних засобів (спостерігається незначний вміст деяких побутових відходів), а також внаслідок наявності приміщень та устаткування для миття транспортних засобів. В останньому випадку крім нафтопродуктів в стічній воді в значних концентраціях присутні речовини для змочування та миття автомобілів, до складу яких входять поверхнево активні речовини чи їх суміші.

Для мінімізації негативного впливу забруднених стічних вод на навколишнє середовище на АЗС застосовують комплексні системи очистки, що включають нафтовловлювачі, пісковловлювачі, флотаційні установки, станції нейтралізації стічних вод та інші технологічні елементи. Процес очищення передбачає приведення стічних вод до рівня забрудненості, який дозволяє їх безпечно скидання у міські, районні або територіальні каналізаційні мережі без ризику нанесення шкоди екологічному стану водних об'єктів і ґрунту.

Ґрунти в місці розміщення АЗС характеризуються підвищеним вмістом нафтопродуктів. Результати виконаних досліджень [57] показують, що в порівнянні з фоновим значенням, вміст нафтопродуктів в місці розміщення АЗС вище на 15 - 44 %. При цьому простежується чітка залежність між рівнем забруднення та терміном експлуатації АЗС. Оскільки в Україні ГДК нафтопродуктів в ґрунті не визначена, можливе лише порівняння з фоновими концентраціями та ГДК, встановленими в інших країнах. В деяких випадках виявлено підвищене забруднення ґрунтів нафтопродуктами в місцях розміщення резервуарів, що свідчить про проблеми з дотриманням вимог безпеки при їх експлуатації та заповненні резервуарів нафтопродуктами [57].

1.4. Актуальність впровадження системи моніторингу умов та безпеки праці

Сучасна стратегія управління охороною праці зорієнтована на наявні можливості цифрових технологій, що інтегруються у процеси управління для розширення спроможності створювати, підтримувати та постійно поліпшувати умови праці на підприємствах.

Актуальність впровадження цифрових технологій в системи управління безпекою обумовлена їх проникненням в усі сфери життєдіяльності сучасного суспільства [59, 60]. Необхідність прискорення процесів цифровізації є одним із найбільш важливих інструментів для успішного розвитку як окремих підприємств так і галузей економіки та країн в цілому.

Сучасні цифрові технології та розроблені на їх основі інтелектуальні системи дозволять контролювати технологічні процеси та стан устаткування і своєчасно попереджати і усувати загрози виникнення небезпечних ситуацій, а також виявити інциденти на виробництві, які раніше не могли бути ідентифіковані [61] наприклад, виявити вплив транспортних засобів та інших техногенних та побутових джерел викидів шкідливих речовин на забруднення повітря, наявність неврахованих залпових викидів парів вуглеводнів при порушеннях режиму зливу палива у резервуари тощо.

Нині спостерігаються певні протиріччя між можливостями, які відкриваються перед підприємствами та суспільством в цілому, стрімким розвитком інформаційних технологій, мікроелектроніки та обчислювальної техніки та рівнем їх використання в різних сферах діяльності, у тому числі в сфері технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Тому впровадження перспективних цифрових технологій на об'єктах зберігання палива та пунктах заправки і в першу чергу систем моніторингу умов та безпеки праці є актуальною задачею.

Моніторинг розглядається як систематичне, безперервне або періодичне спостереження за певним об'єктом, процесом чи явищем з метою збору,

опрацювання та аналізу даних для наступної оцінки стану об'єкта, порівняння отриманих показників із нормативними або прогнозними значеннями, а також для формування науково обґрунтованих прогнозів щодо його подальшого розвитку або динаміки змін. На сьогоднішній день концепція моніторингу активно застосовується у різних сферах людської діяльності, включаючи фундаментальні та прикладні дослідження в науці, екологічний контроль, охорону здоров'я, управління технологічними процесами, промислову безпеку, а також у системах управління підприємствами та державними об'єктами. Завдяки впровадженню цифрових інформаційних технологій моніторинг забезпечує не лише постійний контроль за параметрами об'єктів, а й можливість прогнозування потенційних ризиків, своєчасного прийняття управлінських рішень та оптимізації процесів управління. Будь-які процеси управління включають в себе процедури контролю стану об'єкта, збору, передачі, зберігання, обробки, надання інформації та прийняття рішень на основі зібраної інформації [62]. До найпоширеніших видів моніторингу відноситься моніторинг об'єктів, який служить для отримання інформації, необхідної для оцінки поточного стану об'єкту, виявлення та своєчасного усунення проблем, прийняття рішень. Серед об'єктів, найбільш перспективних щодо впровадження сучасних систем моніторингу слід виділити об'єкти підвищеної небезпеки, де існує висока ймовірність виникнення вибухів, пожеж та інших небезпечних подій, що є загрозою для життя та здоров'я як рацівників, так і для мешканців населених пунктів. Усе це обумовлює суттєві втрати та збитки, як матеріальні так і економічні. Особливе значення на таких об'єктах має своєчасне реагування на загрози та вироблення рішень, щодо доцільності протиаварійних заходів, їх видів та дій персоналу, спрямованих на своєчасне попередження та ліквідацію небезпечних ситуацій. Вкрай важливо не допустити помилок в критичних ситуаціях, які здатні спричинити тяжкі наслідки.

Зважаючи на викладене, важливою задачею є широке впровадження цифрових технологій та створення на їх основі сучасних систем моніторингу умов та безпеки праці сховищ паливних матеріалів та АЗС.

Методологічною основою впровадження системи моніторингу умов та безпеки праці сховищ паливних матеріалів та АЗС повинно стати наступне положення:

- в умовах мінімальних витрат на створення та експлуатацію системи моніторингу умов та безпеки праці, забезпечити допустимі умови праці та знизити ймовірності виникнення вибухів, пожеж та інших небезпек, обумовлених технологічними чинниками, до допустимого значення.

В свою чергу методологія інформаційних систем технологічної безпеки об'єктів підвищеної небезпеки повинна спиратися на особливості об'єкта, провадження та контролю виробничої діяльності, потреби в використанні, наданні та аналізі інформації та задачах, щодо майбутньої інтеграції локальних систем технологічної безпеки об'єктів в загальну інформаційну систему об'єкта, та системи безпеки вищого рівня (компанії, регіону, міста, області тощо), а в майбутньому і в єдину інформаційну систему безпеки держави.

Можлива базова структура системи моніторингу безпеки та умов праці АЗС наведена на рисунку 1.5. Вона включає підсистеми контролю стану об'єкта, оцінки виявлених ризиків та вироблення рішень.

На початковому етапі розробки та впровадження системи моніторингу умов та безпеки праці контролю підлягають найбільш критичні параметри об'єкта, які характеризують його вибухонебезпечність та пожежонебезпечність, а також вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони та санітарно-захисній зоні АЗС, температура, рівень шумів тощо. Зважаючи на те, що домінантним шкідливим чинником на АЗС, який характеризує умови праці є вміст парів бензину в повітрі, контроль умов праці може бути зведений до визначення їх концентрації.



Рис. 1.5. Структура системи моніторингу безпеки та умов праці

На сьогодні процес контролю умов праці на АЗС зведений до наявності газоаналізатора у вибухозахищеному виконанні та епізодичного вимірювання ним концентрації шкідливих речовин [63]. Такі газоаналізатори непридатні для безперервного постійного контролю вмісту парів бензину в повітрі та не можуть бути використані в системі моніторингу умов та безпеки праці. Тому увагу необхідно зосередити на вирішенні задач контролю і в першу чергу на розробці засобів для автоматичного дистанційного контролю вмісту парів бензину в повітрі робочої зони.

Серед засобів, призначених для автоматичного дистанційного контролю контролю вибухонебезпечності середовища об'єктів підвищеної небезпеки, найбільшого розповсюдження знайшли засоби засновані на термокаталітичному, напівпровідниковому та оптичному методах [64, 65]. Так, в системах моніторингу вибухонебезпечності середовища вугільних шахт широке застосування знайшли термокаталітичні датчики [64]. Це пов'язано з достатньо простою конструкцією таких датчиків, невисокою вартістю, мінімальним впливом на роботу таких датчиків неконтрольованих газів, пилу,

температури, вологості повітря та інших чинників. Доцільним є використання таких датчиків і в системі моніторингу умов та безпеки праці АЗС, проте це потребує проведення досліджень їх роботи в багатокomпонентних паливоповітряних сумішах, оскільки ще в недостатній мірі вивчені питання контролю вибухонебезпечності такими датчиками при одночасній наявності горючих газів і парів з різною температурою samozапалення.

Серед засобів контролю умов та безпеки праці найбільшого розповсюдження нині набули засоби для контролю пожежонебезпечності об'єктів. Існує значна різноманітність систем пожежної сигналізації, які представляють собою комплекс інтегрованих технічних засобів, створених з метою своєчасного виявлення загоряння або пожежі на об'єктах різного призначення. Такі системи забезпечують багаторівневий процес обробки отриманої інформації: від реєстрації ознак загоряння за допомогою датчиків і сенсорів до передачі сигналів тривоги на центральний пульт управління. Крім цього, наявні системи пожежної сигналізації надають можливість автоматично формувати команди для запуску установок автоматичного пожежогасіння, активації оповіщувальних пристроїв для евакуації персоналу, а також забезпечують взаємодію з іншими технічними засобами безпеки об'єкта. Залежно від технічної реалізації та призначення, системи пожежної сигналізації можуть бути як локальними (для контролю окремих приміщень), так і централізованими, інтегрованими в комплексну систему безпеки підприємства чи об'єкта [11,48]. Вони включають різні типи датчиків (теплові, димові, іскрові, газові та комбіновані), пристрої передачі сигналів, панелі управління, а також елементи автоматичного реагування, що підвищує надійність виявлення та швидкість реагування на надзвичайні ситуації. Наявні на АЗС системи пожежного оповіщення і пожежної сигналізації призначені для раннього виявлення процесів горіння, своєчасного оповіщення персоналу і відвідувачів про виникнення пожежної небезпеки у приміщеннях АЗС та, за наявності технічної можливості, для передачі інформації в регіональні підрозділи пожежного моніторингу Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Розміщення автоматичних сповіщувачі (датчиків) передбачується, як правило, в приміщеннях АЗС, а в місцях організації евакуаційних виходів встановлюються ручні пожежні сповіщувачі. Наявні системи пожежної сигналізації можуть бути інтегровані в систему моніторингу умов та безпеки праці. Проте для підвищення рівня пожежного захисту АЗС слід розширити зони розміщення автоматичних сповіщувачів, включивши в область спостережень і зовнішнє устаткування (паливо-розливні колонки, дихальні клапани тощо) де за аварійних режимів можливе виникнення процесів горіння.

Зважаючи на сучасні тенденції прискорення процесів цифровізації, яка стає важливим інструментом для успішного розвитку як підприємств так і в цілому галузей економіки, системи моніторингу умов та безпеки праці з часом повинні інтегруватися з іншими інформаційними підсистемами в єдину систему управління технологічною безпекою об'єктів нафтопродуктозабезпечення, можливий приклад якої наведено на рисунку 1.6.



Рис. 1.6. Приклад поетапного модульного розвитку архітектури інформаційної системи управління технологічною безпекою АЗС

Інформаційна система управління технологічною безпекою об'єктів нафтопродуктозабезпечення, що представлена на рис. 1.6, має реалізувати наступні методологічні підходи до її створення і розвитку:

- формування та використання сучасних інформаційних каналів зв'язку працівників, технологічного обладнання та ІТ-інструментів;
- реалізацію послідовного (дифузійного) принципу при запровадженні системи технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення;
- послідовного підвищення ефективності інформаційної системи в часі та її комплексності;
- забезпечення принципу модульності інформаційної системи та можливості постійного вдосконалення;
- ефективної інтеграції цифрових і управлінських технологій;
- високої адаптабельності та гнучкості архітектури інформаційних систем технологічної безпеки об'єктів;
- ешелонованого підходу до реалізації модулів застереження про підвищення рівня пожежонебезпеки та попередження про поступове накопичення вибухонебезпечної концентрації парів палива в технологічному обладнанні;
- забезпечення можливості відстеження місця перевищення вмісту парів палива в повітрі робочої зони та санітарно-захисної зони;
- інтегрального моніторингу технологічного процесу постачання, витрат та втрат нафтопродуктів;
- реалізацію системного підходу до формування належного рівня технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення.

В основу формування та використання сучасних інформаційних каналів зв'язку повинен бути закладений інтернет речей. Така мережа складається із зв'язаних між собою пристроїв з різноманітними вбудованими датчиками та програмного забезпечення. В такій мережі забезпечується автоматична передача та обмін різноманітними даними між пристроями і

комп'ютеризованими системами в реальному режимі часу шляхом використання наявних стандартних протоколів.

При умові формування інформаційної системи за дифузійним принципом, означає можливість її поетапного, модульного запровадження, що дозволяє раціональним чином розподілити в часі витрати ресурсів на розробку та впровадження системи.

Використання принципу модульності інформаційної системи дозволяє вирішити питання, пов'язані із забезпечення її живучості та надійності, оскільки це надає можливість повної перебудови модуля за появи технологічних інновацій чи необхідності заміни програмного коду модуля, без потреби докорінної перебудови всієї архітектури інформаційної системи, що сприяє економії коштів і часу при виникненні необхідності заміни компонентів інформаційної системи. Запровадження кожного нового модуля інформаційної системи посилює її ефективність. Це можна проілюструвати розширенням числа факторів небезпеки, які контролює система, внаслідок чого збільшується результативність аналізу та прогнозу небезпек, розширюється перелік варіантів рішень небезпечних ситуацій, відкриваються можливості оптимізації технологічних процесів.

Використання принципу інтеграції цифрових і управлінських технологій передбачає використання не тільки пристроїв для автоматичного відстеження поточної ситуації, а і накопичення та врахування інформації про проведені заходи та дії персоналу.

Адаптабельність та гнучкість архітектури інформаційних систем технологічної безпеки повинна забезпечувати можливість їх впровадження та використання на об'єктах незалежно від їх конструктивних особливостей, місця розміщення, видів обладнання, обсягів та видів палива тощо.

Використання принципу ешелонованого підходу дозволяє здійснювати прийняття рішень з врахуванням значення ризику виникнення небезпечної події, своєчасно та ефективно здійснювати превентивні заходи, які не потребують суттєвих витрат ресурсів.

Забезпечення можливості просторового відстеження місць перевищення вмісту парів палива в повітрі робочої зони та санітарно-захисної зони дає можливість виявити основні джерела викидів і вплив різноманітних чинників на розповсюдження шкідливих речовин та врахувати їх при плануванні роботи об'єкта.

Інтегрування в інформаційну систему управління технологічною безпекою технологічного процесу постачання, витрат та втрат нафтопродуктів, обумовлюється суттєвим впливом кількісних та якісних показників продуктів на стан безпеки;

Системний аналіз дозволяє реалізувати синергетичний ефект впровадження та реалізації вищенаведених інформаційних заходів системи управління технологічною безпекою.

Підвищити надійність системи моніторингу умов та безпеки праці можна шляхом її доповнення функціями безперервного стеження за працездатністю засобів контролю вмісту парів нафтопродуктів в робочій зоні, пожежонебезпечності та вибухонебезпечності об'єкта в режимі реального часу, прогнозування їх можливої зміни з часом та відновлення працездатності шляхом автоматичного регулювання параметрів цих засобів, а також прийняття рішень стосовно видів та рівнів втручання в роботу технічних систем на основі оцінки ризиків на різних рівнях управління. По суті це передбачає доповнення базової системи моніторингу технологічної безпеки, підсистемою моніторингу стану засобів контролю та перевірки готовності до спрацювання засобів автоматичного захисту, в даному випадку блоком тестування та калібрування засобів контролю (рис. 1.6).

В такому випадку базовий рівень системи моніторингу умов та безпеки праці (рис. 1.6) у крім зазначених раніше задач та функцій (контроль, передачу, зберігання, видачу інформації про вміст парів нафтопродуктів в робочій зоні та видачу управляючого сигналу на відключення обладнання чи введення технологічних обмежень) доповнюється функціями оцінки ризику надзвичайних подій, прийняття рішень стосовно видів та рівнів втручання в

роботу технологічних систем, введення обмежень, проведення профілактичних заходів тощо. Основними і найбільш важливими елементами системи моніторингу є засоби контролю вмісту парів летких нафтопродуктів в робочій та санітарно-захисній зоні АЗС, а також засоби контролю вибухонебезпечності середовища. Складні умови їх експлуатації, вплив температури, вологості, зміна тиску, складу паливоповітряної суміші, забруднення пилом та компонентами палива чутливих елементів можуть впливати на працездатність та стабільність їх роботи.

Для створення системи моніторингу умов та безпеки праці в першу чергу необхідно:

- здійснити оцінку професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення;
- ідентифікувати небезпеки та розрахувати числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливних матеріалів;
- обґрунтувати рішення, спрямовані на забезпечення працездатності систем контролю умов праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення;
- обґрунтувати рішення, спрямовані на зменшення організованих викидів парів палива в довкілля та підвищення надійності систем вибухозахисту сховищ паливних матеріалів і пунктів заправки.

Висновки до розділу 1

1. Основними завданнями сучасних систем технологічної безпеки на об'єктах нафтопродуктозабезпечення є розробка та впровадження комплексних пріоритетних технологічних рішень, які з погляду безпеки та економічної ефективності є найважливішими. Такі системи дозволяють ефективно вирішувати критично значущі проблеми, що пов'язані з організацією безпечних і здорових умов праці для персоналу, зниженням технологічних та виробничих втрат нафтопродуктів, а також мінімізацією їхнього негативного впливу на навколишнє середовище. Впровадження подібних систем забезпечує стабільне, надійне та безаварійне функціонування об'єктів нафтопродуктозабезпечення у

сучасних економічних, технологічних та екологічних умовах, підвищуючи загальну ефективність виробничих процесів і рівень промислової безпеки [66].

2. Основною причиною шкідливого впливу умов праці на здоров'я працівників сховищ паливних матеріалів та АЗС є пари нафтопродуктів, в першу чергу, пари бензину. Для попередження впливу парів бензину на працівників та довкілля необхідно здійснювати моніторинг умов праці та стану атмосферного повітря в санітарно-захисній зоні АЗС. Наявність такого моніторингу закладає умови для широкого впровадження заходів і засобів, що запобігають викиду парів бензину в повітря. Це відповідно сприятиме поліпшенню умов праці та зниженню екологічного навантаження сховищ паливних матеріалів та АЗС на довкілля.

3. Затвердження нового Порядку ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку, яким введено 3-й клас об'єктів підвищеної небезпеки, та скасування чинності нормативно-правових актів, що передбачають та встановлюють порядок ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів, обумовлюють необхідність перегляду статусу значного числа об'єктів нафтопродуктозабезпечення, і обумовлює зміну підходів до процедури їх ідентифікації, подання декларації, розробки та перегляду планів локалізації та ліквідації аварій. Встановленні неоднозначності чинного процесу ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки, та завдання, які потрібно вирішувати для вдосконалення цього процесу, що полягають в узгодженні усіх нормативно-правових актів, які регулюють питання безпеки в державі [67].

4. Для зменшення шкідливого впливу сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки на довкілля важливо забезпечити постійний контроль концентрації парів палива в їх повітрі, результати якого повинні складати інформаційну базу для моделювання процесів розсіювання цих парів в довкіллі, як з врахуванням поточних метеорологічних умов в місці розташування об'єктів нафтопродуктозабезпечення так і з врахуванням всіх можливих джерел забруднення атмосфери парами палива, у тому числі неорганізованих, а також обумовлених нештатними ситуаціями.

5. Особливе значення для створення безпечних умов та попередження негативних наслідків небезпечних подій на об'єктах нафтопродуктозабезпечення має своєчасне прийняття рішень, щодо проведення протиаварійних заходів та дій персоналу, спрямованих на своєчасне попередження та ліквідацію небезпечних ситуацій. З врахуванням цього актуальною є задача впровадження сучасних інформаційних технологій та створення сучасних систем моніторингу умов та безпеки праці сховищ паливних матеріалів та АЗС.

6. Методологічною основою впровадження системи моніторингу умов та безпеки праці сховищ паливних матеріалів та АЗС повинно стати наступне положення:

- в умовах мінімальних витрат на створення та експлуатацію системи моніторингу умов та безпеки праці, забезпечити допустимі умови праці та знизити ймовірності виникнення вибухів та пожеж, обумовлених технологічними чинниками, до допустимого значення.

7. Основними і найбільш важливими елементами системи моніторингу є засоби контролю вмісту парів нафтопродуктів в повітрі робочої зони та в санітарно-захисній зоні АЗС, а також засоби контролю вибухонебезпечності середовища. Складні умови їх експлуатації, вплив температури, вологості, зміна тиску, складу паливоповітряної суміші, забруднення пилом та компонентами палива чутливих елементів можуть впливати на працездатність та стабільність їх роботи, що потребує проведення досліджень, спрямованих на забезпечення працездатності засобів контролю та забезпечення достовірності результатів.

Результативиконаних досліджень, наведених в розділі 1 відображено в наступних роботах за участю автора [66 - 69].

Література до розділу 1

1. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні Євро. Технічні умови. [Електронний ресурс] – Київ: УкрНДНС, 2015. 15 с. Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_7687_2015.pdf
2. Pranjić N., Mujagić H., Nurkić M., Karamehić J. & Pavlović S. (2002) Assessment of health effects in workers at gasoline station. *Bosnian J Basic Med.* 2(1-2), 35–45. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2002.3579>
3. Nwanjo H., Ojiako O. (2007) Investigation of the potential health hazards of petrol station attendants in Owerri Nigeria. *J Appl Sci Environ Manage.* 11(2). <https://doi.org/10.4314/jasem.v11i2.55040>
4. Johnson O., Umoren Q. (2018) Assessment of occupational hazards, health problems and safety practices of petrol station attendants in Uyo, Nigeria. *J Commun Med Prim Health Care.* 30: (1):47–57.
5. Monney I., Dramani J., Aruna A., Tenkorang A., Osei-Poku F. Health and safety in high-risk work environments: A study of fuel service stations in Ghana. *J Environ Occup Hea* [Internet]. (2015); 4: (3):132–40. Available from: <https://doi.org/10.5455/jeos.20150903100137>
6. Risher, J.F., Rhodes, S.W. Toxicological profiles for fuel oils. Washington: US Department of Health and Human Services, 1995. — 168 p.
7. Франчук Г.М., Николяк М.М. Аналіз даних про токсичність паливо-мастильних матеріалів. *Вісник НАУ.* 2007. №3–4. С. 117-121.
8. Vainiotalo S., Peltonen Y., Ruonakangas A., Pfäffli P. Customer exposure to MTBE, TAME, C6 alkyl methyl ethers, and benzene during gasoline refueling. *Environ Health Perspect* [Internet]. (1999); 107: (2):133–40. Available from: <https://doi.org/10.1289/eh99107133>
9. Egeghy P., Tornero-Velez R., Rappaport S. Environmental and biological monitoring of benzene during self-service automobile refueling. *Environ Health Perspect* [Internet]. (2000); 108: (12): 1195–202. Available from: <https://doi.org/10.1289/eh001081195>

10. Chaiklieng S., Suggaravetsiri P., Autrup H. Risk assessment on benzene exposure among gasoline station workers. *Int J Env Res Pub Health* [Internet]. (2019); 16:(14):2545. Available from: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142545>¶
11. Івасенко В.М. Автозаправні станції: дослідження обсягів викидів, вплив на довкілля. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. №1/2. (21). С.8-12.¶
12. Бойченко С.В., Шутко В.М., Чернобаева Н.А. Визначення факторів, що впливають на величину втрат легких вуглеводнів від випаровування з бензинів у резервуарах горизонтальних сталевих. *Наукоємні технології*. 2014. №2(22). С. 236–239.¶
13. Черняк Л.М. Перспективи впровадження сучасних екологічних систем на об'єктах системи нафтопродуктозабезпечення. *Вопросы химии и химической технологии*, 2013, №1. С. 156-160.¶
14. Топчій Р.І., Іванченко О.В., П'янков А.А. та ін. Шляхи зниження втрат бензину та підвищення пожежної й екологічної безпеки на складах та пунктах заправки паливними матеріалами. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. 2013. №2. С.58-64¶
15. Спаська О.А., Іванов С.В., Бойченко С.В. Використання поверхнево-активних речовин для зниження випаровуваності вуглеводневих рідин при їх тривалому зберіганні. *Вісник НАУ*. 2006. №1. С. 121–125.¶
16. Бойченко С.В., Яворська М.В. Сучасні способи та засоби мінімізації викидів вуглеводнів під час зберігання бензинів. *Наукоємні технології*. 2012. Вип. 16. №4. С. 58–62.¶
17. Бойченко С.В., Черняк Л.М. Вибір засобу запобігання витратам палив від випаровування. *Вісник НАУ*. 2004. №2. С. 111-114¶
18. Periago, J.F. Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. / J.F. Periago, C. Prado// *Annals of Occupational Hygiene*. —2015. --№49. —P. 233-240.¶

19. Chaiklieng S. Risk assessment of workers' exposure to BTEX and hazardous area classification at gasoline stations. *PLoS One* [Internet]. (2021);16(4). Available from: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249913>¶
20. Al-Jaff D. Evaluation of renal and liver function in petrol station workers in Kirkuk city. *Int J Res Pharm Sci*. (2019);10: (2):1029–34.¶
21. Roggia S., de França A., Morata T., Krieg E., Earl B. Auditory system dysfunction in Brazilian gasoline station workers. *Int J Audiol* [Internet]. (2019);58: (8):484–96. Available from: <https://doi.org/10.1080/14992027.2019.1597286>¶
22. Ekpenyong C., Davies K., Daniel N. Effects of gasoline inhalation on menstrual characteristics and the hormonal profile of female petrol pump workers. *J Environ Prot* [Internet]. (2013); 4: (08):65. Available from: <https://doi.org/10.4236/je2013.48A1009>¶
23. Cairney S., Maruff P., Burns C., Currie B. The neurobehavioural consequences of petrol (gasoline) sniffing. *Neurosci Biobehav R* [Internet]. (2002);26: (1):81–9. Available from: [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(01\)00040-9](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(01)00040-9)¶
24. Chen D., Cho S., Chen C., Wang X. et al. Exposure to benzene, occupational stress, and reduced birth weight. *Occup Environ Med* [Internet]. (2000); 57: (10):661–7. Available from: <https://doi.org/10.1136/oem.57.10.661>¶
25. Gimaeva Z., Bakirov A., Karimova L., Gimranova G., Mukhammadiyeva G., Karimov D. Production and genetic risk factors for cardiovascular diseases among petrochemical industry workers. *Terapevticheskii Arkhiv*. [Internet]. (2018); 90: (1):49–53. Available from: <https://doi.org/10.26442/terarkh201890149-53>¶
26. Sirdah M., Al Laham NA., Al Madhoun R. Possible health effects of liquefied petroleum gas on workers at filling and distribution stations of Gaza governorates. *E-Mediterr Health J* [Internet]. (2013);19: (3):289–94. Available from: <https://doi.org/10.26719/2013.19.3.289>¶
27. Chauhan S., Saini N., Yadav V. Recent trends of volatile organic compounds in ambient air and its health impacts: A review. *Int J Technol Res Eng*. (2014);1: (8):667.¶

28. Maruff P., Burns C., Tyler P., Currie B., Currie J. Neurological and cognitive abnormalities associated with chronic petrol sniffing. *Brain* [Internet]. (1998); 121: (10):1903–17. Available from: <https://doi.org/10.1093/brain/121.10.1903>¶
29. Sabbath E., Gutierrez L., Okechukwu C., Amieva H. et al. Time may not fully attenuate solvent-associated cognitive deficits in highly exposed workers. *Neurology* [Internet]. (2014); 82:(19): 1716–1723. Available from: <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000000413>¶
30. Zucki F., Corteletti L., Tsunemi M., Munhoz G., Quadros I., Alvarenga K. Characterization of hearing profile of gas station attendants. *Audiol Commun Res* [Internet]. (2017); 22. Available from: <https://doi.org/10.1590/2317-6431-2016-1759>¶
31. Wagstaff A., Lie J. Shift and night work and long working hours—a systematic review of safety implications. *Scand J Work Env Hea* [Internet]. (2011): 173-85. Available from: <https://doi.org/10.5271/sjweh.3146>¶
32. Folkard S., Lombardi D., Tucker P. Shiftwork: Safety, sleepiness and sleep. *Ind Health* [Internet]. (2005), 43(1), 20-24. Available from: <https://doi.org/10.2486/indhealth.43.20>¶
33. Folkard S., Tucker P. Shift work, safety and productivity. *Occup Med* [Internet]. (2003) ;53: (2):95–101. Available from: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqg047>¶
34. Ummul S., Rao K. Shift work and fatigue. *J Environ Sci Toxicol Food Technol*. (2012); 1:(3):17–21.¶
35. Costa G., Haus E., Stevens R. Shift work and cancer—considerations on rationale, mechanisms, and epidemiology. *Scand J Work Env Hea* [Internet]. (2010): 163-79. Available from: <https://doi.org/10.5271/sjweh.2899>¶
36. Frost P., Kolstad H., Bonde J. Shift work and the risk of ischemic heart disease—a systematic review of the epidemiologic evidence. *Scand J Work Env Hea* [Internet]. (2009): 163-79. Available from: <https://doi.org/10.5271/sjweh.1319>¶
37. Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» https://ips.ligazakon.net/document/T012245?ed=2010_09_23¶

38. Порядок ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 вересня 2022 р. №1030. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1030-2022-п#Text>¶
39. Українська нафтогазова енциклопедія / за загальною редакцією В. С. Іванишина. — Львів: Сполом, 2016. — 603 с.¶
40. Васійчук В., Бабаджанова О., Яворський П. Техногенно-екологічні наслідки аварій на нафтобазах. Сталий розвиток: стан та перспективи. Матеріали II Міжнародного наукового симпозиуму SDEV, 2020, 428–429. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/7500>¶
41. Методика ідентифікації потенційно небезпечних об'єктів. Затверджена наказом МНС України від 23.02.2006 №98. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06#Text>¶
42. Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів. Затверджено наказом МНС України від 18.12.2000 №338. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0062-01#Text>¶
43. Положення про моніторинг потенційно небезпечних об'єктів. Затверджено наказом МНС України від 06.11.2023 №425. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0286-06#Text>¶
44. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 19 червня 1996 р. №173. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96#Text>¶
45. Ma G, Huang Y. Safety assessment of explosions during gas stations refilling process. J Loss Prev Proc [Internet]. (2019); 60: :133-44. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.04.012>¶
46. Vasiutynska, K., Arsirii, O., & Ivanov, O. (2017). Development of the method for assessing the action zones of hazards in an emergency at a city filling station using geoinformation technology. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(38)), 29–38. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.119505>¶
47. [Guowei Ma](#), [Yimiao H](#). (2019). Safety assessment of explosions during gas stations refilling process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.

- .Volume 60,^o July 2019, 133-144.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423018308751>¶
48. Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>¶
49. Звіт з оцінки впливу на довкілля планової діяльності АЗС.
https://eco.cg.gov.ua/web_docs/2145/2019/02/docs/zvit.pdf¶
50. Carriger J. F., Dyson B. E., Benson W. H. (2018) Representing causal knowledge in environmental policy interventions: Advantages and opportunities for qualitative influence diagram applications. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2018. Vol. 14. P. 381–394. DOI: 10.1002/ieam.2027.¶
51. Bayesian networks in environmental risk assessment: A review (2021). Kaikkonen L. et al. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2021. Vol. 17. P. 62–78. DOI: 10.1002/ieam.4332.¶
52. Програмні продукти: ЕОЛ 2000. СФ-продукти. URL: <http://www.sfund.kiev.ua/ukr/products/ecology.htm>¶
53. Рагель Л.М., Марійчук Р.Т. Аналіз ризиків виникнення небезпечних концентрацій нафтопродуктів у атмосферному повітрі у околі АЗС міста Мукачево. Вісник Ужгородського національного університету. Серія Хімія. 2008, 20. С. 113–116. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/13683>¶
54. Козуля Т. В., Коршунов С. Є. Інформаційно-програмна підтримка комплексної оцінки техногенно-екологічної безпеки на АЗС на основі системологічного підходу. *Техногенно-екологічна безпека*, 2023, 13(1). С. 31-44. http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17451/1/31-44-Kozulia_Korshunov.pdf¶
55. Okonkwo Ugochukwu C., Orji Ijioma n. and Onwuamaeze Ikechukwu (2014) Environmental impact assessment of petrol and gas filling stations on air quality in umuahia, nigeria. *Global journal of engineering research* vol-13, 2014: 11-20. <http://dx.doi.org/10.4314/gjer.v13i1.2>¶
56. Антропченко А.К., Радомська М.М., Черняк Л.М., Бойченко С.В. Оцінювання потенційного токсичного ефекту викидів вуглеводнів із резервуара

Типової АЗС для міського населення. Нафтогазова галузь України, 2016, 2, с. 40-43. <https://www.academia.edu/95672583>¶

57. Франчук Г.М., Радомська М.М. Оцінка забруднення ґрунтів нафтопродуктами внаслідок діяльності автозаправних станцій. Вісник НАУ, 2009, № 1, с. 46–49.¶

58. Желновач Г.М., Прокопенко Н.В. Аналіз екологічних впливів та ризиків при експлуатації автозаправних станцій. Вісник ХНАДУ, 2014, вип. 67, с. 78–88.¶

59. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Богатов О.И. Підвищення безпеки виробництва за допомогою цифрових технологій. *Theory, science and practice. Abstracts of III International Scientific and Practical Conference*. Tokyo, Japan. 2020. – PP. 421-423. DOI: 10.46299/ISG.2020.II.III.¶

60. Крайнюк О.В., Барбашин В., Діденко Н.В., Буц Ю.В. Перспективи диджиталізації у сфері охорони праці. *Комунальне господарство міст*, 2020, Т. 6, Вип. 159. – С. 130–138. DOI: 10.33042/2522-1809-2020-6-159-130-138¶

61. Крайнюк О.В., Буц Ю.В., Барбашин В.В. SWOT-аналіз впровадження цифрових технологій для забезпечення безпеки праці. *Комунальне господарство міст*, 2021, Т. 3, Вип. 163. – С. 234–238. DOI: 10.33042/2522-1809-2021-3-163-234-238¶

62. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка". 2023, № 2(37), с. 34–42.¶

63. НАПБ В.01.058-2008/112. Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів (55091). <https://dnaop.com/html/55091/doc-НАПБ В.01.058-2008 112>.¶

64. Vasyi Holinko, Roman Dychkovskiy, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108-s. <https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2024.3>¶

65. Івасенко В.М., Приміський В.П. Методи і прилади контролю викидів автозаправних станцій. — Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. — 2014. — № 60 (1102). — С. 174-180. ¶

66. Забеліна В.А. Шляхи вдосконалення системи технологічної безпеки об'єктів нафтопродуктозабезпечення. Молодь: наука та інновації: Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодь: наука та інновації», Дніпро, 22–24 листопада 2023 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2023. Том 1. С. 370-371. ¶

67. Golinko V., Zabelina V. Actualization of the problem of identification of high-risk facilities // Науковий вісник ДонНТУ. 2024, № 1(12). С. 78–84. . <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2024-1-12-78-85> ¶

68. Забеліна В.А. Особливості ідентифікації автозаправних станцій як об'єктів підвищеної небезпеки. Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Безпечна, комфортна та спроможна територіальна громада», Дніпро, 16-18 жовтня 2024 року / Дніпро: НТУ «ДП», 2024. С. 92-94. ¶

69. Цопа В.А., Дерюгін О.В., Забеліна В.А., Чеберячко Л.М. Визначення тяжкості наслідків вибуху пального на автозаправній станції. Вісник приазовського державного технічного університету, 2025, №50. С. 200–209. . <https://doi.org/10.31498/2225-6733.50.2025.336385>. ¶

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНКИ ПРОФЕСІЙНИХ РИЗИКІВ, ОБУМОВЛЕНИХ ШКІДЛИВИМИ ТА НЕБЕЗПЕЧНИМИ УМОВАМИ ПРАЦІ

2.1. Особливості оцінки професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці

За даним Міжнародної організації праці у світі щорічно внаслідок дії на працівників шкідливих та небезпечних виробничих чинників гине близько 2,8 млн. осіб [1]. При цьому смертність працівників від професійних захворювань більше ніж у 6,5 разів перевищує смертність від виробничого травматизму [1]. Це пов'язано з низькою ефективністю заходів і засобів з профілактики виникнення професійних захворювань. Однією з причин цього є недосконалість відомих підходів до питання щодо оцінки професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці.

Поняття ризику сьогодні набуло надзвичайно широкого застосування у різних сферах господарської та виробничої діяльності, зокрема для аналізу та прогнозування стану виробничого середовища, оцінки безпеки праці на робочих місцях, визначення ефективності впроваджених заходів та технічних засобів з охорони праці, а також для оцінки доцільності проведення робіт із підвищення безпечності виробничого обладнання та впровадження новітніх, більш безпечних технологічних процесів. Таке широке використання поняття ризику обумовлено його здатністю систематизувати інформацію щодо потенційних загроз і їхніх наслідків, що надає можливість приймати обґрунтовані рішення з метою мінімізації небезпечних ситуацій та забезпечення сталого функціонування підприємств.

Відповідно до ДСТУ ISO 45001:2019 [2], у сфері безпеки праці ризик визначається як інтегроване поєднання ймовірності виникнення однієї або декількох небезпечних подій чи впливів, які пов'язані з виконанням роботи, та рівня тяжкості можливих травм, ушкоджень або погіршення стану здоров'я, які

можуть бути спричинені зазначеними подіями чи впливами. Таким чином, концепція ризику включає не лише ймовірність настання небажаних подій, але й оцінку потенційних негативних наслідків для працівників, що робить її ключовим інструментом при управлінні охороною праці та безпекою виробництва.

Процес управління ризиками широко використовується в системах управління охороною здоров'я та безпекою праці для обґрунтування рішень спрямованих на зниження рівня травматизму і професійних захворювань [3, 4]. Відома значна кількість різноманітних підходів до управління ризиками, вибір яких для організацій, законодавством не обмежується [5, 6]. Важливою умовою обрання того, чи іншого підходу є його ефективність та відповідність до умов праці на конкретному об'єкті.

Відповідно [2] до систем управління охороною здоров'я та безпекою праці, встановлюються певні вимоги до процедури управління ризиками. Зазвичай вона проводиться у декілька кроків: ідентифікація небезпечних та шкідливих чинників, визначення наслідків їх впливу на працівників, оцінка ризику, обґрунтування запобіжних і захисних заходів, перевірка і удосконалення проведених попередніх етапів [7, 8]. Для цього роботодавець повинен мати надійні і обґрунтовані способи визначення ризиків на кожному робочому місці, а також мати можливість їх аналізувати і, відповідно, управляти ними

Різноманотності прояву небезпеки відповідає різноманітність відомих підходів до оцінок ризику, що знайшло відображення в наявкій їх класифікації. У сучасній науці та практиці управління ризиками існує велика різноманітність критеріїв, згідно з якими здійснюється класифікація ризиків. Це обумовлюється специфікою цілей аналізу та характером об'єктів дослідження [9]. У контексті безпеки праці найбільш поширеними є категорії «професійний ризик», а також «виробничий ризик». Згідно ДСТУ 2293:2014 [10], виробничий ризик визначається як імовірність виникнення негативних наслідків для здоров'я працівника, матеріальних цінностей або довкілля, що

виникає внаслідок шкідливого або небезпечного впливу технологічних і виробничих процесів.

Професійний ризик, за чинною Гігієнічною класифікацією праці [11], характеризується величиною ймовірності порушення або ушкодження стану здоров'я працівника із врахуванням тяжкості потенційних наслідків, які можуть виникати внаслідок впливу шкідливих та/чи небезпечних факторів виробничого середовища та специфіки трудового процесу. Слід зазначити, що поняття професійного ризику відповідає міжнародним стандартам щодо визначення ризику в системі управління охороною здоров'я та безпекою праці [2]. Це підкреслює сучасну тенденцію до інтеграції національних підходів із глобальними стандартами та практиками. У цьому контексті, основна увага сьогодні зосереджена на оцінці, систематичному контролі та управлінні виробничими ризиками з метою зменшення їх негативного впливу на працівників та навколишнє середовище.

Основні методичні підходи, принципи та рекомендації щодо оцінки ризиків у системі управління охороною праці викладені в ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 «Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику», що узгоджуються з підходами викладеними в ІЕС/ISO 31010:2009 [12]. Процес оцінки ризику розглядається як послідовна реалізація трьох основних етапів: ідентифікації ризиків, їх аналізу та визначення рівня ризику.

Ідентифікація ризику передбачає систематичне виявлення, усвідомлення та опис потенційно небезпечних подій і чинників, здатних призвести до негативних наслідків. Аналіз ризику включає детальне визначення природи, характеристик та величини ризику, виходячи з оцінки наслідків та визначення ймовірності їх настання для кожної ідентифікованої події, з урахуванням наявних засобів захисту та ефективності реалізованих заходів безпеки. На завершальному етапі, оцінювання рівня ризику здійснюється шляхом комбінування результатів аналізу ймовірності виникнення небажаних подій та потенційної тяжкості їхніх наслідків, що дозволяє сформулювати досить повне уявлення про стан ризику на конкретному об'єкті або робочому місці [12].

Відповідно до цього, оцінка ризиків – це ретельне вивчення чинників, які за певних умов можуть заподіяти шкоду, з метою оцінки достатності уже прийнятих рішень або застосування додаткові запобіжних заходів, спрямованих на поліпшення умов та безпеки праці. Для цього роботодавець повинен мати надійні і обґрунтовані способи визначення професійного ризику на кожному робочому місці, а також мати можливість їх аналізувати і, відповідно, керувати ними.

В ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 [12] наведено приклади більше двадцяти різних методик, які рекомендуються використовувати для загальної оцінки ризиків та ознаки вибору методів оцінки. Слід зазначити, що для оцінки ризиків більшістю з цих наведених методів, працівникам необхідно мати ґрунтовну підготовку з математики та теорії ймовірності. Тому для проведення процесу оцінки ризиків застосовувати експертні методи у вигляді окремих методик та їх комбінацій за критеріями застосовності [13].

В наукових публікаціях з питань оцінки професійних ризиків часто використовується матриця наслідків/ймовірностей та модель "Краватка-Метелик" [4, 14, 15].

Шкали для наслідків/ймовірностей можуть мати 3, 4, 5 і більше рівнів. Для ранжування ризиків спочатку знаходять ознаку наслідку, а потім визначають ймовірність, з якою цей наслідок виникає.

Відповідно до положень міжнародного стандарту ISO 31010, який визначає методологію аналізу ризиків, у системах управління охороною здоров'я та безпекою праці допускається застосування різноманітних підходів до оцінювання рівня ризику. Зокрема, використовуються два основних типи показників ризику: кількісні та якісні. Кількісні показники дозволяють оцінювати ризик чисельно, за допомогою значень частоти виникнення небезпечних подій та величини потенційних втрат або шкоди. Якісні показники, навпаки, передбачають описовий підхід, де ризик класифікується за категоріями, наприклад: «незначний», «терпимий», «критичний», «катастрофічний» або за іншими подібними характеристиками, які

відображають ступінь небезпеки подій для здоров'я працівників, довкілля чи майна організації.

У практичній діяльності фахівців з охорони праці переважно застосовуються експертні методи оцінки ризику, що базуються на поєднанні кількісних і якісних підходів. До таких методів належить використання статистично обґрунтованих частотних показників виникнення небезпечних ситуацій, вартісної оцінки потенційних втрат та експертних суб'єктивних оцінок ризику, наданих спеціалістами, які володіють професійними знаннями щодо умов роботи, технологічних процесів та можливих джерел небезпеки. Застосування комбінованого підходу дозволяє не лише формалізувати оцінку ризику, а й створити більш точну картину небезпек, що полегшує розробку ефективних заходів щодо їх запобігання або мінімізації [ISO 31010].

Таким чином, інтеграція кількісних і якісних оцінок ризику в системах управління охороною здоров'я та безпекою праці забезпечує комплексний підхід до управління потенційними небезпечними ситуаціями, дозволяє об'єктивно порівнювати різні види ризиків та приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення рівня безпеки на робочих місцях.

Аналіз наукових публікацій присвячених питанням оцінки професійних ризиків, показує на досить значну їх кількість. Це обумовлено в першу чергу відсутністю єдиних простих методичних підходів, які можуть застосовуватися для оцінювання професійних ризиків. Слід виділити ще одну характерну ознаку, виявлену в процесі аналізу. Вона полягає у тому, що автори в основному приділяють увагу оцінці професійного ризику, що обумовлений дією на працівників небезпечних виробничих чинників, а при аналізі професійного ризику, обумовленого шкідливими виробничими чинниками використовують аналогічні підходи [4].

Для прикладу на рис. 1 наведена матриця для оцінювання професійного ризику за методом стандарту BS 8800, «Risk score», запозичена з [4].

EVENT PROBABILITY	6	HIGHLY PROBABLE	6	12	18	24	30	36
	5	PROBABLE	5	10	15	20	25	30
	4	MODERATELY PROBABLE	4	8	12	16	20	24
	3	MODERATE	3	6	9	12	15	18
	2	HARDLY PROBABLE	2	4	6	8	10	12
	1	EXCEPTIONAL	1	2	3	4	5	6
		RISK						
		LOW						
		MEDIUM						
		HIGH						
		CRITICAL						
			SLIGHT	LOW	MODERATE	HIGH	VERY HIGH	INTOLERABLE
			1	2	3	4	5	6
			SEVERITY OF CONSEQUENCES					

Рис. 2.1. Матриця для оцінювання ризику за стандартом BS 8800, «Risk score»

Матриця наслідків/імовірностей в цьому випадку включає шість якісних показників, що характеризують серйозність наслідків, і шість якісних показників, що характеризують ймовірність події. Такий підхід справедливий для випадкових (стохастичних) подій коли серйозність наслідків і ймовірність події є показниками незалежними. В даному випадку тяжкість наслідків і ймовірність події не являються незалежними подіями.

Матриці наслідків/імовірностей [12] містить бальну оцінку ризику, величина якої залежить від прийнятої шкали для наслідків і ймовірностей, що потребує проведення додаткових розрахунків для визначення узагальненого рівня ризику середовища. При оцінці серйозності наслідків та ймовірності подій при цьому не враховується експозиція шкідливих факторів.

Проведений аналіз показує наявність при практичному використанні методів оцінки професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці, низки невирішених питань. Це потребує розробки універсального підходу, який спрощує процедуру та може швидко адаптуватись до конкретних умов праці.

Аналіз наукових публікацій присвячених питанням оцінки професійних ризиків, показує, що єдиних методичних підходів, які можуть застосовуватися

для оцінювання професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці, нині немає. Однак є чітке розуміння які ризики і для чого необхідно оцінювати. Можна виділити дві основні задачі які обумовлюють необхідність оцінювання:

- оцінка загального професійного ризику для здоров'я працівників умов праці, тобто можливих наслідків від негативного впливу на здоров'я працівників шкідливих чинників для обґрунтування профілактичних заходів та вибору напрямків інвестування в охорону праці;

- оцінка індивідуального ризику виникнення професійного захворювання у конкретного працівника, обумовленого шкідливими чинниками, для обґрунтування профілактичних заходів щодо його попередження.

Оцінка як загального професійного ризику, що впливає на здоров'я працівників, так і індивідуального ризику виникнення у працівника професійних захворювань, повинна здійснюватися на основі достовірних, наявних даних щодо умов праці які доступні для використання. При цьому методологічні підходи до розрахунку ризику мають бути такими, щоб формули за якими здійснюється розрахунок та показники не включали величин, для визначення яких необхідне проведення додаткових вимірювань чи експериментальних досліджень у робочих умовах.

Відповідно, інформаційною базою, що використовується для кількісної або якісної оцінки професійного ризику, мають виступати результати проведеної атестації робочих місць за умовами праці, оформлені у вигляді карт умов праці. Такі карти включають систематизовану інформацію щодо рівня шкідливих і небезпечних факторів, що характерні для конкретного робочого місця, та дозволяють здійснити обґрунтовану оцінку ризику без необхідності додаткових лабораторних чи польових вимірювань.

Використання матеріалів атестації робочих місць у якості основи для розрахунку ризику дозволяє забезпечити достовірність і об'єктивність оцінки, підвищує ефективність управління професійними ризиками на підприємстві, а також створює умови для прийняття адекватних рішень щодо заходів профілактики професійних захворювань та покращення безпеки праці.

Оцінку загального професійного ризику доцільно здійснювати достатньо апробованим і прийнятим для використання в країнах ЄС методом за стандартом ISO 31010, шляхом побудови матриці наслідків/імовірностей [12], сутність якого полягає у встановленні серйозності наслідків дії шкідливих чинників на організм людини та визначенні ймовірності можливого пошкодження здоров'я. Величина ризику буде дорівнювати:

$$R = S \cdot P, \quad (2.1)$$

де R – ризик; S – серйозність наслідків; P – ймовірність можливого пошкодження здоров'я.

Враховуючи той факт, що захворювання, зокрема професійні хвороби, на відміну від аварійних ситуацій та нещасних випадків на виробництві, формуються в результаті тривалої та систематичної дії шкідливих факторів виробничого середовища на організм працівника, оцінка професійного ризику, що обумовлений такими шкідливими умовами праці, повинна проводитися на основі принципів, що базуються на причинно-наслідкових взаємозв'язках, а не лише на ймовірнісних припущеннях.

При здійсненні такої оцінки необхідно враховувати комплекс факторів: тривалість і постійність впливу шкідливих виробничих чинників (експозиція), чисельність персоналу, який піддається впливу цих факторів, тип і характер шкідливого чинника, його здатність викликати незворотні зміни в організмі працівника, що можуть призвести до розвитку професійного захворювання, а також ступінь тяжкості можливих захворювань та інші показники, що відображають конкретні умови праці на робочому місці.

У цьому контексті ймовірність настання ушкодження здоров'я працівника може бути визначена безпосередньо на підставі результатів атестації робочих місць за умовами праці, яка є основним джерелом достовірної інформації про шкідливі та небезпечні фактори.

Відповідно до міжнародного стандарту ISO 31010, у системах управління охороною здоров'я та безпекою праці для аналізу ризиків можуть використовуватися два основні типи показників: кількісні та якісні. До якісних

показників належать, наприклад, категорії оцінки імовірності можливого ушкодження здоров'я: виняткова, малоімовірна, помірна, ймовірна, високо ймовірна. Кількісні показники, у свою чергу, можуть ґрунтуватися на чисельних значеннях концентрацій шкідливих речовин, тривалості впливу та інших об'єктивних характеристиках виробничого середовища, що дозволяє більш точно визначити рівень професійного ризику та обґрунтовано планувати заходи з охорони праці. При оцінці загального професійного ризику для здоров'я працівників доцільно використання бальної оцінки імовірності, яка з одного боку відображає рівень перевищення шкідливих факторів їх гранично допустимих концентрацій (ГДК) чи рівнів для відповідного класу умов праці, а з іншого дає можливість безпосереднього визначення узагальненого рівня ризику середовища без проведення додаткових розрахунків. Виходячи з цього в табл.2.1 наведена рекомендована бальна оцінка імовірності можливого пошкодження здоров'я.

Таблиця 2.1

Рекомендована бальна оцінка імовірності пошкодження здоров'я в залежності від класу умов праці

Клас умов праці	Кратність перевищення ГДК шкідливих речовин, разів [11]			Бальна оцінка	Якісний показник
	переважно фіброгенної дії	загальнотоксичної дії 1, 2 класів небезпечності	загальнотоксичної дії 3, 4 класів небезпечності		
допустимі	≤ ГДК	≤ ГДК	≤ ГДК	1	виняткова
шкідливі 3.1	1,1 – 2,0	1,1 – 3,0	1,1 – 3,0	2	малоімовірна
шкідливі 3.2	2,1 – 5,0	3,1 – 6,0	3,1 – 10,0	5	помірна
шкідливі 3.3	5,1 – 10,0	6,1 – 10,0	10,1 – 20,0	10	ймовірна
шкідливі 3.4	> 10,0	10,1 – 20,0	> 20,0	20	високо ймовірна

Особливістю наведеної бальної оцінки імовірності пошкодження здоров'я є її приведення у відповідність до кратності перевищення ГДК, рівнів та інших характеристик умов праці визначених чинною гігієнічною класифікацією [11].

Визначення серйозності наслідків впливу шкідливих факторів виробничого середовища повинно проводитися з урахуванням кількісних

закономірностей формування професійних захворювань та захворюваності, пов'язаної з умовами виробництва, а також на основі існуючих механізмів їх запобігання. Для цього важливо порівнювати поширеність конкретних видів захворюваності у визначених професійних групах із специфічними умовами праці, зокрема з рівнем і тривалістю експозиції шкідливих чинників на працюючих.

При оцінюванні серйозності наслідків необхідно брати до уваги тип шкідливого фактора, його інтенсивність та концентрацію, загальну кількість факторів, що характеризують умови праці, а також напрямок і характер їх дії на організм людини. Це дозволяє встановити, до якого класу та ступеня шкідливості належать умови праці та які заходи профілактики та контролю слід застосовувати для мінімізації ризику професійних захворювань.

Виходячи з цих підходів, у таблиці 2.2 представлена рекомендована система якісної та бальної оцінки серйозності наслідків впливу шкідливих чинників, що пов'язана із потенційним пошкодженням здоров'я працівників. При цьому необхідно підкреслити, що дані оцінки слід додатково уточнювати та адаптувати з позицій медицини праці, враховуючи індивідуальні особливості організму, вікові характеристики персоналу та наявність супутніх захворювань, що можуть підвищувати чутливість до дії шкідливих виробничих факторів. Такий підхід дозволяє більш точно та достатньо обґрунтовано здійснити оцінювання професійного ризику, що є необхідною умовою для планування заходів з охорони праці та підвищення безпеки на виробництві.

Таблиця 2.2

Рекомендована якісна і бальна оцінка серйозності наслідків дії шкідливих виробничих чинників

Вид та загальна кількість шкідливих чинників за якими визначений клас умов праці	Серйозність наслідків	
	якісний показник	бальна оцінка
Метеорологічні умови, світлове середовище, аероіонізація, важкість праці тощо (при встановленні класу за одним чинником, внаслідок дії якого не розвиваються тяжкі професійні захворювання)	незначна	1
Метеорологічні умови, світлове середовище, аероіонізація, важкість праці тощо (при встановленні класу за кількома чинниками, внаслідок дії яких не розвиваються тяжкі професійні захворювання)	мала	2
Шкідливі речовини 3, 4 класу небезпечності, шум, вібрація (при встановленні класу за одним чинником)	помірна	3
Шкідливі речовини 3, 4 класу небезпечності, шум, вібрація (при встановленні класу за кількома чинниками)	значна	4
Шкідливі речовини 1, 2 класу небезпечності, шкідливі речовини переважно фіброгенної дії	нестерпна	5

На рисунку 2.2 представлена запропонована авторами матриця для комплексної оцінки загального професійного ризику, обумовленого шкідливими умовами праці. Матриця, побудована за принципом "наслідки/ймовірності", включає п'ять градацій, що відображають серйозність потенційних наслідків дії шкідливих факторів, та п'ять градацій, що характеризують ймовірність настання небезпечної події, представлених як у якісних, так і з використанням бальних показників.

Особливістю цієї матриці є те, що бальні показники ймовірності безпосередньо визначаються за кратністю перевищення концентрації шкідливих речовин у робочій зоні або значення величини інших чинників, які нормативно регламентуються (наприклад, ГДК, рівні впливу факторів тощо). Такий підхід ґрунтується на припущенні щодо наявності лінійної залежності між значенням шкідливого чинника та ймовірністю виникнення професійного чи професійно обумовленого захворювань, що особливо справедливо для факторів із кумулятивним ефектом, здатних накопичуватися в організмі працівника. Наприклад, дослідження впливу пилу на ризик розвитку пневмоконіозу лягли в основу Інструкції щодо вимірювання концентрації пилу

у шахтах та обліку пилових навантажень [16], де ризик виникнення пневмоконіозу у гірників прямо пропорційний величині пилового навантаження, яке, у свою чергу, лінійно корелює із середньозмінною концентрацією пилу в повітрі.

Імовірність події	20	високоймовірна	20	40	60	80	100
	10	ймовірна	10	20	30	40	50
	5	помірна	5	10	15	20	25
	2	малоймовірна	2	4	6	8	10
	1	виняткова	1	2	3	4	5
РИЗИК <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #90EE90; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">незначний</div> <div style="background-color: #F0E68C; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">середній</div> <div style="background-color: #FFB6C1; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">високий</div> <div style="background-color: #FF0000; padding: 2px;">критичний</div> </div>			незначна	мала	помірна	значна	нестерпна
			1	2	3	4	5
			Серйозність наслідків				

Рис. 2.2. Матриця для оцінки загального професійного ризику, обумовленого шкідливими умовами праці

Такий підхід дозволяє визначити узагальнений рівень професійного ризику середовища для здоров'я працівників, що може бути виражений у відсотках або в частках одиниці, безпосередньо виходячи з даних матриці. Заповнення матриці здійснюється співробітниками служб охорони праці, використовуючи наявні карти умов праці, отримані при атестації робочих місць.

Крім того, важливим завданням є оцінка індивідуального ризику виникнення професійного захворювання для конкретного працівника, що є необхідним для обґрунтування профілактичних заходів та мінімізації небезпеки для здоров'я персоналу.

Підходи до оцінки індивідуального ризику значно відрізняються від методик, передбачених стандартом ISO 31010 [12], та від запропонованого нами підходу до оцінки узагальненого рівня ризику середовища для здоров'я працівників. Основні відмінності полягають у наступному:

1. Детерміністичний характер впливу шкідливих факторів. Професійні захворювання, на відміну від травматизму, виникають під дією детерміністичних ефектів шкідливих чинників. Тому прогнозування показників професійної захворюваності має базуватися на причинно-наслідкових зв'язках, а не на ймовірнісних моделях, характерних для оцінки випадкових подій.
2. Присутність наслідку у визначенні ризику. У терміні «ризик виникнення професійного захворювання» уже закладений наслідок — саме професійне захворювання. Таким чином, показник серйозності наслідків (S) у формулі ризику апріорі відомий і не потребує окремого прогнозування.

В основу методу оцінки індивідуального ризику можуть бути покладені підходи, запропоновані у роботі [9] для професійних захворювань пилової етіології. Сутність підходу полягає у тому, що професійні захворювання виникають переважно при перевищенні порогових значень експозиції шкідливого чинника, що називають порогом дії. Чим більше перевищення цього порога, тим вищий ризик виникнення захворювання. При цьому за незначної експозиції шкідливого фактора професійні захворювання не реєструються, а при перевищенні порога формується лінійна залежність між тяжкістю наслідків та величиною експозиції (рис. 2.3).

Слід відзначити, що за наявного стану досліджень впливу шкідливих чинників на ризик професійного захворювання достовірно встановити порогову експозицію практично неможливо. Тому в основу визначення ризику може бути покладена безпорогова залежність, згідно якої люба експозиція шкідливого чинника зумовлює певний ризик, а значення ризику лінійно залежить від величини експозиції.



Рис. 2.3. Зв'язок ризику професійного захворювання з експозицією шкідливого чинника: *а* – за лінійно-безпороговою залежністю; *б* – за лінійно-пороговою залежністю.

Незважаючи на недостатню обґрунтованість лінійно-безпорогової залежності ризику професійного захворювання від експозиції шкідливого чинника, виходячи з попереджувального характеру такого підходу, правомочним є оцінювання ризику професійного захворювання пропорційно експозиції. Дослідження впливу пилу на ризик виникнення пневмоконіозу у працівників вугільних шахт дозволили встановити критичне пилове навантаження для різних видів пилу (породного, вугільнопородного, вугільного) за якого ймовірність виникнення захворювання досягає 5 % [16]. Спираючись на ці результати при прогнозуванні індивідуального ризику виникнення професійних захворювань пилової етіології, в роботі [9] запропоновано здійснювати його розрахунок за виразом

$$P_i = \frac{10^{-6} \epsilon k C_{m.p.} t N}{\Pi_{кр}} \quad (2.2)$$

де ϵ - співвідношення між максимально-разовою і середньозмінною концентрацією пилу;

k – коефіцієнт, який враховує наявність протипилового респіратора;

$C_{м.р.}$ - максимально-разова ГДК пилу;

$П_{кр}$ – критичне пилове навантаження (пилове навантаження за якого ймовірність виникнення професійного захворювання досягає 5%), г;

t - тривалість робочої зміни t , хв.;

N - кількість робочих змін;

v - співвідношення між максимально разовою і середньозмінною концентрацією пилу.

Коефіцієнт k при розрахунку може бути визначений як

$$k = \frac{1}{K_3}, \quad (2.3)$$

де K_3 - коефіцієнту захисту респіратора.

З урахуванням запропонованих методичних підходів проведено комплексну оцінку загального професійного ризику, що характеризує рівень потенційної загрози для здоров'я працівників в умовах їх трудової діяльності, а також здійснено оцінку індивідуального ризику виникнення професійного захворювання у конкретних працівників. Виконання цих оцінок дозволяє обґрунтувати та розробити ефективні профілактичні заходи, спрямовані на запобігання розвитку професійних захворювань та мінімізацію негативного впливу шкідливих чинників виробничого середовища на здоров'я персоналу. Такий підхід забезпечує системний аналіз умов праці та дозволяє формувати науково обґрунтовані стратегії управління охороною праці на об'єктах виробництва. Оцінка здійснена для наступних умов:

- шкідливий чинник – вугільнопородний пил з вмістом вільного діоксиду кремнію, 5-10 %;

- максимально разова концентрація пилу - 100 мг/м³;

- співвідношення між максимально-разовою і середньозмінною концентрацією пилу - 0,5;

- гранично-допустима концентрація - 4 мг/м³;

Оцінка здійснена за відсутності засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) органів дихання, та за умови використання протипилових респіраторів різного

класу захисту [17]. При застосуванні ефективних ЗІЗ вплив шкідливого чинника на здоров'я зменшується. При цьому наявні умови праці можуть бути оцінені як менш шкідливі дл здоров'я працівника (виходячи з даних сертифіката відповідності на ЗІЗ), але не нижче ступеня 3.1 класу 3 [11].

Результати розрахунку загального професійного ризику для здоров'я працівників умов праці наведені в табл. 2.3. Тут також наведена розрахункова величина допустимого часу роботи працівника в шкідливих умовах за різної тривалості робочої зміни, розрахований виходячи з виразу (2). Величина допустимого ризику виникнення професійного захворювання при цьому прийнята менше 1%, а значення $P_{кр}$ запозичено для даного виду пилу з [16] і становить 510 грам.

Таблиця 2.3

Результати оцінки загального професійного ризику для здоров'я працівників умов праці та індивідуального ризику виникнення професійного захворювання у працівників

Шкідливий чинник	$C_{м.р.},$ мг/м ³	v	$C_{г.д.к.},$ мг/м ³	Клас захисту респіратора	K_z	Клас умов праці	Бальна оцінка загального ризику	Якісна оцінка загального ризику	Допустима тривалість роботи, років	
									за 8 годинної зміни	за 6 годинної зміни
пил	100	0,5	4	-	-	3.4	100	критичний	0,8	1,1
пил	100	0,5	4	P1	4	3.3	50	критичний	3,4	4,5
пил	100	0,5	4	P2	12	3.2	25	високий	10,0	13,5
пил	100	0,5	4	P3	50	3.1	10	середній	-	-

З наведеного прикладу слідує, що при роботі працівника в шкідливих умовах праці ступеня 3.4 загальний професійний ризик для здоров'я працівників є критичний, а його бальна оцінка досягає максимально можливого значення. Індивідуальний ризик виникнення професійного захворювання у працівників за 8 годинної зміни вже після першого року роботи в таких умовах перевищує допустиме значення. При використанні протипилових респіраторів з класом захисту P1 умови праці можуть бути оцінені як шкідливі ступеня 3.3. Вплив пилу на здоров'я зменшується але професійний ризик для здоров'я працівників залишається критичним, а його бальна оцінка зменшується в два

рази. Індивідуальний ризик виникнення професійного захворювання у працівників досягає допустиме значення вже після 3 років роботи в таких умовах. Високий загальний професійний ризик для здоров'я працівників залишається і при використанні респіраторів з класом захисту P2, коли умови праці можуть бути оцінені як шкідливі ступеня 3.2. Для попередження розвитку професійних захворювань допустима тривалість роботи в такому випадку не повинна перевищувати 10 років за 8 годинної робочої зміни та 13,5 років за 6 годинної робочої зміни.

За умови використання ЗІЗ з класом захисту P3 умови праці можуть бути оцінені як шкідливі ступеня 3.1 класу 3 [11]. В цьому випадку індивідуальний ризик виникнення професійних захворювань пилової етіології протягом будь-якої можливої тривалості роботи працівника не перевищує допустимого значення. Загальний професійний ризик для здоров'я працівників є середній, а його бальна оцінка становить 25. Це пов'язано з тим, що протипилові респіратори з півмасками і повно лицевими масками з фільтрами класу P3, мають великий початковий опір диханню і швидко забиваються пилом, а це призводить до ще більшого зростання опору фільтрів [17], тому уже при роботах середньої тяжкості їх використання призводить до перевтоми працівників та суттєвого зниження їх працездатності. Спостерігаються випадки короткочасного зміщення респіратора працівниками для відновлення дихання. За неможливості поліпшити умови праці за рахунок впровадження ефективних засобів колективного захисту можливим шляхом зниження загального професійного ризику для здоров'я працівників в такому випадку є використання ЗІЗ з примусовою подачею повітря [18].

Запропонований методологічний підхід до оцінки професійних ризиків, обумовлених шкідливими умовами праці, заснований на врахуванні експозиції шкідливих факторів, як кількісної характеристики інтенсивності та тривалості дії шкідливого чинника, дозволяє врахувати закономірності формування професійної та виробничо-зумовленої захворюваності працівників, а також наявних механізмів її попередження.

2.2. Оцінка впливу основних технологічних процесів на вибухо- та пожежонебезпеку об'єктів нафтопродуктозабезпечення

Усі сховища паливних матеріалів та пункти заправки відносять до пожежовибухонебезпечних об'єктів. Це обумовлюється тим, що під час виробничих операцій з легкозаймистими та горючими речовинами, можливі витіки й випадкові розливи речовин, випаровування з дзеркал розливу та резервуарів парів та створення вибухопожежонебезпечних паливо-повітряних сумішей.

До основних технологічних процесів які обумовлюють вибухо- та пожежонебезпеку об'єктів нафтопродуктозабезпечення відносяться процеси заповнення резервуарів паливними матеріалами, зберігання, видача (злив) паливних матеріалів та їх перекачування, технічне обслуговування та ремонт резервуарів та обладнання (поточне, середній, капітальний). Слід відзначити, що зазначені технологічні процеси впливають на вибухо- та пожежонебезпеку об'єктів нафтопродуктозабезпечення як за нормальних умов їх роботи так і при аварійних ситуаціях, які призводять до появи вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей у повітряному середовищі.

За нормальних (безаварійних) умов роботи, при заповненні резервуарів паливними матеріалами здійснюється заміщення пароповітряної суміші в резервуарах паливом, що поступає в резервуар. За відсутності на об'єкті нафтопродуктозабезпечення чи транспортних засобах для перевезення пального обладнання для здійснення пароповернення, ця пароповітряна суміш, що містить пари палива, викидається через дихальні клапани в атмосферу (велике дихання). При заповненні резервуарів з бензином така пароповітряна суміш містить біля $1,5 \text{ кг/м}^3$ парів бензину влітку і до $0,5 \text{ кг/м}^3$ взимку. Викинута суміш розбавляється повітрям і утворює пожеже- і вибухонебезпечну хмару в районі розміщення дихальних клапанів. У подальшому ця вибухонебезпечна суміш розсіюється повітряними потоками і концентрація парів бензину знижуються до безпечного рівня.

Проте за певних погодних умов (штиль, інверсний стан атмосферного повітря), навіть при розміщенні дихальних клапанів на значній висоті, вибухонебезпечна суміш може розповсюджуватися і тривалий час зберігатися на значній території об'єктів, що обумовлює дотримання особливих умов безпеки при проведенні процесу зливу пального з транспортних засобів в резервуари. Основна увага при цьому зосереджена на недопущенні наявності джерел запалення на території об'єктів, де може утворюватися вибухонебезпечна суміш.

Утворення вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей в зоні дихальних клапанів можливо і при зберіганні палива в резервуарах. Ця технологічна операція супроводжується викидом парів палива (в основному бензину) через дихальні клапани, які відбуваються внаслідок коливання температури чи зміни атмосферного тиску (малі дихання). Об'єми таких викидів значно менші ніж об'єми викидів, які утворюються при заповненні резервуарів паливом, проте, на відміну від останніх, вони є в значній мірі непрогнозованими і можуть виникати при наявності можливих джерел запалення вибухонебезпечних паливоповітряних сумішей, що обумовлює їх потенційну вибухонебезпеку.

Злив бензину з резервуарів сховищ в автоцистерни призводить до зниження тиску газу в резервуарі, спрацювання відповідного дихального клапану та заповнення резервуару атмосферним повітрям. Це призводить появи всередині ємності вибухонебезпечних зон. В подальшому, за рахунок випаровування бензину всередині ємності і насичення суміші парами бензину, парогазова суміш в ємності стає вибухонебезпечною, пороте в процесі випаровування тиск в ємності зростає і може призводити до спрацювання дихального клапану і викиду парів бензину в повітря, аналогічно викидам які відбуваються внаслідок коливання температури чи зміни атмосферного тиску.

В свою чергу, за відсутності системи пароповернення, бензин, що заповнює автоцистерни, витісняє з них пари в атмосферу. Викинута суміш розбавляється повітрям і утворює пожеже- і вибухонебезпечну хмару в місці

розміщення автоцистерни. У подальшому ця вибухонебезпечна суміш розсіюється повітряними потоками і концентрація парів бензину знижуються до безпечного рівня. Аналогічно викидам з дихальних клапанів (велике дихання) за певних погодних умов ця вибухонебезпечна суміш може розповсюджуватися і тривалий час зберігатися на значній території об'єктів. Ситуація ускладнюється ще і тим, що на відміну від викидів через дихальні клапани, що розміщуються на значній висоті, викиди пари бензину з автоцистерн здійснюються практично безпосередньо в приземний шар атмосфери. Це обумовлює дотримання особливих умов безпеки при і при зливі бензину з резервуарів сховищ в автоцистерни.

Заправка автомобілів бензином на АЗС (за умови відсутності паливороздавального обладнання, яке забезпечує уловлювання, відведення та рекуперацію парів, що витісняються з баків автомобілів під час заправки) також призводить до появи локальних вибухонебезпечних зон безпосередньо біля горловини паливного баку автомобіля. Незважаючи на незначний об'єм цих зон, за наявності в них джерел запалювання це може призвести до вибуху паливоповітряної суміші та загоряння бензину з подальшим розповсюдженням процесу горіння на транспортні засоби та паливороздавальне обладнання.

Пожежі та вибухи на об'єктах нафтопродуктозабезпечення відбуваються також під час технічного обслуговування резервуарів та обладнання, а також проведення ремонтних робіт [22]. Це пов'язано з тим, що при обслуговуванні та ремонті резервуарів вони виводяться з регламентної експлуатації та, як правило розкривається, що створює умови для утворення вибухонебезпечної пароповітряної суміші, а крім того при проведенні обслуговування та ремонту часто виникає необхідність у використанні технічних пристроїв та засобів які можуть бути джерелами запалювання, у тому числі проведення різальних, зварювальних та ін. робіт.

Основними причинами порушення цілісності сталевих резервуарів є корозія корпусу резервуарів, утворення недопустимого тиску чи розрідження у газовому просторі резервуара внаслідок залипання дихальних клапанів, появи

небезпечної напруги внаслідок нерівномірного осідання ґрунтів та в місцях з'єднання стінок резервуарів з днищем, наявність невиявлених заводських дефектів тощо. Як правило у більшості випадків ушкодження металевої оболонки через дефекти під час виготовлення виникають в перші роки експлуатації. Корозія корпусу резервуарів, яка обумовлена наявністю парів палива у газовому просторі, призводить до пошкодження конструктивних елементи і їх з'єднань. Все це обумовлює необхідність періодичного обстеження стану резервуарів та за необхідності проведення ремонтних робіт.

Згідно з чинними нормативно-правовими актами [23–27] періодичність обстежень резервуарів та їх очищення від донних відкладень залежить від виду нафтопродуктів, технічного стану резервуарів та умов зберігання. Очищення резервуарів здійснюється також при зміні сорту нафтопродуктів. Так часткове обстеження резервуарів може проводитися через 5 років, повне обстеження – через 10 років. Очищення ємностей з пально-мастильними матеріалами рекомендується проводити один раз на рік, а резервуарів з автомобільними бензинами - один раз у два роки.

При проведенні очищення резервуарів здійснюють відкачування залишків палива, дегазацію резервуарів шляхом вентиляції, знімають люки та навісне устаткування, видаляють донні відкладення. При обстеженні стану резервуарів, крім зазначених процедур, проводиться детальний огляд ємностей, їх технічна діагностика, при необхідності здійснюється заміна прокладок, з'єднань, відновлення герметичності резервуарів, у тому числі шляхом проведення зварювальних робіт, та інші необхідні ремонтні роботи.

Найбільш небезпечними операціями при обслуговуванні та ремонті обладнання, які призводять до утворення вибухонебезпечних сумішей, є процеси очищення резервуарів від залишків палива, їх дегазація, а також видалення донних пірофорних відкладень, схильних до самозаймання [28,29].

Однією з характерних особливостей сховищ паливних матеріалів є те, що велика частина технологічного обладнання розташовується на відкритих промислових майданчиках, що безпосередньо підвищує ризик виникнення

аварійних ситуацій. Вибухи та пожежі на таких зовнішніх установках можуть виникати за умов утворення вибухонебезпечних концентрацій парів нафтопродуктів у повітряному середовищі, зокрема внаслідок переповнення резервуарів під час зливу палива з транспортних засобів, роз'єднання з'єднувальних трубопроводів між резервуаром і транспортним засобом, а також у результаті корозійного зносу трубопроводів та конструкцій резервуарів.

Крім цього, до аварійних ситуацій на АЗС, пов'язаних з накопиченням вибухонебезпечних парів, можуть призводити й інші фактори, такі як переповнення паливних баків автомобілів, випадковий розлив палива під час заправки, механічне пошкодження паливно-роздавальних колонок або інші несприятливі технічні події. Потенційна небезпека таких аварій значною мірою визначається станом технічного обладнання, зокрема його експлуатаційним ресурсом, адже використання об'єктів, які відпрацювали нормативний термін служби, істотно підвищує ймовірність витоку нафтопродуктів.

При витоках палива в технологічних колодязях або інших приймальних ємностях може формуватися вибухонебезпечна суміш парів бензину, і в разі наявності джерела запалення це може спричинити вибух з подальшим розвитком аварійної ситуації на об'єкті, що становить значну загрозу для безпеки персоналу та навколишнього середовища. Такий ризик підкреслює необхідність регулярного технічного контролю, своєчасного обслуговування та модернізації устаткування сховищ паливних матеріалів.

Джерелами запалення вибухонебезпечних сумішей та горючих речовин можуть бути: іскри, розряди статичної електрики, грозові розряди, відкритий вогонь та ін. Можливе також самозаймання горючих речовин, наприклад пірофорних відкладень при очищенні резервуарів [28,29].

Кожна небезпечна подія, яка трапляється на об'єктах нафтопродуктозабезпечення і пов'язана з вибухами та пожежами на об'єктах, є певною мірою унікальним явищем. Небезпечні події відрізняються одна від одної як за причинами виникнення та процесами їх розвитку в часі і просторі, так і за наслідками. Нині при прийнятті управлінських рішень стосовно

необхідності та доцільності проведення заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки на об'єктах, широко використовуються процедури засновані на оцінці величини ризику, який, виходячи з [2], визначається як поєднання ймовірності виникнення небезпечної події та тяжкості її наслідків.

У найпростішому варіанті ймовірність настання небезпечної події визначається шляхом аналізу наявних статистичних даних щодо подібних подій за певний проміжок часу та подальшої екстраполяції отриманих результатів на майбутній період [30]. Такий підхід дозволяє отримати первинну оцінку ймовірності, проте він має суттєве обмеження: він не враховує специфічних характеристик конкретного об'єкта, його технічного стану, організаційних особливостей експлуатації, а також не дозволяє оцінити потенційні зміни ймовірності виникнення події у випадку впровадження різних профілактичних або захисних заходів, спрямованих на запобігання аварій та небезпечних ситуацій.

Для більш детального розуміння процесу формування небезпечної події на автозаправній станції (АЗС) доцільно розглянути можливий сценарій її виникнення та подальшого розвитку, що відображено на рис. 2.4. Такий сценарний підхід дозволяє не лише встановити ймовірність настання аварії, але й простежити послідовність подій, визначити критичні точки ризику, оцінити наслідки для персоналу та навколишнього середовища, а також обґрунтувати доцільність заходів щодо зниження ймовірності аварій. Крім того, аналіз сценаріїв дозволяє моделювати вплив різних технологічних, організаційних та експлуатаційних факторів на рівень ризику, що робить оцінку більш адекватною і практично застосовною для систем управління безпекою на об'єкті.

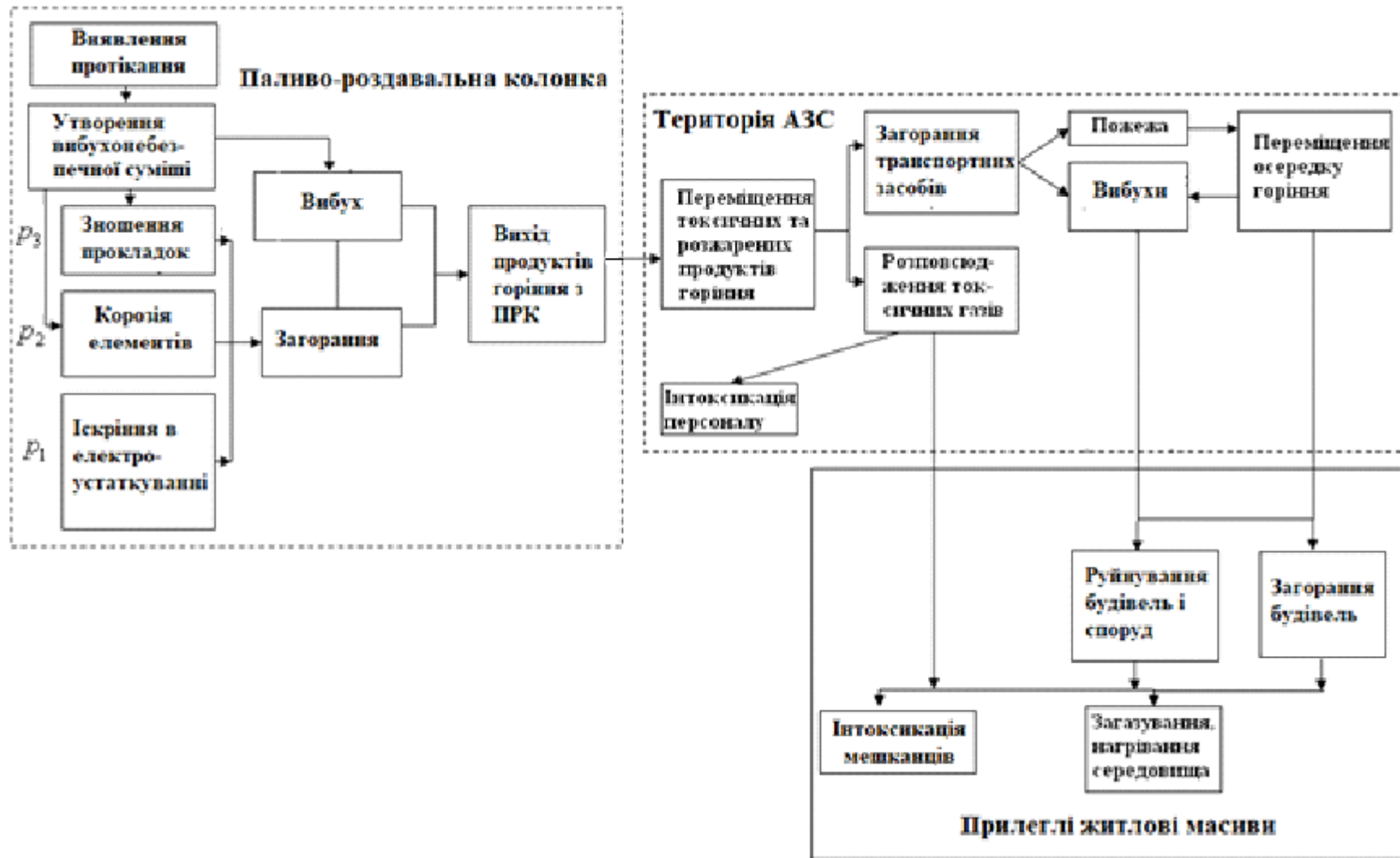


Рис. 2.4. Схема виникнення і розвитку аварії на АЗС

В даному випадку безпосередньою причиною небезпечної події при експлуатації паливо-роздавальних колонок є утворення в ній пожежо- та вибухонебезпечного середовища внаслідок протікання палива, яке можливе внаслідок зношення з'єднань чи корозії елементів транспортних магістралей. При цьому вибух паливоповітряної суміші можливий при наявності джерела запалення та за умови досягнення концентрації парів палива у повітрі вибухонебезпечного значення. При несвоєчасному виявленні протікання, зважаючи на те, що зазначені причини утворення вибухонебезпечної суміші є незалежними, ймовірність її утворення p_j складе

$$p_j = 1 - (1 - p_2)(1 - p_3), \quad (2.4)$$

де p_2, p_3 - відповідно ймовірності появи витоків внаслідок зношення прокладок та корозії елементів транспортних магістралей.

За невеликої кількості складових у (2.4) та незначній їх величині, операції логічного сумування можна замінити звичайним арифметичним сумуванням. В такому разі

$$p_j = p_2 + p_3. \quad (2.5)$$

Вибуху можливий лише за умови наявності вибухонебезпечної суміші та появи джерела запалення суміші (іскріння в електроустаткуванні). В цьому випадку ймовірність вибуху можна представити як

$$P_v = (p_2 + p_3)p_1 \quad (2.6)$$

Очевидно, що зниження ймовірності вибуху можливе як шляхом усунення причин витоків палива так і шляхом зменшення ймовірності появи джерел запалювання, що досягається шляхом своєчасного проведення технічного огляду, обслуговування та, за необхідністю, виконанням ремонтних робіт. Крім того досягти суттєвого зменшення ймовірності такої події можливо шляхом своєчасного виявлення витоків, недопущення утворення вибухонебезпечних сумішей та усунення джерел запалення у випадку появи небезпеки (вимкнення обладнання). Як приклад, при експлуатації електрообладнання у вибухозахищеному виконанні, застосування такого заходу як постійний автоматичний контроль вибухонебезпечності середовища в

електричних апаратах дозволяє знизити ймовірність вибуху протягом року до величини 10^{-6} , тобто до значення, яким зазвичай прийнято нехтувати [31].

Автоматичний контроль вибухонебезпечності середовища безпосередньо не впливає на ймовірність виникнення витоків, але дозволяє своєчасно їх виявити, терміново прийняти заходи, щодо недопущення накопичення вибухонебезпечної концентрації парів бензину в колонці, та усунути при цьому джерела запалення. В такому випадку вибух можливий лише за умови відмови засобів контролю. По аналогії з [31] процес формування події «вибух» за відсутності і наявності контролю вибухонебезпечності середовища в паливороздавальній колонці представлено на рис. 2.5.

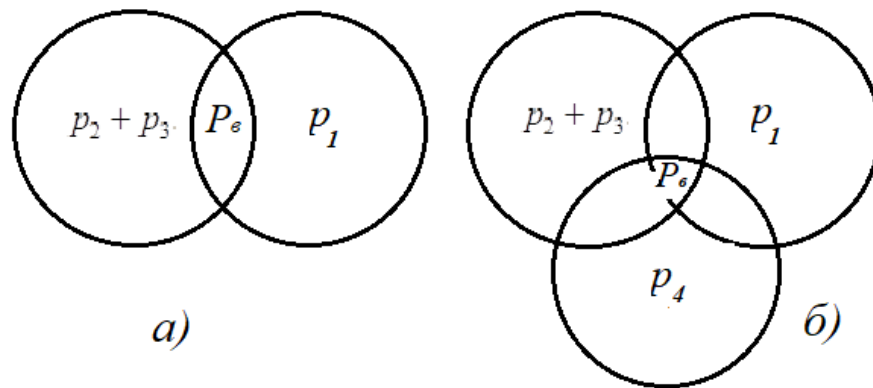


Рис. 2.5. Формування події «вибух» за відсутності (а) і за наявності засобів автоматичного контролю вибухонебезпечності середовища (б): p_4 - ймовірність відмови засобів контролю.

В цьому випадку ймовірність вибуху можна представити як

$$P_{\text{в}} = (p_2 + p_3)p_1 \cdot p_4. \quad (2.7)$$

Подальший розвиток події (рис. 2.4) залежить від значного числа різних інших чинників: наявності транспортних засобів в зоні вибуху, їх насиченості, можливості їх запалення, розташування та типу резервуарів для зберігання палива, їх кількості, територіального розміщення АЗС тощо. Визначити фактичне значення ймовірностей розглянутих подій на діючих АЗС практично неможливо. Тому при оцінці впливу основних технологічних процесів на вибухо- та пожежонебезпеку об'єктів нафтопродуктозабезпечення на ризик

надзвичайних ситуацій як правило використовують експертні методи [32]. В цьому випадку при оцінці факторів професійного ризику для режиму можливих потенційних небезпек доцільно враховувати три основні фактори: тяжкості наслідків (*S*), ймовірності виникнення відмови/інциденту (*O*) та можливості виявлення інциденту (*D*).

2.3. Ідентифікація небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику пунктів заправки паливними матеріалами

Об'єктам нафтопродуктозабезпечення притаманна значна кількість небезпек і загроз, які потенційно можуть вплинути на життя та здоров'я будь-якого працівника. При цьому, кожен учасник виробничого процесу має власне судження щодо рівня ризику від небезпеки того чи іншого явища [33, 34], що формує його подальшу поведінку. У разі неправильного оцінювання загрози – зростає ймовірність виникнення небезпечної події, що є результатом не адекватного сприйняття ризику. Нажаль, при якісному оцінюванні ризиків його сприйняття – це результат взаємодії працівника з навколишнім середовищем [35, 36], яке ґрунтується, перш за все, на психологічній оцінці впливу небезпечних чинників, що пов'язані з робочим процесом [37, 38]. Звідси виникає потреба у формуванні відповідного ставлення до процедури оцінки професійних ризиків. Це дозволить підвищити рівень безпеки, особливо на об'єктах підвищеної небезпеки, до яких відносяться АЗС. На працівників АЗС впливає ціла низка різноманітних фізичних, хімічних, психосоціальних, ергономічних небезпек, а також небезпечних чинників (людських, технічних, організаційних, кліматичних). Вони збільшують ймовірність настання небезпечної події й потребують відповідного детального аналізу для уникнення необ'єктивних суджень щодо рівня ризику та безвідповідальної поведінки працівників, яка залежить від їх сприйняття. Отже, аналіз небезпек, обґрунтування їх впливу на безпечну діяльність АЗС, поведінку працівників, а також визначення відповідних запобіжних чинників є актуальним завданням.

Аналіз наукових статей показує значний інтерес до оцінювання пожежних ризиків на АЗС [39, 40], оскільки вважається, що саме пожежам та вибухам притаманна значна ймовірність та тяжкість наслідків, зумовлених великими обсягами зберігання автомобільного пального, особливостями технологічних процесів, пов'язаних з прийомом, зберіганням і відпуском пального. Так, у роботі [39] автори запропонували застосовувати імітаційне моделювання часових характеристик та ефективності профілактичних заходів для встановлення частотних характеристик виникнення пожежі та передбачуваних розмірів можливих наслідків, яке, проте, не враховує можливість отримання травм працівниками АЗС. Цей недолік, частково, було усунуто в роботі [40], де автори розглянули задачу оцінювання ризику термічного ураження працівників у випадку пожежі та в результаті побудували математичну модель, яка дозволяє швидко визначати динаміку зміни поля температури та прогнозування її, на базі цієї інформації, величину ризику. Разом з тим, залишається відсутньою інформація, яка б дозволила визначати масштаб пожежі, виходячи з характеристик АЗС. В роботі [41] розглянуті сценарії потенційних наслідків важких техногенних аварій на АЗС. Прогноз результатів здійснювався з застосуванням універсального методу дослідження дерева відмов, що дозволило авторам отримати різноманітні комбінації подій, які можуть виникнути. При цьому автори, не оперували жодними статистичними даними, які дозволили б розрахувати рівень ризику кожного сценарію.

У науковій літературі також присутні дослідження, присвячені аналізу ризику виникнення професійних захворювань у персоналу автозаправних станцій (АЗС). Зокрема, у роботі [42] проведено оцінку неонкологічного ризику для здоров'я населення, пов'язаного з впливом парів нафтопродуктів. Ці дослідження дозволили встановити орієнтовний час настання негативних фізіологічних змін в організмі людей, що перебувають у зоні експозиції, а також здійснити кількісну оцінку рівня ризику для здоров'я.

У подібному напрямку виконано роботу [43], у якій досліджено наслідки впливу АЗС на стан здоров'я населення з використанням моделі, заснованої на

припущенні про наявність логарифмічної залежності між кількістю надходження токсичних речовин в організм і відповідною біологічною реакцією організму. Такі підходи дозволяють не лише оцінити потенційний ризик для працівників і населення, але й моделювати динаміку розвитку несприятливих наслідків за різних рівнів експозиції, що є важливим для розробки превентивних заходів, нормування експозиційних стандартів та планування систем захисту.

Загалом, на працівників АЗС впливають:

- фізичні небезпеки: шум, а також теплова радіація [44, 45]; інколи на АЗС температура перевищує 40 °С, а рівень шуму - 90 дБА; крім того, джерела штучного світлового випромінювання, такі як люмінесцентні лампи, на робочому місці, можуть викликати рак шкіри [46];

- хімічні небезпеки: такі сполуки, як Cr, Cu, Pb, Cr і Zn знаходяться у нафтопродуктах, а також у вихлопних газах автомобілів [47, 48], становлять значний ризик захворювання на рак для працівників; крім того, працівники АЗС часто піддаються впливу токсичних нафтохімічних речовин, включаючи леткі органічні сполуки, такі як: бензол, толуол, етилбензол, ксилоли та метилтретбутиловий ефір, що призводять до низки різноманітних професійних захворювань (гематологічних, респіраторних, репродуктивних, імунологічних, дерматологічних) [49, 50];

- психологічні небезпеки, спричинені дисбалансом між завданнями та навичками (можливостями) працівника [51, 52];

- ергономічні небезпеки: незручна робоча поза, багато ручної праці підвищують ймовірність розвитку захворювань опорно-рухового апарату [53].

Аналіз відомих досліджень показує значний інтерес до виявлення різноманітних загроз і небезпек на АЗС. Разом з тим, наявні результати досліджень не дозволяють отримати системний підхід до керування ризиками виявлених небезпек, оскільки використовують різноманітну наукову базу для досліджень. Відповідно до вимог Конвенції 1993 року про запобігання великим промисловим аваріям, яка діє на території України, перед власником АЗС стоїть

завдання мінімізації ризиків великих аварій забезпеченням відповідного контролю за ними та застосуванням запобіжних заходів, які визначають на основі ідентифікації та аналізу небезпек й оцінювання ризиків, згідно з вимогами стандарту ISO 31000: 2018 Управління ризиками. Звідси виникає задача з розробки дієвої процедури керування ризиками на АЗС, яка враховувала б всі небезпеки і небезпечні чинники, що можуть виникнути під час її експлуатації, алгоритм якої наведено на рис. 2.6.



Рис.2.6. Алгоритм оцінювання ризиків виникнення небезпечної події

Перший етап дослідження передбачає ідентифікацію потенційних небезпек та оцінку працездатності автозаправних станцій (АЗС). Для виявлення можливих небажаних подій застосовується методологія HAZOP (Hazard and

Operability Study), яка базується на систематичному аналізі технологічних процесів за допомогою спеціальних керівних слів (рис. 2.7) [54].

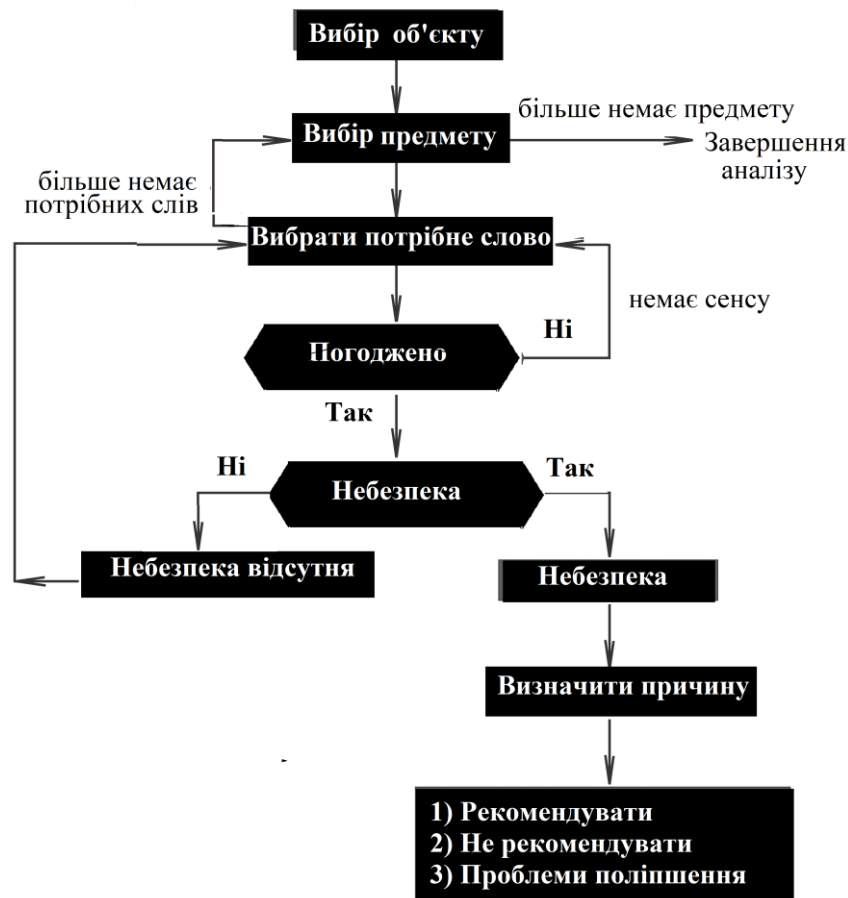


Рис. 2.7. Алгоритм дій при проведенні оцінювання методом "HAZOP"

Зокрема, при аналізі негативних відхилень використовують керівне слово «ні», яке дозволяє ідентифікувати ситуації, коли, наприклад, процес зливу нафтопродуктів не відбувається через логістичні збої або несправності обладнання. Аналіз кількісних відхилень здійснюється за допомогою керівного слова «більше», що дозволяє виявити можливі надмірні показники, наприклад, підвищення тиску технологічної суміші понад нормативні межі.

Такі керівні слова застосовуються також для виявлення потенційних джерел небезпеки на всіх етапах технологічного процесу. Аналітичний пошук ведеться по кожному окремому вузлу технологічної схеми до повного виснаження всіх можливих сценаріїв потенційних аварій або відмов. Після

завершення дослідження одного вузла процедура переходить до наступного технологічного елементу, де процес ідентифікації повторюється.

У ході аналізу додатково враховуються відомі причини попередніх інцидентів, результати експертних звітів та наукових публікацій, в яких описуються фактори, здатні призвести до повної або часткової втрати працездатності технологічного обладнання. Важливим аспектом такого підходу є співвіднесення ідентифікованих ризиків із задекларованими технічними характеристиками обладнання та умовами його експлуатації, що дозволяє сформувати системну картину потенційних небезпек і забезпечити ефективну превентивну політику.

Аналіз частоти виникнення відмов здійснювався на основі систематичної оцінки ймовірності настання негативних сценаріїв, що формуються внаслідок появи різноманітних небезпечних ситуацій на автозаправних станціях (АЗС). У цьому процесі частотні показники формувалися шляхом синтезу експертних оцінок та використання спеціальної шкали ймовірностей, що враховувала можливі комбінації технічних збоїв та зовнішніх обставин, здатних впливати на нормальну роботу технологічного обладнання та процесів АЗС.

Для визначення потенційних наслідків аварійних та небезпечних ситуацій застосовувались статистично обґрунтовані дані цільових вибірок, що відображали ризик погіршення рівня безпеки працівників і відвідувачів, вплив на економічні показники діяльності станції, а також ймовірність виникнення аварійних подій різного масштабу. Визначення рівня наслідків проводилося у відповідності з матрицею оцінки ризиків, наведеною у таблиці 2.1, що дозволяє уніфіковано класифікувати інтенсивність і серйозність потенційних подій.

Розробка захисних бар'єрів та превентивних заходів для мінімізації реалізації виявлених ризиків базувалася на використанні сучасних технічних рішень і прогресивних технологій, що дозволяють ефективно знижувати ймовірність аварійних подій, обмежувати поширення негативних наслідків та забезпечувати стабільну експлуатацію об'єктів нафтопродуктозабезпечення.

Такий комплексний підхід забезпечує системне управління ризиками, інтегруючи як технічні, так і організаційні заходи безпеки.

Таблиця 2.4.

Матриця оцінки ризику

Класифікація ризиків		Імовірність події				
		Виняткова	Малоймовірна	Помірна	Ймовірно	Часто
Серйозність наслідків	Нестерпна	Помірний	Помірний	Значний	Значний	Значний
	Значна	Помірний	Помірний	Помірний	Значний	Значний
	Помірна	Незначний	Помірний	Помірний	Помірний	Значний
	Мала	Незначний	Незначний	Помірний	Помірний	Помірний
	Незначна	Незначний	Незначний	Незначний	Помірний	Помірний

Наступний етап дослідження зосереджений на кількісному визначенні рівня ризиків, що можуть виникати в процесі експлуатації автозаправних станцій (АЗС). Для реалізації цього завдання застосовується алгоритмічний підхід методу FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), який надає можливість за допомогою комплексного поєднання організаційних процедур, логічного аналізу та математико-статистичних обчислень оцінити ранг пріоритетності професійного ризику у контексті потенційно небезпечних ситуацій.

У основі визначення рангу ризику лежить оцінка трьох ключових компонентів:

1. Тяжкість наслідків (S) — показник, що відображає потенційну серйозність негативних впливів на здоров'я працівників, стан технологічного обладнання та економічні результати діяльності АЗС у випадку реалізації небезпечної події.
2. Ймовірність виникнення відмови або інциденту (O) — показник, що характеризує імовірність настання аварійної ситуації або виникнення помилкових дій персоналу.
3. Можливість виявлення дефекту чи небезпечної дії (D) — оцінка, яка враховує ймовірність своєчасного виявлення потенційної небезпеки або дефекту до того, як він призведе до негативних наслідків. Цей компонент

також інтегрує вплив психофізіологічного та психосоціального стану працівника, що може зумовлювати людські помилки — небезпечні дії або бездіяльність.

На основі розрахованого рангу ризику здійснюється визначення пріоритетних напрямів реагування та обґрунтування оптимальних заходів для підвищення рівня безпеки при експлуатації АЗС. Ці заходи можуть включати як технічні модифікації обладнання, так і організаційні рішення щодо контролю процесів, підвищення кваліфікації персоналу та удосконалення процедур безпеки.

Детальний опис послідовності дій експертів при застосуванні алгоритму методу FMEA наведено на рис. 2.8 та у джерелі [55], де представлено покрокову процедуру ідентифікації можливих відмов, оцінки їхніх наслідків, визначення ймовірності та розрахунку комплексного показника рангу ризику для прийняття зважених управлінських рішень.

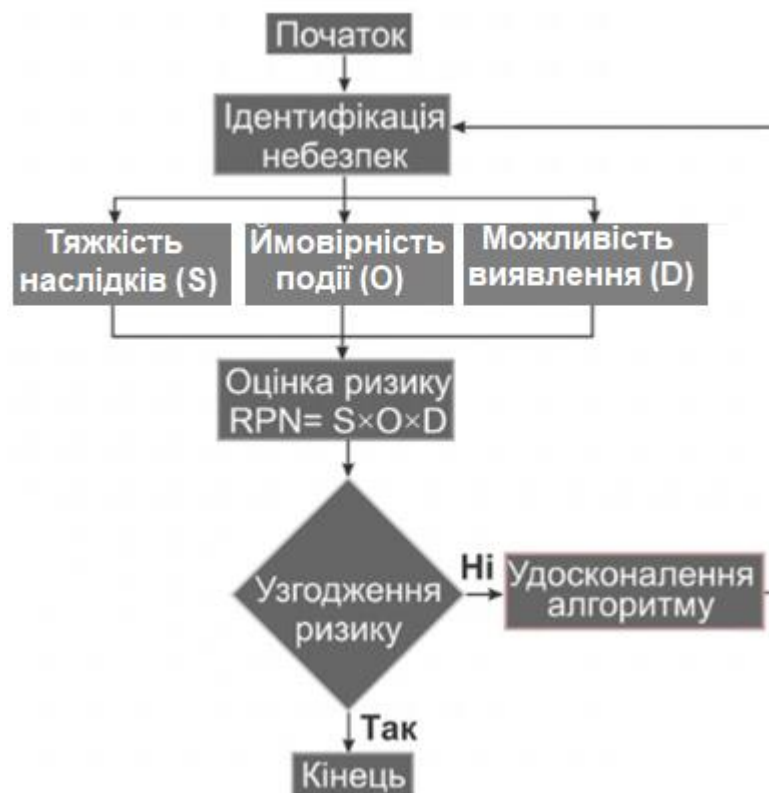


Рисунок 2.8. Алгоритмічна послідовність дій при виконанні оцінки ризику методом "FMEA" [55]

Для проведення кількісної оцінки ризиків, що виникають у процесі функціонування автозаправних станцій, створюється експертна група (див. табл. 2.2), яка здійснює детальний аналіз трьох ключових компонентів професійного ризику, що відображають потенційні небезпечні ситуації:

1. Тяжкість наслідків (*S*) — показник, що характеризує масштаб негативного впливу на здоров'я персоналу, стан технологічного обладнання та економічні показники діяльності об'єкта у разі реалізації аварійного сценарію.
2. Ймовірність виникнення відмови або інциденту (*O*) — величина, яка відображає імовірність настання події, здатної призвести до порушення нормальної роботи АЗС або спричинити шкоду.
3. Можливість своєчасного виявлення дефекту (*D*) — параметр, що оцінює ймовірність того, що потенційна небезпечна дія або технічний дефект буде виявлений до того, як спричинить серйозні наслідки. Цей показник також враховує вплив людського фактору, зокрема психофізіологічний стан працівника, який може бути причиною помилки або бездіяльності.

Значення рангу пріоритетності ризику (*RPN*, Risk Priority Number) обчислюється як добуток зазначених компонентів:

$$RPN = S \times O \times D, \quad (2.8)$$

Процедура оцінювання ризику за методом FMEA передбачає послідовне визначення всіх можливих значень *RPN* для конкретних сценаріїв небезпечних подій до тих пір, поки не буде ідентифіковано ті, що відображають найвищий рівень професійного ризику. Вважається, що найбільш критичними є ті чинники, для яких розраховане значення *RPN* перевищує 150 балів [55].

Для встановлення величин параметрів *S*, *O* та *D* застосовується десятибальна шкала, де значення 1 відповідає мінімальному рівню тяжкості, ймовірності або детектованості, а значення 10 — максимально високому рівню відповідного показника. Така шкала дозволяє уніфіковано та стандартизовано

проводити порівняльний аналіз ризиків для різних процесів і вузлів технологічного обладнання АЗС.

Таблиця 2.5

Інформація про експертів, які проводили дослідження

Інформація	Кількість
Кількість експертів	6
Досвід роботи на посадах транспортної логістики	від 10 до 14 років
Освіта експертів	вища за фахом транспортні технології
Стаж роботи	більше 10 років
Наявність посвідчення аудитора з систем управління якістю і безпекою компаній	Так
Підвищення кваліфікації з оцінки ризиків за вимогами [55]	Так

Для подальшої обробки та аналізу даних, отриманих від експертів, а також для перевірки наявності потенційних аномальних значень у їхніх оцінках, було застосовано критерій Граббса для виявлення викидів у вибірці:

$$G_{\max} = \frac{X_n - \bar{X}}{S}, \quad (2)$$

де X_n — індивідуальні оцінки, надані експертами; \bar{X} — середнє значення всіх отриманих оцінок у вибірці; S — середнє квадратичне відхилення вибірки, що відображає ступінь розсіювання експертних даних.

Для початкових розрахунків необхідно визначити математичне очікування, тобто середнє значення отриманих результатів за формулою:

:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (3)$$

де n — кількість оцінок експертів у вибірці.

Далі розраховується середнє квадратичне відхилення, яке характеризує варіативність отриманих оцінок, за наступною формулою:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} . \quad (4)$$

Після обчислення зазначених статистичних показників проводиться перевірка наявності викидів серед максимальних та мінімальних значень оцінок експертів за умови, що показник G перевищує критичне значення $G_{кр}$:

$$\begin{cases} G_{\max} \geq G_{n, 1-\alpha} \\ G_{\min} \geq G_{1, 1-\alpha} \end{cases} , \quad (5)$$

де α - обраний рівень значущості, який визначається відповідно до нормативних вимог [55].

У разі виконання цієї умови відповідні оцінки вважаються аномальними значеннями (викидами) і підлягають виключенню з подальшого аналізу.

Для експертів, чиї оцінки виявилися викидами, проводиться додаткове роз'яснення та обговорення щодо обґрунтованості наданих балів, щоб забезпечити правильне розуміння методології та підвищити точність експертної оцінки. Критичні значення статистики Граббса визначаються виходячи з типу розподілу випадкової величини, зокрема для нормального розподілу згідно з вимогами [56]. У випадках, коли існує підозра на наявність двох аномальних значень, застосовується розширена процедура перевірки за двовикидною статистикою Граббса, що дозволяє коректно оцінити та виключити два викиди одночасно, не порушуючи цілісність вибірки та достовірність обчислень.

Розглянемо АЗС, яка складається з таких будівель: головного корпусу, сховища палива (ємності для зберігання), навісу над місцем розміщення колонок, колонок для роздачі пального. На АЗС забезпечуються всі необхідні функції для заправки, зберігання та видачі пального з використанням відповідного обладнання. Відповідно на АЗС містяться небезпечні речовини — пальне (бензин, дизельне пальне), які згідно з міжнародними правилами

перевезення небезпечних речовин (ADR) віднесені до 3 класу небезпеки – легкозаймисті рідини, а також зріджений газ, який класифікується як надзвичайно горючий газ [57]. Основними джерелами небезпеки, пов'язаними із настанням небезпечної події - пожежі, вибуху парів внаслідок витоків нафтопродуктів та накопиченням парів пального в повітрі робочої зони, розливом нафтопродуктів, що пов'язано з обладнанням АЗС, де вони знаходиться (зберігаються та перекачуються) [58, 59].

Крім того, до небезпек на АЗС можна віднести усамітнену роботу оператора вночі, агресивну поведінку клієнтів, а також використання небезпечних хімічних речовин операторами (контакт палива зі шкірою, потрапляння в очі, вдихання парів пального налива [60]).

Проведений попередній аналіз ризиків, які впливають на життя і здоров'я працівників АЗС за допомогою методу HAZOP, дозволив визначити, що серед усіх виявлених небезпек найбільш небезпечною є ситуація з протіканням нафтопродуктів та накопиченням парів бензину у колонках. Це потребує більш деталізованого аналізу кожного процесу: транспортування, приймання, зберігання, відпуску та обліку нафтопродуктів на АЗС, що зручно зробити за методом FMEA, який дозволить, на відміну від інших підходів з оцінювання ризиків, визначити наскільки достовірно можна виявити дефект, який призведе до небезпечної ситуації.

Аналіз наведеної оцінки ризику (табл. 2.6 і 2.7) показує, що найбільш небезпечною ситуацією, яка може з високою ймовірністю привести до аварійної ситуації, є:

- накопичення парів бензину у колонках за наявності витоків нафтопродуктів внаслідок порушення герметичності з'єднань;
- відсутність захисного механізму від переливу пального;
- відсутність контролю за статичною електрикою;
- використання неправильного матеріалу для трубопроводу, що накопичує статику, спека і відсутність рекуперації;
- витoki пального унаслідок несправності.

Таблиця 2.6

Приклад аналізу небезпек, які впливають на життя і здоров'я працівників АЗС, та їх наслідків

Параметр	Ключове слово	Небезпеки	Небезпечна подія	Важкість наслідків	Ймовірність	Ризик	Запобіжні дії	Посилання
Резервуари	Більше	Витік пального Перелив нафтопродуктів. Накопичення парів пального в повітрі робочої зони. Розлив нафтопродуктів.	1. Токсичний вплив небезпечних парів 2. Створення хмари горючих парів. 3. Вибух. 4. Пожежа. 5. Перевищення допустимого значення тиску в резервуарі	Життя і здоров'я працівників АЗС, повна або часткова втрата працездатності (IV)	D	H	Використання спеціальних захисних засобів – заземлення паливозаправника перед початком зливу. Використання заземлення в зливній ванні – всі труби посипаються піском. При кожному розвантаженні паливозаправника готується пожежна техніка - вогнегасник ОП-50 або ОП-100 (на 50 або 100 кг порошку)	[3, 23, 24]

Колонка	Більше	Протікання нафтопродуктів. Накопичення парів бензину у колонках.	1. Токсичний вплив небезпечних парів. 2. Створення хмари горючих парів.	D	H	Забезпечення регулярної діагностики цілісності резервуарів і сполучених труб. Оснащення резервуарів і сполучених труб приладами для контролю тиску в системі.	[24]
	Частина	Енергія	3. Вибух. 4. Пожежа. 5. Порушена герметичність з'єднань у колонках.				D
Оператор	Більше	Агресивна поведінка клієнтів	Переживання стресу	B	L	Надання психологічної допомоги співробітникам для виходу зі стресу.	[23, 26]
						L	Заміна відеоспостереження на якісніше на всіх АЗС.

	Інше	Разова робота на АЗС вночі	Фізичне насилля		В	L	АЗС обладнана системою зв'язку з охоронною компанією. Співробітник на АЗС натискає кнопку 1 раз на годину згідно з інструкцією.	[27]
Працівник	Більше	Небезпечна хімічна речовина	Вибух балону		В	L	Інженерне проектування посудини, а також балонів В автомобілях , які не дозволяють наповнювати ємності більш ніж на 85%, інакше при нагріванні газ розширюється і посудина може вибухнути	

Таблиця 2.7

Розрахунок числа пріоритетності ризику при роботі на АЗС

№	Вид об'єкту	Опис та функція об'єкту	Опис можливої небезпеки	Опис можливої причини небезпеки	Опис можливих наслідків	Розрахунок числа пріоритетності ризику				Запобіжні заходи
						S	O	D	RPN	
1	Паливороздавальна колонка №1	Двостороння паливорозподільна колонка типу Quantum 500 TU (виробн. Tokheim), оснащена двома заправними коаксіальними шлангами з розподільними пістолями продуктивністю 40 л/хв.	Накопичення парів палива в повітрі робочої зони	Витіснення парів бензину з паливних баків автомобілів при їх заправці	Погіршення стану здоров'я працівника, забруднення довкілля	4	5	2	40	1. Забезпечити працівників переносними газоаналізаторами 2. Забезпечити уловлювання, відведення та рекуперацію парів бензину під час заправки
2			Перелив нафтопродуктів	Переповнення паливних баків при заправці автомобілів	Загорання колонки, автомобіля, опіки	6	4	2	48	1. Припинити заправку 2. Відключити електроенергію 3. Розлитий бензин протерти або засипати піском
3			Витоки нафтопродуктів	Витоки нафтопродукту з колонки, шлангів та з'єднань	Загорання колонки, автомобіля, опіки, тяжкі травми	7	4	3	84	1. Відключити колонку. 2. Викликати ремонтну службу. 2. Щозмінно здійснювати контроль стану арматури та з'єднання на шлангах паливороздавальних колонок
4			Накопичення парів бензину у колонках	Порушена герметичність з'єднань у колонках	Вибух паливо-повітряної суміші, загорання автомобіля, опіки, тяжкі травми	7	4	7	176	1. Обладнати колонки засобами автоматичного контролю вибухонебезпеки та вибухозахисту

5			Розлив нафтопродуктів	Випадковий розлив на землю нафтопродукту	Загорання колонки, опіки	6	3	3	54	1. Відключити електроенергію 2. Розлитий бензин протерти або засипати піском
6	Резервуар №1	Резервуар поділений на три секції і призначений для зберігання ДП, бензину та аварійного зливу: об'ємом 25 м ³ для зберігання ДП; об'ємом 25 м ³ для зберігання бензину А-95; для аварійного зливу нафтопродуктів передбачена секція об'ємом 4м ³ .	Витік нафтопродуктів із резервуару	Порушення герметичності резервуару внаслідок корозії	Забруднення підземних вод та ґрунту нафтопродуктами	4	4	6	96	1. Викликати аварійну службу 2. Звільнити територію АЗС від автомашин 3. Повідомити керівництву організації
7			Розлив нафтопродуктів	Протік і перелив при прийомі нафтопродуктів	Загорання розлитих нафтопродуктів, опіки	6	3	3	54	1. Припинити прийом нафтопродуктів 2. Відключити електроенергію 3. Розлитий бензин витерти або засипати піском
8			Перевищення допустимого значення тиску в резервуарі	Не спрацювання запобіжного клапану	Порушення цілісності резервуару, витік нафтопродуктів, забруднення підземних вод та ґрунту	4	3	6	72	1. Викликати ремонтну службу. 2. Не рідше двох разів на місяць здійснювати перевірку стану запобіжного клапану 3. Обладнати засобами автоматичного контролю перевищення тиску
9			Зменшення тиску в резервуарі нижче	Не спрацювання запобіжного клапану	Деформація корпусу, витік нафтопродуктів, забруднення підземних вод та ґрунту	4	3	6	72	1. Викликати ремонтну службу. 2. Не рідше двох разів на місяць здійснювати

			допустимої величини							перевірку стану запобіжного клапану 3. Обладнати засобами автоматичного контролю розрідження
10	Працівники, оператори	Надає клієнтам послуги із заправки автомобілів, приготування фаст-фуду та гарячих напоїв; робота з касовими апаратами, прийом пального - розвантаження паливозаправника	Агресивна поведінка клієнтів	Незадоволення якістю обслуговування, неадекватний психологічний стан	Переживання психологічного стресу	4	3	6	72	1. Надання психологічної допомоги співробітникам для виходу зі стресу. 2. Заміна відеоспостереження на якісніше на всіх АЗС.
11			Усамітнена робота вночі	Відсутність можливості допомоги з боку колег	Переживання фізичного насилля і психологічного стресу	6	3	3	54	1. АЗС обладнати системою зв'язку з охоронною компанією. 2. Співробітник натискає кнопку 1 раз на годину згідно з інструкцією.
12			Наїзд транспортного засобу	Неуважність пішоходів і водіїв	Черепно-мозкова травма, переломи, пошкодження внутрішніх органів	6	3	3	54	1. Нанести дорожню розмітку та встановити турнікети. 2. Встановлення достатнього освітлення та огороження. 3. Комбінезони працівників оснастити світловідбиваючими смугами

Саме ці перераховані чинники призводять до настання небезпечної події, яка має високу бальну оцінку внаслідок високих числових значень важкості наслідків та неспроможності своєчасно виявити перші ознаки настання небезпечної події. При цьому число пріоритетності ризику *RPN* становить 176, що перевищує 150 балів. На думку експертів, суттєвого зниження *RPN* можна досягнути шляхом удосконалення систем безпеки на АЗС, які забезпечать своєчасне виявлення небезпечних ситуацій, що збільшують ймовірність настання небезпечної події, а у разі їх появи дозволять зменшити наслідки завдяки своєчасному повідомленню про небезпечну ситуацію

До заходів, спрямованих на удосконалення систем безпеки за думкою експертів відносяться: система автоматичного контролю вибухонебезпечності газового середовища в колонках; системи визначення концентрації парів бензину; виявлення рівня електростатики; забезпечення пожежогасіння, евакуації персоналу; створення регульованої системи вентиляції; встановлення чітких ліній зв'язку для готовності до надзвичайних ситуацій; забезпечення щоденного навчання працівників відповідним знанням з безпеки.

Важливо зазначити, що встановлена величина пріоритетного ризику може бути значно збільшеною при опису сценарію, де відсутня система рекуперації в колонках [61], яка дозволяє зменшити ризик вибуху, особливо в умовах підвищених температур. Крім того, ще однією проблемою, яка виникає на АЗС внаслідок наявності парів бензину та їх вдихання операторами, що призводить до розвитку різноманітних захворювань (системне запалення легень, нирок, серцево-судинні зміни та, навіть, рак), якщо відразу не відбудеться отруєння ними [62].

Під час проведення оцінювання ризиків у різноманітних сферах діяльності, зокрема в промислових та технологічних процесах, зазвичай беруть до уваги дві ключові характеристики ризику: частоту його потенційного виникнення та величину можливих втрат або негативних наслідків, що можуть бути спричинені його реалізацією [63]. Проте, необхідно зазначити, що обидві ці характеристики, як правило, оцінюються експертами суб'єктивним шляхом, що

значною мірою залежить від досвіду, кваліфікації та професійних упереджень оцінювачів.

У практичній діяльності це часто призводить до ситуацій, коли можливі негативні наслідки недооцінюються, що, у свою чергу, зумовлює занижені значення ризику. Такі занижені оцінки можуть стати причиною прийняття помилкових рішень щодо заходів безпеки або рівня готовності до потенційних аварійних ситуацій [64]. З іншого боку, переоцінка ризику, тобто завищення його значень, також є неприйнятною та небажаною практикою, оскільки це може призвести до неоправданого збільшення фінансових витрат, пов'язаних із впровадженням додаткових, інколи зайвих заходів безпеки, а також до неефективного використання ресурсів підприємства чи організації [65].

Таким чином, оцінка ризику вимагає збалансованого підходу, який поєднує об'єктивні статистичні дані, результати інструментальних вимірювань та експертні судження, що дозволяє мінімізувати похибки, забезпечити обґрунтованість рішень і водночас уникнути як недооцінки, так і переоцінки потенційних небезпек. Разом з тим, як показав проведений аналіз ризиків, а також і проведений аналіз різних досліджень щодо виникнення небезпечних ситуацій [66], на АЗС основною причиною інцидентів являється є безвідповідальна поведінка операторів (працівників) [67], які часто не усвідомлюють всю загрозовість ситуації. Розуміння ризику являється є першочерговою задачею, вирішення якої забезпечить запобігання небезпечним подіям. Звідси, виникає декілька основних завдань. Перше, пов'язане із забезпечення постійного навчання працівників з формування ризик-орієнтованого мислення, а друге - створення таких систем безпеки, які зменшать вплив людського фактору на прийняття рішення при виконанні виробничих завдань.

На підставі проведеного аналізу та отриманих результатів було визначено, що найбільша ймовірність настання небезпечної події пов'язана саме з накопиченням парів бензину у колонках, що підтверджується низкою подібних досліджень з причин вибухів на АЗС. Разом з тим, у проаналізованих роботах

ця причина розглядається окремо, без урахування інших небезпечних чинників, які зможуть збільшити ймовірність настання небезпечної події [68]. Тому виникає необхідність у продовженні досліджень щодо взаємодії декількох небезпечних чинників, які можуть суттєво збільшити ймовірність небезпечної події. Таким чином, існує потенціал для подальших досліджень шляхом збору даних щодо ефективності застосування різних систем автоматизованого захисту з виявлення різноманітних окремих загроз та одночасного поєднання кількох. Крім того, для того, щоб з'ясувати взаємозв'язок між управлінням професійним ризиком і здоров'ям працівників, в результаті дослідження необхідно оцінити довгостроковий їх вплив на розвиток тих чи інших захворювань. Для досягнення цього завдання в майбутніх дослідженнях можна використовувати інші статистичні методи, зосереджені на довгостроковій ефективності управління.

Іноді судження є незрозумілими і не можуть бути кількісно виражені цифрами. Отже, в цих умовах виникає необхідність у застосуванні інших методів з оцінювання ризиків [69]. В даному дослідженні запропонований підхід оцінює лише прямі дані, у яких інформація та вихід точно відповідають один одному. Нажаль вони не можуть оцінити ризику, де вхідна і вихідна інформація безпосередньо не впливає одна на одну, а лише через певні проміжні події.

Висновки до розділу 2

1. У межах оцінки професійних ризиків, зумовлених шкідливими умовами праці, виділяються дві ключові завдання, що визначають необхідність систематичного аналізу ризиків на робочих місцях. Перше завдання полягає у здійсненні комплексної оцінки загального професійного ризику, що впливає на здоров'я працівників у контексті конкретних умов праці. Така оцінка є необхідною для обґрунтування заходів профілактичного характеру, а також для визначення пріоритетних напрямів інвестування у сфері охорони праці та підвищення рівня безпеки виробничих процесів. Друге завдання стосується

оцінки індивідуального ризику виникнення професійних захворювань у конкретних працівників, що дозволяє планувати цільові заходи профілактики та мінімізації можливих негативних наслідків для здоров'я персоналу. Обидва ці завдання є взаємопов'язаними та утворюють основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері охорони праці [63].

2. Для реалізації оцінки загального професійного ризику запропоновано використання матриці наслідків та ймовірностей, яка охоплює п'ять категорій, що характеризують серйозність наслідків потенційних подій, та п'ять категорій, що відображають ймовірність їх настання. Особливістю даної матриці є те, що бальна оцінка ймовірності події безпосередньо корелює з кратністю перевищення нормативно встановлених гранично допустимих значень факторів, що характеризують умови праці, що закріплені у відповідних нормативно-правових актах. Такий підхід дозволяє поєднати якісну та кількісну оцінку ризику, забезпечуючи більш об'єктивну картину потенційних загроз [64].

3. У якості прикладу наведено оцінку загального професійного ризику для здоров'я працівників, а також оцінку індивідуального ризику виникнення професійних захворювань пилової етіології. Ця оцінка проводиться безпосередньо на основі наявних матеріалів, таких як карти умов праці, що формуються за результатами атестації робочих місць. Такий підхід дозволяє планувати профілактичні заходи та обґрунтовувати конкретні рішення щодо зменшення ризику професійних захворювань у працівників [65].

4. Теоретичні дослідження демонструють, що при аналізі факторів професійного ризику у режимі потенційних небезпек доцільно враховувати три основні компоненти: тяжкість наслідків потенційної події (S), ймовірність виникнення відмови або інциденту (O), а також можливість своєчасного виявлення дефекту чи потенційної загрози (D). Взаємодія цих трьох показників дозволяє формувати більш точну і комплексну оцінку пріоритетності ризиків та визначати заходи для їх мінімізації [66].

5. Для практичної реалізації процесу управління ризиками на автозаправних станціях (АЗС) було розроблено методологію, яка поєднує підходи методу HAZOP та FMEA. Така інтеграція дозволяє прогнозувати можливі сценарії розвитку небезпечних подій за ключовими словами, оцінювати пріоритетність ризику та визначати величину ризику на основі ймовірності виявлення невідповідностей або потенційних загроз. У ході аналізу було розглянуто чотири основні сценарії виникнення небезпечної події, пов'язані як із технічними несправностями АЗС, так і з помилками та потенційно небезпечними діями операторів. Встановлено, що найвищий рівень ризику настання аварійної ситуації, зокрема вибуху або пожежі, може бути обумовлений накопиченням парів бензину у паливних колонках та порушенням герметичності з'єднань. На основі отриманих результатів розроблені рекомендації щодо зменшення ймовірності настання небезпечних подій, що передбачають удосконалення процесу управління ризиками шляхом поєднання загальноприйнятих методів оцінки та контролю ризиків [67].

Результати дослідження щодо питань розділу 2 відображено в роботах за участю автора [70-71].

Література до розділу 2

1. International Labour Organization (ILO). Safety and Health at the heart of the Future of Work: *Building on 100 years of experience (Report, Geneva)*. 2019. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_686645.pdf
2. ДСТУ ISO 45001:2019 Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ: УкрНДНЦ. 2019. 39 с. Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_45001_2019.pdf
3. Paltrinieri, N., Scarponi, G., Khan, F. & Hauge, S. (2014). Addressing dynamic risk in the petroleum industry by means of innovative analysis solutions. *Chemical Engineering Transactions*, 36, 451-456.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Addressing-dynamic-risk-in-the-petroleum-industry-Paltrinieri-Scarponi/1756d8c41cd76a694ab912488642c34708f1105>

4. Golinko, V., Chebryachko, S., Deryugin, O., Tretyak, O., & Dusmatova, O. (2020) Assessment of the Risks of Occupational Diseases of the Passenger Bus Drivers. *Safety and Health at Work*, 1(4): 543-549
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2093791120303097>

5. Wahyu, N.C., Trika, P., & Bagus, D. (2020). Risk Analysis Using Job Safety Analysis-Fuzzy Integration for Ship Maintenance Operation. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 31(3), 327-342.
<https://doi.org/10.12962/j20882033.v31i3.5655>

6. Lee, S., Landucci, G., Reniers, G. & Paltrinieri, N. (2019). Validation of Dynamic Risk Analysis Supporting Integrated Operations Across Systems. *Sustainability*, 11, 6745. <https://doi.org/10.3390/su11236745> .

7. Hu, Y. (2019). A New Mode of HSE Risk Management for Construction Projects. *Risk Management in Construction Projects*.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.84358>

8. Wahyu, N.C., Trika, P., & Bagus, D. (2020). Risk Analysis Using Job Safety Analysis-Fuzzy Integration for Ship Maintenance Operation. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 31(3), 327-342.
<https://doi.org/10.12962/j20882033.v31i3.5655>.

9. Голінько В.І., Гридяєв В.В. Прогнозування ризику виникнення професійних захворювань пилової етіології. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. 2022. №2(51). С. 25–34. Режим доступу: <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2022-2-25-34>.

10. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Режим доступу: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/2-9773-ohorona_praci_terminy.pdf.

11. Державні санітарні норми і правила. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища,

важкості та напруженості трудового процесу. Офіційний вісник України, 2014, 41. С. 95-132. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>.

12. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Управління ризиками. Методи загальної оцінки ризику (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). Київ: УкрНДНЦ. 2014. 80 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66723 . (In Ukrainian).

13. Yang, X., Haugen, S. & Paltrinieri, N. (2018). Clarifying the concept of operational risk assessment in the oil and gas industry. *Safety Science*, 108, 259-268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.019>.

14. Кружилко О.Є., Сторож Я.Б., Лютак З.І., Праховник Н.А. Методичні засади оцінки виробничого ризику при плануванні профілактичних заходів. Проблеми охорони праці в Україні, 2017, №33, с. 15-21: Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pop_2017_33_4.

15. Loh, T.Y., Brito, M.P., Bose, N., Xu, J., & Tenekedjiev, K. A (2019). Fuzzy-Based Risk Assessment Framework for Autonomous Underwater Vehicle Under-Ice Missions. *Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis*, 39(12), 2744–2765. <https://doi.org/10.1111/risa.13376> .

16. НПАОП 10.0-5.08-04. Інструкція з виміру концентрації пилу в шахтах та обліку пилових навантажень. Режим доступу: https://pdf.sop.zp.ua/npaop_10_0-5_08-04.pdf.

17 ДСТУ EN 1827:2017 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Напівмаски без клапанів вдиху та з віддільними фільтрами для захисту від газів або газів та аерозолів, або тільки від аерозолів. Вимоги, випробування, маркування (EN 1827:1999 + A1:2009, IDT). Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 15 с. Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75559.

18. Чеберячко С.І., Фрундін В.Ю., Чеберячко Ю.І. та ін. Експериментальні дослідження впливу параметрів мікроклімату на працездатність людини під час використання фільтруючих респіраторів. *Український журнал з проблем медичної праці*, 2017, №4. С. 54-58. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ujpmpp_2017_4_7

19. Yuan, S., Yang, M., Reniers, G., Chen, C. & Wu, J. (2022). Safety barriers in the chemical process industries: A state-of-the-art review on their classification, assessment, and management. *Safety Science*, 148, 105647. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105647>.

20. Liu, R., Liu, H.-C., Shi, H. & Gu, X. (2023). Occupational health and safety risk assessment: A systematic literature review of models, methods, and applications. *Safety Science*, 160, 106050. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.106050>.

21. Paltrinieri, N., Comfort, L. & Reniers, G. (2019). Learning about risk: Machine learning for risk assessment. *Safety Science*, 118, 475-486. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.06.001>.

22. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік. К.: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, 2017. 433 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-Ukrayini.html>

23. НАПБ В.01.058-2008/112. Про затвердження Правил пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 658 від 24.12.2008 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0235-09>

24. НАПБ 05.039-2008. Інструкція з проектування та будівництва автоматичних установок з гасіння пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 289 від 06.05.2008 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=71123

25. НАПБ 05.035-2004. Протипожежний захист складів легкозаймистих та горючих рідин на підприємствах паливно-енергетичного комплексу. Інструкція з проектування, будівництва на експлуатації : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 40 від 28.01.2002 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/950/Nafta-Instrukcia8S.pdf

26. НАПБ В.02.011-2012/111. Про затвердження та введення в дію нормативного документа «Зберігання нафти, газу, конденсату. Пожежна безпека. Основні положення» : Наказ Міністерства палива та енергетики України № 213 від 24.04.2007 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ua-info.biz/legal/baseuw/ua-qmwfhe.htm>

27. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: Наказ МНС України № 35 від 16.02.2004 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://text.normativ.ua/doc9538.php>

28. Yinchang Li, Yang Du, Peili Zhang. Experimental study on inert replacement ventilation of oil vapor in oil tank. *Department of Petroleum Supply Engineering, Logistical Engineering University, Chongqing 401311, China*. 2012. 45. P. 546–551.

29. Hoshino Makoto, Hayashi Koji. Extinguishing abilities of fire-fighting foams for petroleum tank fires. *Bulletin Japan Association Fire Science and Engineering*. 1990. 39, № 2. Pp. 9–17.

30. Голінько В.І. Соціально-економічний моніторинг умов праці. Навчальний посібник – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 150 с.

31. Колосюк А.В., Колосюк В.П. Вибухонебезпека систем електропостачання гірничих машин на шахтах, небезпечних за раптовими викидами вугілля і газу. Монографія // Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2017. – 178 с.

32. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України. 2015. 74 с. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=66723.

33. Завгородня, Г.А., Корнага, Я.І., Мухін, В.Є., Завгородній, В.В., Базака, Ю.А. (2019). Моделювання сценаріїв аварійних ситуацій на автомобільних газозаправних станціях. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, 30(69/1), 92-97. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.5-1/14>.

34. Антропченко, А.К., Бойченко, С.В., Радомская, М.М., Черняк, Л.М.. (2015). Оцінка неонкологічного ризику для здоров'я населення від викидів

вуглеводнів з резервуару типової АЗС. Наукоємні технології, 4(28), 358-362. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.28.9683>.

35. Радомська, М.М. (2015). Аналіз ризиків для здоров'я, пов'язаних з діяльністю паливозаправних об'єктів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 12, 85-91. Режим доступу: <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/382>.

36. Isaac, N., Saha, A.K. (2023). A Review of the Optimization Strategies and Methods Used to Locate Hydrogen Fuel Refueling Stations. *Energies*, 16, 2171. <https://doi.org/10.3390/en16052171>.

37. Park, B., Kim, Y., Lee, K., Paik, S., Kang, C. (2021). Risk Assessment Method Combining Independent Protection Layers (IPL) of Layer of Protection Analysis (LOPA) and RISKCURVES Software: Case Study of Hydrogen Refueling Stations in Urban Areas. *Energies*, 14, 4043. <https://doi.org/10.3390/en14134043>.

38. Kwak, J., Lee, H., Park, S., Park, J., Jung, S. (2023). Risk Assessment of a Hydrogen Refueling Station in an Urban Area. *Energies*, 16, 3963. <https://doi.org/10.3390/en16093963>.

39. Zhang, J., Zhang, S., Liang, Z., Lang, X., Shi, M., Qiao, J., Wei, J., Dai, H., Kang, J. (2024). A Risk Assessment Method Based on DEMATEL-STPA and Its Application in Safety Risk Evaluation of Hydrogen Refueling Stations. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50(1), 889-902. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.250>.

40. Gye, H.-R., Seo, S.-K., Bach, Q.-V., Ha, D., Lee, C.-J. (2019). Quantitative risk assessment of an urban hydrogen refueling station. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(2), 1288-1298. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.035>.

41. Oulehlová, A.; Tušer, I.; Řehák, D. (2021). Environmental Risk Assessment of a Diesel Fuel Tank: A Case Study. *Sustainability*, 13, 6537. <https://doi.org/10.3390/su13126537>.

42. Xu, Y., Xu, H., Qi, M., Li, B., Feng, W., Zhang, T., Chen, M., Hu, M., Liu, Y. (2024). Accident Scenarios Screening for Integrated Energy Supply Stations.

International Journal of Hydrogen Energy, 51, 1038-1054.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.203>.

43. Ghaleh, S., Omidvari, M., Nassiri, P., Momeni, M., Mohammadreza, S., Lavasani, M. (2019). Pattern of safety risk assessment in road fleet transportation of hazardous materials (oil materials). Safety Science, 116, 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.02.039>.

44. Dadsena, K., Naikan, V.N.A., Sarmah, S.P. Ranking of factors by using IT2 Fuzzy FMEA for a trucking industry. Conference Annual meet Production and Operations Management (POMS). Orlando, USA. 05-09.5.2016. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/331153513_Ranking_of_factors_by_using_IT2_Fuzzy_FMEA_for_a_trucking_industry.

45. Sakno, O., Kolesnikova, T., Ollo, V. (2020). Simulation of Vehicle Maintenance on the Basis of Functional Resonance Analysis Method using Function-Oriented Technology. Acta Mechanica Slovaca, 24, 3, 10-19.
<https://doi.org/10.21496/ams.2020.032>.

46. Shariff, A., Bonnefon, J.-F., Rahwan, I. (2021). How safe is safe enough? Psychological mechanisms underlying extreme safety demands for self-driving cars. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 126, 103069.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103069>.

47. Council Directive 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. Official Journal of the European Union L 183, 29/6/1989. P. 1-8. Режим доступа: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/2>.

48. Standard ISO 45000 Family occupational health and safety. 2018. Режим доступа: <https://www.iso.org/iso-45001-occupational-health-and-safety.html>.

49. Standard ISO 39001:2012 Road traffic safety management systems. - Requirements with guidance for use. 2018. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/44958.html>.

50. Standard IEC 31010: 2019 Risk management - Risk assessment techniques. 2019. 264 P. Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/72140.html>.

51. Gleirscher, M., Cârlan, C. Arguing from Hazard Analysis in Safety Cases: A Modular Argument Pattern. Conference: High Assurance Systems Engineering (HASE), 18th Int. Symp. Singapore, 18, <https://doi.org/10.1109/HASE.2017.15>.

52. Standard IEC 60812:2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA). 165 p. Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/26359>.

53. Shankar, R., Choudhary, D., Jharkharia, S. (2018). An integrated risk assessment model: A case of sustainable freight transportation systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 662-676. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.07.003>.

54. Golinko, V., Cheberyachko, S., Deryugin, O., Tretyak, O., Dusmatova, O. (2020). Assessment of the Risks of Occupational Diseases of the Passenger Bus Drivers. *Safety and Health at Work*, 11(4), 543-549. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.07.005>.

55. Bazaluk, O., Koriashkina, L., Cheberiyachko, S., Deryugin, O., Odnovol, M., Lozynskyi, V., Nesterova, O. (2022). Methodology for assessing the risk of incidents during passenger road transportation using the functional resonance analysis method. *Heliyon*, 8(11), E11814. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11814>.

56. Stowers, K., Oglesby, J., Sonesh, S., Leyva, K., Iwig, C., Salas, E.A. (2017). Framework to guide the assessment of humanmachine systems. *Human Factors*, 59, 2, 172-188. <https://doi.org/10.1177/0018720817695077>.

57. Левчук К.О., Романюк Р.Я. (2019). Методика планування заходів цивільного захисту на потенційно небезпечних об'єктах. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*, 1(34), 146-150. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.34.2019.28>.

58. Маховський, В.О., Крюковська, О.А., Романюк, Р.Я. (2019). Аналіз причин виникнення та ймовірного сценарію розвитку аварій при розвантаженні нафтопродуктів на автозаправних станціях. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*, 2(35), 109-114. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.35.2019.55>.

59. Тютюнник, Я.С. (2012). Аналіз небезпек пов'язаних з роботою автозаправних станцій. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 85, 217–222. Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/85/217-222.pdf.

60. Cezar-Vaz, M.R., Rocha, L.P., Bonow, C.A., Silva, M.R., Vaz, J.C., Cardoso, L.S. (2012). Risk perception and occupational accidents: a study of gas station workers in southern Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(7), 2362-77. <https://doi.org/10.3390/ijerph9072362>.

61. Yang, M., Li, T., Feng, X., Rong, B.-G., Wang, Y. (2022). Retrofit of an industrial solvent recovery system: Distillation sequence intensification and simulation-based optimization. *Chemical Engineering Research and Design*, 180, 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.02.020>.

62. Gao, X., Wang, P., Hu, Y., Cao, Y., Yuan, W., Luan, Y., Quan, C., Zhou, Z., Zou, H. (2023). Exposure Concentrations and Inhalation Risk of Submicron Particles in a Gasoline Station - A Pilot Study. *Sustainability*, 15, 9455. <https://doi.org/10.3390/su15129455>.

63. Jafari, M.J., Saghi, F., Alizadeh, E., Zayeri, F. (2019). Relationship between risk perception and occupational accidents: a study among foundry workers. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, 94, 24. <https://doi.org/10.1186/s42506-019-0025-6>.

64. Neissi, A., Hashemi Sheykhshaba, E., Rahimi Pordanjani, T., Arshadi, N., Beshlideh, K. (2013). Investigating personal, cognitive and organizational variables as predictors of unsafe behaviors among line workers in an industrial company. *Journal of Health and Safety at Work*, 3(2), 13-26. Режим доступу: <http://jhsw.tums.ac.ir/article-1-5061-en.html>.

65. Baby, T., Madhu, G., Renjith, V.R. (2021). Occupational electrical accidents: Assessing the role of personal and safety climate factors. *Safety Science*, 139, 105229. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105229>.

66. Yang, G., Zhang, Y., Li, X. (2020). Impact of gasoline upgrade policy on particulate matter pollution in China. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121336. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121336>.

67. Li, F., Pan, Y. (2021). Research on Influencing Factors of Service Interactive Experience of Digital Gas Station—The Case from China. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 16, 2151-2169. <https://doi.org/10.3390/jtaer16060120>.

68. Mitkowski, P.T., Bal, S.K. (2015). Integration of Fire and Explosion Index in 3D Process Plant Design Software. *Chemical Engineering & Technology*, 38, 1212-1222. <https://doi.org/10.1002/CEAT.201400644>.

69. Fuentes-Bargues, J.L., González-Cruz, M.C., González-Gaya, C., Baixauli-Pérez, M.P. (2017). Risk Analysis of a Fuel Storage Terminal Using HAZOP and FTA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 705. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070705>.

70. V.I. Golinko, V.A. Zabelina, S.I. Cheberyachko, O.V. Deryugin, O.V. Stanislavchuk. Analysis of reasons occurrence of dangerous situations during the operation of gas stations // *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*. 2024, №29. C. <https://doi.org/79-92 10.32447/20784643.29.2024.09>

71. V.I. Golinko, V.A. Zabelina. Features of the assessment of occupational risks under hazardous working conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2024, №4. 94-99. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-4/086>

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ, СПРЯМОВАНИХ НА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ УМОВ ПРАЦІ ТА ВИБУХОБЕЗПЕЧНОСТІ ОБ'ЄКТІВ

3.1. Обґрунтування методу контролю вмісту парів бензину в повітрі робочої зони

Однією з ключових завдань, яку визначає Міжнародна організація праці (МОП) для роботодавців у сфері охорони здоров'я та безпеки працівників, є забезпечення створення гідних, безпечних та здорових умов праці на всіх рівнях діяльності підприємства, організації чи установи [1]. Виконання цього завдання потребує системного підходу, що включає застосування сучасних технологічних і організаційних рішень, серед яких особливе місце займає впровадження інформаційних систем моніторингу умов праці. Основною складовою таких систем є автоматизовані комплекси безперервного контролю, що забезпечують спостереження за параметрами виробничого середовища, викидами шкідливих речовин в атмосферу та безпечністю технологічних процесів. Важливо, що ці системи повинні бути інтегровані з існуючими екологічними моніторинговими системами та інформаційними платформами технологічної безпеки для забезпечення комплексного підходу до охорони праці та захисту довкілля [2,3].

Особливу увагу слід приділити таким об'єктам, як автозаправні станції (АЗС) та сховища паливних матеріалів, які відносяться до категорії підвищеної небезпеки. На цих об'єктах широко застосовуються хімічні речовини, здатні завдавати шкоди як здоров'ю працівників, так і стану навколишнього середовища. Конструктивно АЗС включають будівлі, технологічне устаткування та спеціалізоване обладнання, основне призначення якого полягає у прийомі, зберіганні та видачі нафтопродуктів транспортним засобам. Суттєвою особливістю таких об'єктів є часткове розміщення технологічного устаткування на відкритих майданчиках, що сприяє розсіюванню парів бензину

та інших нафтопродуктів в атмосферу, які за допомогою природних повітряних потоків можуть потрапляти у приміщення АЗС та будівлі, розташовані на прилеглий території [4].

З точки зору хімічної безпеки, бензин є не лише легкозаймистою рідиною, здатною формувати вибухонебезпечні суміші з повітрям навіть за нормальних умов експлуатації, а й речовиною, яка при потраплянні парів у дихальні шляхи людини чинить токсичний вплив на організм [5]. Тривалий вплив концентрацій парів бензину в повітрі робочої зони на рівні 250–300 мг/м³ може спричинити порушення роботи травної системи, печінки та підшлункової залози, негативно впливати на репродуктивну функцію та загальний стан здоров'я працівника. Крім того, продукти розпаду бензину є шкідливими і для навколишнього середовища, що підкреслює необхідність строгого контролю за концентраціями цих речовин [6].

У зв'язку з цим в Україні встановлені нормативні гранично допустимі концентрації (ГДК) парів бензину: максимальна разова концентрація бензину у повітрі робочої зони та в санітарно-захисній зоні об'єктів нафтопродуктозабезпечення не повинна перевищувати 100 мг/м³, а середньодобова концентрація бензину в повітрі населених пунктів — 1,5 мг/м³. Дотримання цих нормативів є ключовим фактором забезпечення безпечних умов праці та мінімізації ризику виникнення шкідливих ефектів для здоров'я персоналу та населення, а також збереження екологічної безпеки [6].

Для попередження шкідливого впливу парів бензину на працівників АЗС та довкілля необхідно здійснювати постійний моніторинг умов праці та стану атмосфери в санітарно-захисній зоні АЗС. Основними і найбільш важливими елементами системи моніторингу є засоби контролю вмісту парів нафтопродуктів в повітрі робочої зони та в санітарно-захисній зоні АЗС. Складні умови їх експлуатації, вплив температури, вологості, зміна тиску, складу паливоповітряної суміші, забруднення пилом та компонентами палива можуть впливати на працездатність та стабільність їх роботи.

Для забезпечення ефективного контролю вибухонебезпечності технологічного середовища, а також визначення концентрації парів бензину як у приміщеннях, так і на території автозаправних станцій (АЗС), у санітарно-захисних зонах та атмосфері населених пунктів, застосовуються різноманітні методи та прилади [7]. Серед них слід виокремити такі технології: оптичний метод, полум'яно-іонізаційний, фото-іонізаційний, хроматографічний, а також рефрактометричний, термокаталітичний та напівпровідниковий способи вимірювань [2,7,8,9,10].

Деякі з цих методів, зокрема полум'яно-іонізаційний та хроматографічний, інтегруються у високочутливі та досить складні прилади, що забезпечують точне визначення низьких концентрацій парів нафтопродуктів. Такі пристрої здебільшого використовуються у системах моніторингу забруднення атмосфери населених пунктів, а також у періодичному контролі шкідливих речовин у повітрі робочих зон під час атестації робочих місць за умовами праці. Водночас, їх застосування в автоматизованих системах контролю умов праці є економічно недоцільним через високу вартість та складність обслуговування.

Простішими та більш доступними за конструкцією і ціною є напівпровідникові (металооксидні) датчики [10]. До їхніх основних переваг відносять високу чутливість, надійність та тривалий термін експлуатації. Однак такі датчики проявляють певні обмеження: при дії високих концентрацій парів або газів поступово знижується їхня чутливість. Крім того, напівпровідникові сенсори демонструють різну чутливість до компонентного складу бензину, що ускладнює точну оцінку концентрацій у змішаних середовищах. Аналогічні обмеження характерні і для оптичного методу, де крім складного впливу на результати вимірювань температури, тиску, вологості та присутності газових домішок, спостерігається значний розмір датчиків, що ускладнює їх інтеграцію в компактні автоматизовані системи.

На сьогодні в системах автоматичного контролю вибухонебезпечності газового середовища найбільш поширеним є термокаталітичний метод [11]. Його популярність обумовлена простотою конструкції датчиків, невеликими

габаритами, відносно низькою вартістю, а також можливістю їх дистанційного розміщення у приміщеннях і на території АЗС із подальшою інтеграцією у єдиний вимірювальний комплекс. Термокаталітичні датчики відзначаються тривалим терміном експлуатації та мінімальною чутливістю до змін газового складу повітря, вологості, пилу і температури. За умов невисоких концентрацій парів бензину вони дозволяють отримати інтегральну характеристику вибухонебезпечності середовища.

Незважаючи на численні переваги, термокаталітичний метод поки що не застосовується у системах автоматичного безперервного контролю умов праці. Основною причиною є відносно низька стабільність нульових показань при контролі концентрацій парів бензину в межах ГДК, що потребує періодичної калібрування і встановлення нуля вимірювального моста з термокаталітичним датчиком. В умовах наявності парів бензину у повітрі АЗС забезпечити використання чистого повітря для калібрування практично неможливо, що обмежує ефективність безперервного моніторингу. Так, для періодичної перевірки «нуля» сигналізаторів-аналізаторів газів переносних багатокомпонентних ДОЗОР-С-М [12] використовуються перевірна газова суміш яка не вміщує горючих газів і парів (чисте повітря). За регламентованої періодичності перевірки та корегування «нуля» - 30 днів і контролі концентрації горючих газів в діапазоні $0 - 300 \text{ мг/м}^3$, нормована абсолютна похибка вимірювання цього аналізатора складає $\pm 75 \text{ мг/м}^3$ (за метаном), що практично співставно з ГДК парів бензину в повітрі робочої зони. Для зниження похибки вимірювання необхідно суттєво зменшити періодичність перевірки та корегування «нуля», що за використання перевірочних сумішей нереально.

У роботі [7] запропонована конструктивно-технологічна схема газоаналізатора, яка забезпечує можливість використання атмосферного повітря як еталонного газу для встановлення нульового рівня приладу. Досягнення цього результату забезпечується шляхом періодичного попереднього окислення парів палива, що містяться в атмосферному повітрі, у спеціально розробленій

термокамері, після чого очищене повітря застосовується як перевірочний газ для калібрування аналізатора. Такий підхід дозволяє проводити автоматичне встановлення нуля, проте реалізація цієї схеми значно ускладнює конструктивні та функціональні компоненти системи контролю. Крім того, у цьому випадку не повністю виключається вплив змін температури газової суміші після термокамери, а також продуктів окислення на достовірність нульових показань аналізатора, що може впливати на точність вимірювань у межах малих концентрацій.

Іншим підходом, запропонованим для підвищення надійності систем вибухозахисту, є регулювання нульових показників аналізатора шляхом зміни напруги живлення термоелементу до такого рівня, при якому реакція окислення горючого газу на робочому термоелементі фактично не відбувається [11]. Такий метод дозволяє програмно реалізувати перевірку та коригування нульових показань без необхідності додаткових складних конструктивних елементів у датчику, що значно спрощує експлуатацію системи та підвищує її надійність у довгостроковому використанні.

Водночас слід зазначити, що ефективність та точність використання подібного підходу для контролю концентрації парів бензину у повітрі робочої зони в межах граничнодопустимих концентрацій (ГДК) наразі недостатньо досліджена. Науково-технічна оцінка цього рішення потребує подальшого експериментального підтвердження, зокрема щодо впливу низьких концентрацій бензинових парів, зміни температури та вологості повітря на стабільність нульових показань газоаналізаторів.

У газоаналізаторах термокаталітичні датчики, як правило, включаються в мостову вимірювальну схему. На практиці частіш застосовують мостові вимірювальні схеми з послідовним розташуванням робочого та порівняльного елемента в одній гілці вимірювального моста [11], а також з включенням чутливих елементів в різні гілки вимірювального моста [7]. Установка «нуля» вимірювального моста здійснюється шляхом його балансування при подачі до датчика чистого повітря.

В ідеальному випадку при ретельному виготовленні термокаталітичних датчиків, що забезпечує ідентичність характеристик каталітично активного та компенсаційного елементів, метод має високу чутливість; на результати вимірювання не впливають температура, тиск, склад атмосфери, а також коливання напруги, що живить термогрупу (у невеликих межах). Однак, при практичній реалізації методу, дуже важко досягти ідентичності характеристик елементів і тому всі технічні засоби, що випускаються, мають відносно велику похибку вимірювання.

При відсутності в повітрі горючих парів та газів теоретична залежність величина напруги на чутливих елементах термокаталітичного сенсора від струму, що протікає через них має вигляд [11]

$$U_e = I_e R_{ez} + \beta b_e R_{0e} I_e^3. \quad (3.1)$$

де U_e - напруга на термоелементі, В; I_e - струму, що протікає через чутливий елемент, А; R_{ez} - величина опору елемента за фактичної температури повітря, Ом; β - температурний коефіцієнт опору елемента, $1/^\circ\text{C}$; b_e - терморезистивний коефіцієнт елемента, $^\circ\text{C}/\text{A}^2$; R_{0e} - величина опору елемента при температурі 0°C , Ом;

Величина опору елемента за фактичної температури повітря для резистора із платини визначається як

$$R_{ez} = R_{0e}(1 + \beta t_z), \quad (3.2)$$

де t_z – фактичне значення температури, $^\circ\text{C}$.

Виходячи з виразів (3.1) і (3.2) при послідовному включенні робочого p і порівняльного n елементів напруга на них відповідно буде складати:

$$U_p = I_e R_{0p}(1 + \beta t_z) + \beta b_p R_{0p} I_e^3, \quad (3.3)$$

$$U_n = I_e R_{0n} (1 + \beta t_z) + \beta b_n R_{0n} I_e^3. \quad (3.4)$$

У робочому режимі сенсора, коли через термоелементи протікає струм I_e , через неідентичність вольтамперних характеристик окремих елементів виникає різниця потенціалів ΔU . Виходячи з рівнянь (3.3) та (3.4), ця різниця визначається як:

$$\Delta U = U_p - U_n = I_e (R_{0p} - R_{0n}) (1 + \beta t_z) + \beta I_e^3 (b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (3.5)$$

Величина ΔU є ключовим параметром для оцінки неоднорідності та чутливості термокаталітичного сенсора, оскільки вона відображає відмінності в електротермічних характеристиках термоелементів і безпосередньо впливає на точність вимірювань концентрації горючих парів.

У існуючих термокаталітичних газоаналізаторах вимірювальні схеми з термокаталітичних датчиками зазвичай живлять стабільною напругою. Однак при таких схемах включення зміна температури навколишнього середовища призводить до зміни температурних режимів термоелементів, що обумовлює суттєву похибку вимірювання. Зменшити цю похибку можливо при застосуванні схем увімкнення, що забезпечують стабільний температурний режим термоелементів при зміні температури газового середовища. У цьому відношенні представляють інтерес схеми включення датчиків зі стабілізацією напруги на порівняльному термоелементі, що забезпечує незмінність його температурного режиму за умов експлуатації [11].

При використанні сучасних мікроконтролерів для збереження інформації та її обробки процедура установки «нуля» здійснюється, як правило, програмним шляхом за командами з табло аналізатора при подачі до датчика чистого повітря [13]. Визначене значення ΔU запам'ятовується і за робочого режиму враховується при визначенні концентрації парів пального в повітрі.

Аналіз функціонального виразу (3.5) демонструє, що виникнення різниці потенціалів ΔU між робочим та порівняльним термоелементами може обумовлюватися декількома взаємопов'язаними факторами. По-перше, зміни величини електричного струму, який протікає через термоелементи, безпосередньо впливають на рівень напруги, що формується на них. По-друге, коливання температури навколишнього повітря викликають відповідні зміни опору термоелементів, оскільки їх електротермічні характеристики є температурозалежними. По-третє, додатковий вплив на величину ΔU може надавати нестабільність фізичних параметрів термоелементів, зокрема коливання значень їх опору або терморезистивних коефіцієнтів, що характеризують зміну опору елемента при зміні температури. У сукупності ці фактори створюють динамічне середовище, в якому показники ΔU стають чутливими до як зовнішніх, так і внутрішніх параметрів сенсора, що суттєво впливає на точність вимірювання концентрації горючих парів у повітрі [11].

Проаналізуємо характер зміни першої складової у виразі (3.5) для випадку зміни температури середовища, наприклад для випадку коли установка нуля здійснювалась за температури повітря 0°C , а вимірювання здійснюється за температури 10°C . При використанні традиційної схеми живлення термоелементів зі стабілізацією напруги така зміна температури призведе до збільшення множника $(1 + \beta t_2)$ на 4% (враховуючи, що для платини $\beta = 0,0039$), а також, зважаючи на квадратичний характер залежності тепловиділення від величини струму, це призведе до зменшення струму на 2%. Різноспрямований характер зміни цих множників свідчить про певні автостабілізаційні властивості цієї схеми живлення, проте, незважаючи на це, зміна температури контрольованої суміші в такому разі призводить до зміни величини цієї складової виразу (3.5) біля 0,2% на кожен 0°C . При використанні схеми живлення термоелементів від джерела стабільного струму така зміна температури призведе до зміни величини цієї складової біля 0,4% на кожен 0°C . Мінімізувати вплив зміни температури на величину першої складової можна при використанні режиму живлення датчика зі стабілізацією величини напруги

на порівняльному елементі, який рекомендовано в [11] для живлення термокондуктометричних датчиків. За таких умов збільшення множника $(1 + \beta t_2)$ при зростанні температури фактично повністю компенсується за рахунок відповідного зменшення величини струму через термоелементи.

Друга складова у виразі (3.5) залежить від величини струму і різниці добутків опорів елементів на їх терморезистивні коефіцієнти. ΔU ΔU Терморезистивний коефіцієнт є ключовим параметром, який описує комплексний взаємозв'язок між електричними характеристиками термоелемента, його тепловими властивостями та геометричними розмірами. Він відображає чутливість опору термоелемента до змін температури, що дозволяє визначати, як коливання температури впливають на електричні показники сенсора. У більшості випадків, при проведенні аналізу теплових процесів у межах певного робочого діапазону температур, терморезистивний коефіцієнт приймають за постійне значення, що спрощує математичне моделювання та дозволяє забезпечити коректну оцінку напруги та струму в термоелементах без необхідності врахування їхніх незначних температурних варіацій [11]. На перший погляд, при живленні термоелементів від джерела стабільного струму ця складова не буде залежати від температури. Таке припущення в цілому прийнятне при використанні термокаталітичних датчиків в системах вибухозахисту. В нашому випадку нехтувати зміною величини терморезистивних коефіцієнтів при зміні температури середовища недопустимо.

В малогабаритних термокаталітичних датчиках тепло, що виділяється в термоелементі, відводиться в довкілля в основному шляхом теплопровідності повітря та випромінювання [11]. По мірі зростання температури термоелемента зростає як теплопровідність повітря так і радіаційна складова теплообміну, що, в свою чергу зменшує приріст температури на одиницю споживаної потужності і, відповідно, зменшує величини терморезистивних коефіцієнтів. Тому, при живленні термоелементів як від джерела стабільного струму так і від джерела постійної напруги, незмінність другої складової виразу (3.5) не забезпечується.

При використанні режиму живлення датчика зі стабілізацією напруги на порівняльному елементі, зі збільшенням температури повітря, знижується величина струму через термоелементи I_e і в той же час зменшується різниця температур між термоелементом і газодифузійним фільтром, а це, в свою чергу, призводить до збільшення приросту температури на одиницю споживаної потужності i , відповідно, збільшує величину терморезистивного коефіцієнта.

Що стосується факторів, пов'язаних із нестабільністю електричного опору термоелементів та варіабельністю їхніх терморезистивних коефіцієнтів, то вони можуть проявлятися переважно під час тривалої експлуатації сенсорів у середовищах з високими концентраціями парів палива. Така нестабільність обумовлена кількома фізико-хімічними процесами: випаровуванням платини з поверхні чутливих елементів при перегріві, накопиченням продуктів термічної деструкції вуглеводнів на поверхні термоелементів, а також потенційними мікрodefектами металевої плівки, що з часом виникають під дією високих температур і агресивного газового середовища [13]. Водночас, при виконанні контролю концентрацій парів бензину у межах гранично допустимих концентрацій (ГДК) вплив цих факторів на результати вимірювань є практично незначним і не призводить до істотних похибок.

Ще одним перспективним шляхом підвищення надійності систем автоматичного вибухозахисту є використання процедури контролю та корекції нульових показань аналізаторів. Цей метод передбачає зниження напруги живлення термогрупи до такого рівня, при якому реакція окислення горючого газу на робочому термоелементі не відбувається [4]. Такий підхід дозволяє реалізувати перевірку та коригування нульових показників програмним способом, без додаткового ускладнення конструкції сенсорів та їх апаратної частини, що значно підвищує надійність роботи системи в реальних умовах експлуатації.

Розглянемо можливість впровадження такої діагностики за допомогою сучасних мікроконтролерів, які дозволяють не тільки зберігати отримані дані, а й здійснювати їх комплексну обробку для оперативного контролю та корекції

показань. На рис. 3.1 наведено приклад вольтамперних характеристик порівняльного термоелемента 1 та робочого термоелемента 2 у відсутності горючих парів у газовій суміші, а також вольтамперну характеристику робочого термоелемента 3 за наявності парів палива в повітрі. Для наочності графіки обрані з більш суттєвим зміщенням характеристик, хоча на практиці реальні зміни напруги за робочих умов є на порядок менші. При значенні струму через термоелементи I_e , що відповідає робочому режиму сенсора, а також за відсутності пального у газовій суміші, різниця напруг між робочим та порівняльним термоелементами визначається за рівнянням (3.5), враховуючи неідентичність їхніх вольтамперних характеристик.

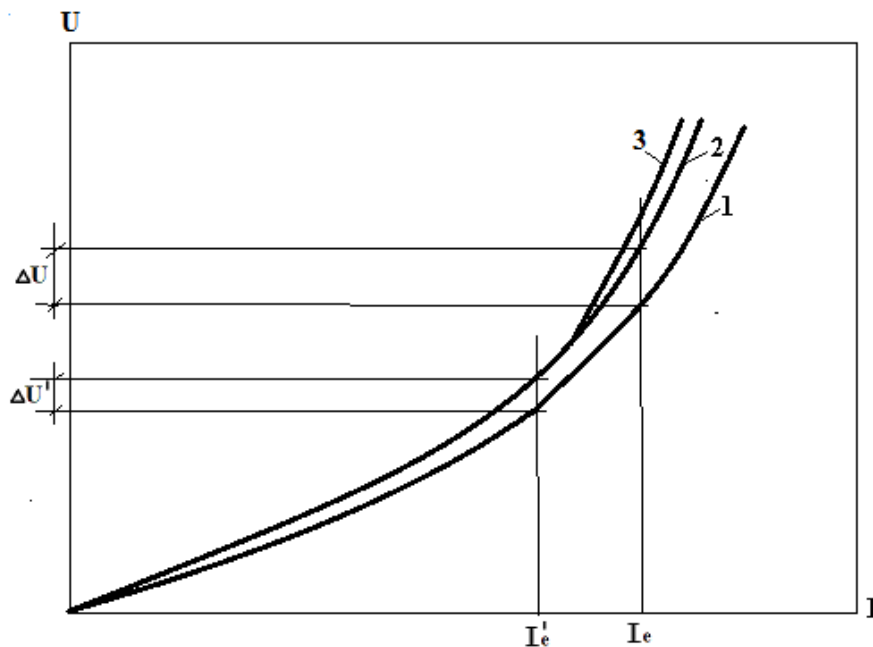


Рис. 3.1. Вольтамперні характеристики термоелементів: 1 – порівняльного елемента; 2, 3 – робочого елемента, при відсутності і наявності парів пального, відповідно.

У випадку, коли температура попереднього прогріву термоелементів зменшується до такого рівня, при якому на робочому термоелементі припиняється протікання реакції каталітичного окислення горючого палива, величина струму через елементи приймає значення I_e' , що відповідає режиму відсутності хімічної взаємодії на поверхні чутливого елемента. У такому стані різниця потенціалів (напруги) між робочим та порівняльним термоелементами

стабілізується та набуває величини, яка характеризує електричний баланс системи у режимі «нульового» контролю. Такий підхід дозволяє забезпечити коректну калібровку сенсора та перевірку його нульових показань без виникнення додаткових реакцій окислення, що особливо важливо при контролі концентрацій парів палива в межах гранично допустимих значень. В результаті, застосування цієї методики сприяє підвищенню точності вимірювань, стабілізації показників сенсорів і надійності автоматизованих систем вибухозахисту [11].

$$\Delta U' = U'_p - U'_n = I'_e(R_{0p} - R_{0n})(1 + \beta t_z) + \beta I_e'^3 (b_p R_{0p} - b_n R_{0n}). \quad (3.6)$$

В останньому випадку (3.6) ця різниця напруги не залежить від наявності парів палива в повітрі і за її величиною може бути розраховано значення ΔU за робочого режиму роботи датчика при наявності парів палива (крива 3, рис.3.1).

Для спрощення процедури перевірки виберемо температуру попереднього розігріву термоелементів для перевірки «нуля» при налаштуванні такою, щоб величина $\Delta U = 2\Delta U^I$, і запам'ятаємо значення величини напруги на порівняльному елементі для цього випадку (величина напруги на порівняльному елементі однозначно зв'язана з температурою його розігріву). В цьому разі процедура перевірки та коригування «нуля» при наявності парів бензину в повітрі зводиться до зменшення величини струму через термоелементи до величини за якої на порівняльному елементі встановлюється значення U_n^I , визначення за перевірного режиму значення ΔU^I і розрахунку $\Delta U = 2\Delta U^I$.

На основі проведених досліджень і експериментальних робіт був виготовлений макет газоаналізатора, оснащеного функцією автоматичної діагностики нульових показань, а також розроблено відповідний алгоритм його роботи та програмне забезпечення для забезпечення автоматизованого функціонування пристрою. При цьому в конструкції газоаналізатора відсутні

традиційні елементи ручного регулювання «нуля» та чутливості датчика, що дозволяє реалізувати повністю автоматизований режим роботи без втручання оператора.

Аналізатор має два основні режими функціонування: режим налагодження та робочий режим. У режимі налагодження виносний датчик аналізатора встановлюється у малогабаритну камеру, яка за командою з дисплея аналізатора по черзі заповнюється атмосферним повітрям та контрольованою повітряною сумішшю повітря з гексаном. Під час подачі чистого атмосферного повітря проводиться встановлення заданої температури порівняльного термоелемента, визначаються напруги на робочому та порівняльному елементах, а також їх різниця, які зберігаються в пам'яті аналізатора. Паралельно знижується величина струму через термоелементи до такого рівня, при якому різниця напруги між чутливими елементами у чистому повітрі зменшується у два рази. Далі визначається та запам'ятовується напруга на порівняльному елементі, що відповідає цьому стану.

При подачі повітряної суміші до виносного датчика виконуються операції визначення напруги на робочому елементі та порівняльному термоелементі, після чого обчислюється чутливість датчика газоаналізатора з урахуванням попередньо визначеної різниці потенціалів мВ/мг. Це дозволяє забезпечити точне калібрування аналізатора та коректне визначення концентрацій парів палива навіть при змінних умовах експлуатації.

У робочому режимі пристрій здійснює безперервний контроль напруги на термоелементах, підтримує визначену під час налаштування величину напруги на порівняльному елементі, визначає різницю потенціалів між елементами та розраховує актуальний вміст парів палива у повітрі робочої зони. Періодично, відповідно до заданого програмою циклу, виконується автоматична перевірка та коригування нульових показань аналізатора.

Під час цієї операції величина струму через термоелементи знижується до рівня, при якому на порівняльному елементі напруга досягає величини, що зменшує різницю потенціалів чутливих елементів у два рази при відсутності

горючих парів. Після завершення перехідного процесу визначаються актуальні напруги на робочому та порівняльному елементах, обчислюється ΔU , оцінюється ступінь зміщення нульового показника датчика та приймається рішення про необхідність повідомлення оператора щодо проведення додаткової перевірки або автоматичної корекції нульових показань.

Після цього встановлюється робоча величина струму через термоелементи, і по завершенні перехідного процесу повторно здійснюються вимірювання напруги на елементах, регулювання величини напруги на порівняльному елементі, визначення різниці потенціалів, автоматична корекція нульових показань та розрахунок і передача інформації про концентрацію парів бензину в повітрі робочої зони. Такий підхід забезпечує високу точність, надійність і безпеку вимірювань, а також мінімізує вплив людського фактору на результати контролю.

3.2. Обґрунтування методу контролю вибухонебезпечності сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки

Будь-який техногенний об'єкт, на якому здійснюється використання або зберігання вибухонебезпечних речовин, потенційно становить загрозу для життя та здоров'я людей. Загальна проблема забезпечення техногенної безпеки на таких об'єктах обумовлює необхідність систематичного аналізу існуючого рівня небезпеки та, за потреби, розробки комплексних заходів, спрямованих на зниження цього рівня до допустимого, з урахуванням сучасних нормативних вимог і технологічних особливостей [14], [15].

Однією з найактуальніших проблем на об'єктах нафтопаливного комплексу є запобігання виникненню вибухів газоповітряних сумішей. Серед таких об'єктів особливе місце займають паливні сховища та пункти заправки автомобільної техніки, оскільки вони широко поширені і характеризуються підвищеним ступенем небезпеки через наявність горючих речовин. Основними факторами, які спричиняють утворення вибухонебезпечних паливоповітряних

сумішей, є витіки летких фракцій нафтопродуктів у результаті переповнення резервуарів під час зливання палива з автоцистерн, роз'єднання з'єднань у технологічних трубопроводних об'язках, поломки у напірно-всмоктувальних системах резервуарів, переповнення паливних баків транспортних засобів під час заправки, аварійні ситуації на трубопроводах і колонках через корозійне пошкодження металу, несправність роздавальних кранів, пошкодження напірних рукавів, а також несправності зливо-наливних пристроїв резервуарів і дихальних клапанів, розгерметизація люків та інших елементів конструкції [14], [15].

Одним із найбільш ефективних заходів щодо запобігання вибухів є впровадження систем моніторингу вибухонебезпеки на техногенних об'єктах. Основною метою таких систем є забезпечення безперервного контролю вибухонебезпечності середовища та своєчасного прийняття керуючих рішень для усунення загроз потенційних вибухів [16].

Ключовим компонентом будь-якої системи моніторингу вибухонебезпеки є пристрої контролю стану середовища, що реєструють наявність і концентрацію вибухонебезпечних газів та парів у повітрі. Експлуатаційні умови таких пристроїв часто бувають досить складними: вплив змін температури, вологості, тиску та складу газового середовища, механічні удари, вібрації, попадання води або пилу можуть негативно впливати на стабільність роботи датчиків. Недостатня надійність або некоректна робота засобів контролю вибухонебезпеки може призвести до неспрацювання або помилкових спрацьовувань систем захисту, що, у свою чергу, підвищує ризик виникнення вибухових ситуацій.

Методам і засобам контролю вибухонебезпечності середовища присвячено численні наукові дослідження [11], [17]. Серед них найбільше застосування знайшли методи термокatalітичного, напівпровідникового (металооксидного) та оптичного типів.

Термокatalітичні датчики, які активно застосовуються в системах моніторингу вибухонебезпеки на техногенних об'єктах [11], відзначаються

простотою конструкції, відносно низькою вартістю та стійкістю до впливу змін складу газів, вологості, пилу та температури. Виконані дослідження та практичні експерименти показали, що застосування цього методу дозволяє значно підвищити надійність та стабільність роботи датчиків контролю вибухонебезпеки, забезпечуючи ефективне попередження аварійних ситуацій.

Напівпровідникові (металооксидні) датчики відзначаються простою конструкцією, невисокою вартістю та високою чутливістю, а також тривалим терміном служби. Проте їх стабільність залишає бажати кращого, що обмежує ефективність їх використання в системах автоматичного контролю вибухонебезпечності, особливо в умовах змінного газового складу та високих концентрацій горючих речовин. Вони найчастіше використовуються в системах очищення повітря в будинках, офісах, в системах вентиляції та кондиціонування [18] а також в електронних переносних приладах. Нестабільність роботи таких датчиків в основному спричинена неповним процесом відновлення чутливості після дії високих концентрацій парів чи газів, що призводить до поступового її дрейфу. Для підвищення стабільності напівпровідникових датчиків запропонована обробка сигналів, отриманих з матриці газових датчиків, що реагують на різні концентрації парів [9]. Проте це суттєво ускладнює системи контролю, збільшує їх вартість і зменшує надійність.

Серед основних переваг оптичного абсорбційного методу контролю вибухонебезпечності слід виділити високу швидкодію при реєстрації концентрацій горючих газів та парів у повітряному середовищі. Завдяки швидкому часу реакції оптичні сенсори здатні миттєво виявляти небезпечні концентрації речовин, що значно підвищує ефективність превентивних заходів з попередження вибухів [19], [20].

Разом із тим, до суттєвих обмежень цього методу слід віднести складність конструкції датчиків, значні габаритні розміри приладів та високі вимоги до умов їх експлуатації. Зокрема, результати вимірювань можуть істотно змінюватися під впливом зовнішніх факторів, таких як температура, тиск, вологість повітря та присутність сторонніх газових компонентів, що ускладнює

інтерпретацію отриманих даних. Особливо негативно на точність вимірювань впливають запиленість повітря, наявність диму, смогових утворень та інших аерозольних домішок у робочій зоні датчиків, що обмежує ефективність застосування оптичних методів у промислових умовах.

Останніми роками проведені дослідження дозволили суттєво вдосконалити оптичні системи контролю. Було розроблено малогабаритні та високочутливі оптичні датчики, які завдяки програмній обробці сигналів здатні частково компенсувати вплив зовнішніх факторів, включаючи запиленість повітря, на точність вимірювань. Крім того, поліпшено динамічні характеристики засобів контролю, що дозволяє скоротити час реакції системи та підвищити надійність реєстрації небезпечних концентрацій [19], [20].

Водночас такі удосконалення призводять до значного ускладнення конструкції та функціонування приладів. Для забезпечення високої точності вимірювань стає необхідним використання додаткових оптичних сенсорів із зміненими спектральними характеристиками, що, у свою чергу, підвищує складність монтажу, експлуатації та технічного обслуговування систем контролю вибухонебезпечності.

Серед інших методів контролю, які знаходять застосування для виявлення парів нафтопродуктів в повітрі слід відзначити також хроматографічний, полум'яно-іонізаційний та фото-іонізаційний методи [21], [22]. Достоїнством цих методів є їх висока чутливість, що дозволяє здійснювати контроль вмісту парів палива на рівні гранично допустимих концентрацій. Проте, зважаючи на складну будову засобів контролю, заснованих на даних методах, високу їх вартість та складності процесу вимірювання вони знаходять використання лише в системах екологічного моніторингу довкілля.

Таким чином виконаний аналіз і практичні результати застосування різних методів контролю вибухонебезпечності дозволяють нам рекомендувати для використання в системах моніторингу вибухонебезпеки сховищ та пунктів заправки паливними матеріалами термokatалітичні датчики.

Дослідження вчених, виконані в цій області, дозволили істотно поліпшити метрологічні та експлуатаційні характеристики засобів контролю вибухонебезпечності засновані на термокаталітичному методі контролю, підвищити надійність і стабільність їх роботи. Однак до цього часу не вирішені питання контролю вибухонебезпечності при одночасному наявності горючих газів і парів з різною температурою samozapalennya. Спостерігаються випадки порушення працездатності засобів контролю вибухонебезпечності при високих концентраціях парів та газів. Існуючі термокаталітичні засоби контролю аналізатори метану не забезпечують надійний захист у всьому діапазоні можливих концентрацій парів та газів, трапляються випадки неоднозначної роботи засобів контролю за високих концентраціях парів та газів [11]. Все це потребує проведення подальших досліджень цього методу з метою вдосконалення засобів контролю вибухонебезпечності паливоповітряних сумішей.

У сучасних системах моніторингу вибухонебезпечності широко застосовуються термокаталітичні сенсори, конструкція яких передбачає наявність двох геометрично та електрично ідентичних елементів: робочого (активного) та порівняльного (компенсаційного). Ці чутливі елементи зазвичай розміщуються всередині спільної реакційної камери, що забезпечує однакові умови для роботи обох елементів та дозволяє точніше визначати зміни в електричних параметрах при взаємодії з аналізованим газовим середовищем.

Підведення реагуючих газів до робочого елемента та видалення продуктів реакції забезпечується за рахунок створення градієнта концентрацій газів, при якому транспорт речовин відбувається через дифузійні та конвекційні процеси. Теплообмін між чутливими елементами та газовою сумішшю здійснюється шляхом теплопровідності та конвективного переносу тепла, що забезпечує стабільну роботу датчика в умовах змінюваної температури та складу газової суміші.

Реакційна камера виготовляється з високостійких матеріалів, таких як кераміка або металокераміка, і має внутрішній діаметр приблизно 5–6 мм, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для каталізу та дифузії газів.

Сучасні чутливі елементи мають форму мініатюрних сфер з γ -оксиду алюмінію, у центрі яких розташована спіраль з платинового дроту. Ця спіраль одночасно виконує функції нагрівального елемента та термометра опору, що дозволяє безпосередньо вимірювати температуру та забезпечувати стабільний робочий режим елемента. Поверхня робочого елемента покривається платино-паладієвим каталізатором, який прискорює процес окислення горючих газів і парів, що надходять у камеру.

Для забезпечення вимірювальної точності робочий і компенсаційний елементи, як правило, підключаються до одного плеча мостової електричної схеми, що дозволяє оцінювати різницю потенціалів між елементами та визначати рівень концентрації горючих компонентів у повітрі [11].

Реакція окислення горючих газів та парів на платино-паладієвому каталізаторі може відбуватися в кінетичній та дифузійній областях [11]. Швидкість реакції окислення в кінетичній області залежить від виду і температури каталізатора, а також концентрації реагуючих компонентів. Для платино-паладієвого каталізатора при окисленні метану ця область характерна до 350 – 360 °С. Окислення при цьому супроводжується одночасною адсорбцією кисню і горючих компонентів поверхнею каталізатора, а на швидкість реакції впливає не тільки концентрація горючих компонентів, а і концентрація кисню в атмосфері.

У міру зростання температури каталізатора швидкість хімічної реакції істотно зростає і на активній поверхні каталізатора утворюється нульова концентрація лімітуючого компонента і деякий дефіцит компонента, який знаходиться у надлишку в газовій суміші. Швидкість реакції, а, отже, і кількість тепла, що утворюється в цьому випадку визначається швидкістю дифузії лімітуючого компонента. Для платино-паладієвого каталізатора при окисленні метану дифузійна область настає при температурах понад 360 °С [11].

При перебігу реакції окислення на робочому елементі в дифузійній області та невеликій концентрації горючого газу, наприклад метану, його потік до поверхні чутливого елемента лінійно залежить від концентрації газу у реакційній камері та ефективної дифузійної провідності робочого термоелемента [11].

$$Q_m = \gamma_e C_{mk}, \quad (3.7)$$

де $\gamma_e = 10^{-2} K_{ef} \beta_m F_e$ - ефективна дифузійна провідність термоелемента, м³/с;

C_{mk} – концентрація метану в реакційній камері;

K_{ef} – коефіцієнт ефективності окислення метану;

β_m – коефіцієнт масопередачі, м/с;

F_e – площа поверхні елемента, м²

Коефіцієнт масопередачі залежить від дифузійних властивостей газу і в загальному випадку є пропорційним коефіцієнту молекулярної дифузії [11].

У процесі каталізаторного окислення метану на активному елементі термokatалітичного сенсора концентрація метану всередині реакційної камери суттєво відрізняється від його концентрації в початковій газовій суміші C_{mc} . Взаємозв'язок між концентрацією метану в реакційній камері та його концентрацією у зовнішній газовій суміші при надходженні газу через дифузійний фільтр можна описати рівнянням

$$C_{mk} = C_{mc} \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_e}, \quad (3.8)$$

де γ_ϕ - дифузійна провідність фільтрелемента, м³/с;

Різниця між концентраціями метану у газовій суміші та в реакційній камері визначається як

$$\Delta C_m = C_{mc} \left(1 - \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_e} \right). \quad (3.9)$$

Різниця ΔC_m визначає величину потоку метану в камеру а відтак і величину тепла, що виділяється на поверхні каталітичного елемента, приріст його температури, а також амплітуду вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми.

Необхідно зазначити, що наведені співвідношення (3.8) та (3.9) справедливі лише у випадку, коли лімітуючим реагентом у газовій суміші, що визначає швидкість каталізаторної реакції, є метан. Якщо об'ємна частка метану перевищує приблизно 9%, роль лімітуючого компонента переходить до кисню повітря, і кількість тепла, що генерується на робочому елементі, стає пропорційною потоку кисню до поверхні каталітичного шару.

У таких умовах амплітуда вихідного сигналу сенсора поступово зменшується: від максимального значення при об'ємній частці метану 9% до практично нульового сигналу при повному складі газової суміші з 100% метану. Якщо прийняти, що зниження сигналу відбувається лінійно, то залежність вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ мостової схеми від концентрації горючого газу можна зобразити у вигляді графічної залежності, представленої на рис. 3.2.

Наведена на рис. 3.2 залежність отримана за умови сталого значення коефіцієнта ефективності окислення та масопередачі в усьому діапазоні можливих концентрацій горючого газу, а крім того, при цьому не враховано те, що зі зміною складу суміші суттєво змінюється механізм теплопередачі, оскільки теплопровідність метану значно більша за теплопровідність повітря.

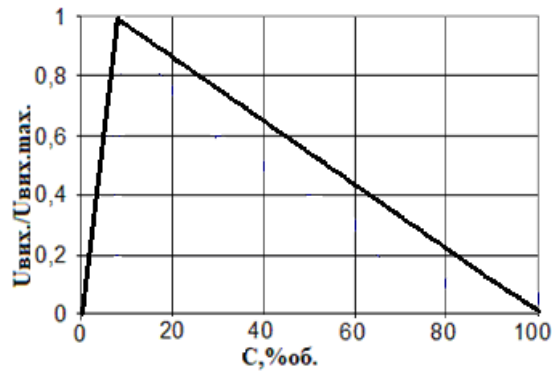


Рис. 3.2. Теоретична залежність вихідного сигналу $U_{\text{вих}}$ мостової вимірювальної схеми від концентрації метану.

Експериментальні дослідження залежності вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми (за умови живлення вимірювального моста від джерела стабільної напруги) від концентрації метану, результати яких наведено в роботі [11], показали, що серед досліджуваних не було датчиків із абсолютно ідентичними характеристиками в області високих концентрацій метану. Кожний датчик має власну залежність $U_{\text{вих}}=f(C)$.

Незважаючи на відмінності залежностей при високих концентраціях метану, в області концентрацій від 0 до 9 об.% залежність $U_{\text{вих}}=f(C)$ для всіх досліджуваних датчиків характеризується практично лінійним зростанням вихідного сигналу зі збільшенням концентрації метану до 7 об.% та наявністю різкого зменшення вихідного сигналу (провалу вихідної характеристики) при переході величини концентрації метану з 8 об.% до 9 об.%, Враховуючи те, що на окислення однієї молекули метану потрібно дві молекули кисню, це відповідає співвідношенню потоків метану і кисню до поверхні каталітично активного елементу як 1:2. Зважаючи на близькість значень коефіцієнтів молекулярної дифузії метану і кисню це практично співпадає зі значенням стехіометричної концентрації компонентів.

Вид низхідної залежності $U_{\text{вих}}=f(C)$ в області високих концентрацій метану для більшості досліджених датчиків близький до лінійного. Причому, при вмісті газу 100% спостерігаються зміщення нуля моста як в область позитивних значень, так і інверсія вихідного сигналу. Це пов'язано зі суттєвою

змінюю механізму теплообміну чутливих елементів у повітрі і метані. У багатьох датчиків в області від 60 до 80 об.% метану спостерігається істотне збільшення крутості характеристики з подальшим її вирівнюванням. Очевидно, що такі зміни пов'язані зі зниженням температури робочого елементу в суміші зі значною концентрацією метану (внаслідок суттєвого збільшення теплопровідності газового середовища), що обумовлює перехід реакції окислення з *дифузійної області до кінетичної*. Один із видів експериментальної залежності отриманий при зміні концентрації метану у випробувальній камері від 0 до 100 об.% наведено на рис. 3.3.

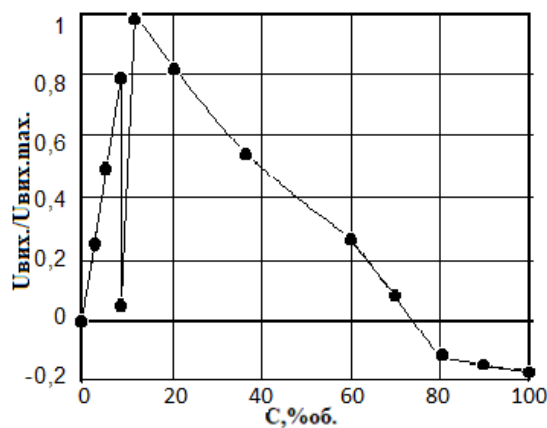


Рис. 3.3. Експериментальна залежність вихідного сингала $U_{вих}$ мостової вимірювальної схеми від концентрації метану [23].

Наявність провалу вихідної характеристики вимірювального моста в області вибухових концентрацій та зниження вихідної напруги моста нижче порогу спрацювання системи вибухозахисту в області високих концентрацій обумовлює у цьому випадку необхідність прийняття низки заходів для забезпечення однозначності спрацювання захисту, у тому числі додаткового введення термокондуктометричних датчиків в шахтні аналізатори метану [23] та використання різних методів контролю в залежності від газової ситуації.

Проте такі рішення суттєво ускладнюють та збільшують вартість засобів контролю вибухонебезпечності і не відповідають сучасним підходам до створення систем технологічної безпеки техногенних об'єктів, які в першу

чергу орієнтовані на впровадження сучасних інформаційних технологій [24]. Стрімкий розвиток сучасних цифрових засобів обробки інформації від датчиків, і в першу чергу мікроконтролерів, вартість яких нині стала співставна з вартістю аналогової мікросхеми, створює умови для перенесення акцентів з ускладнення конструкцій вимірювальної техніки на використання простих, дешевих датчиків і досягнення потрібних результатів шляхом управління режимами їх роботи та використання необхідного для цього програмного забезпечення [25]. Так, відомі рішення які дозволяють програмним шляхом здійснювати контроль і коригування нульових показань аналізаторів метану [26], чутливості датчиків [27], забруднення їх газодифузійних фільтрів та обмеження доступу до них газоповітряної суміші [28].

Виявлені особливості роботи термокatalітичних датчиків за високих концентрацій метану обумовлюють необхідність у проведенні досліджень їх роботи в області вибухонебезпечних концентрацій парів нафтопродуктів та за умови, коли лімітуючим агентом в паливоповітряній суміші стає окислювач.

Вибухонебезпечні концентрації парів нафтопродуктів утворюються при всіх процесах пов'язаних з переробкою, транспортуванням, зберіганням та їх використанням. Слід відзначити, паливоповітряна суміш, яка утворюється внаслідок випаровування летких фракцій бензину, суттєво відрізняється від метаноповітряної суміші за властивостями і фізичними характеристиками [29].

По-перше теплопровідність паливоповітряної суміші зі збільшенням вмісту горючих компонентів, на відміну від метаноповітряної, не збільшується, а зменшується.

По-друге, до складу бензину входять леткі вуглеводні з температурою самозапалення значно нижче температури робочого елемента, яка вибирається виходячи з умови протікання реакції окислення в дифузійній області.

По-третє, за можливих умов роботи вибухозахисту та використання палива зниження вмісту кисню в паливоповітряній суміші до нуля неможливе.

Зважаючи на мінливість складу палива та на невизначеність процесів випаровування та окислення окремих компонентів палива, теоретично описати

залежність вихідного сигналу $U_{вих}$ мостової вимірювальної схеми від парів бензину в дифузійній області неможливо. Якісно оцінити процес можна лише для окремих летких складових паливної суміші, наприклад найбільш леткого компоненту бензину – бутану (рис.3.4).

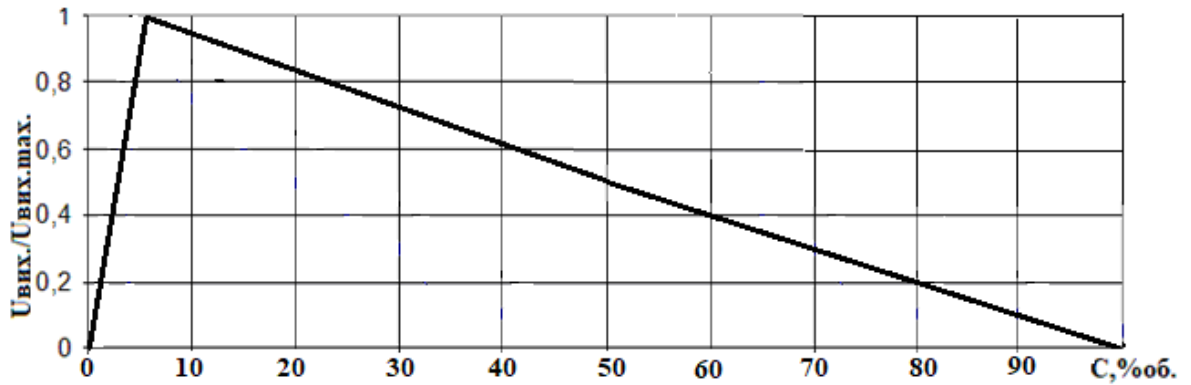


Рис. 3.4. Теоретична залежність вихідного сигналу $U_{вих}$ мостової вимірювальної схеми від концентрації парів бутану.

Максимальне значення вихідного сигналу вимірювального моста в цьому випадку спостерігається при об'ємній концентрації бутану біля 7%, коли потік до поверхні чутливого елементу бутану стає достатнім для повного відновлення сорбованого поверхнею каталізатора кисню, тобто при стехіометричному значенні дифузійних потоків парів бутану і кисню. При більшій концентрації бутану, коли для його повного окислення на поверхні каталізатора недостає кисню, очікується лінійне зниження вихідного сигналу моста.

Слід відзначити, що, зважаючи на суттєво менше значення коефіцієнту дифузії бутану від коефіцієнту дифузії кисню, які для нормальних умов відповідно складають 0,081 і 0,19 см²/с, максимальне значення вихідного сигналу у цьому випадку не співпадає зі значенням стехіометричної концентрації компонентів, яка досягається при вмісті у бутану в повітрі біля 3,1 %об.

Особливістю проведення досліджень термокatalітичних датчиків в суміші парів бензину і повітря є те, що неможливо створити пароповітряну

суміш для повірки та налаштування газоаналізаторів чи сигналізаторів з визначеними параметрами. Для цих цілей використовуються суміші конкретних газів або летких рідин, наприклад: метаноповітряні суміші, суміші пропану з повітрям, суміші гексану з повітрям. В такому випадку результати вимірювання концентрації парів бензину чи дизельного палива виражені як в %об., так і в мг/м^3 є доволіно умовною величиною, яка є еквівалентна показникам для газів чи парів речовин за якими здійснювалось налаштування аналізаторів.

Одним з показників, який характеризує вміст парів палива в суміші є парціальний тиск парів. ДСТУ 4160-2003 «Нафтопродукти. Визначення тиску насиченої пари. Метод Рейда» [30] встановлює метод визначення тиску насичених парів – однієї з основної характеристики любого виду палива. Метод полягає у вимірі тиску насичених парів нафтопродуктів при температурі $37,8\text{ }^\circ\text{C}$ і співвідношення обсягів, займаних випробуваним нафтопродуктом і його парами в повітрі, 1:4. За іншого співвідношення обсягів та зі зміною температури тиск насичених парів змінюється [31]. В реальних умовах, при випаровуванні з відкритої поверхні палива, пари безперервно та повністю відводяться в атмосферу і випаровування протікає з максимальною швидкістю. В герметичній ємності процес випаровування з максимальною швидкістю протікає в початковий момент, а потім він поступово сповільнюється, тиск пароповітряної суміші в ємності і вміст парів палива збільшується.

В негерметичній ємності, наприклад при наявності отвору в стінці ємності, вміст парів палива в газовій суміші буде визначатися співвідношенням швидкості дифузії палива з відкритої поверхні і дифузії парів палива через отвір в атмосферу. Очевидно, що змінюючи розмір отвору чи температуру середовища можна змінювати вміст парів палива в газі від нуля до максимально досяжного значення за певної температури і ступеня негерметичності ємності.

Для оцінки однозначності спрацювання засобів вибухозахисту в області вибухових концентрацій паливоповітряних сумішей при використанні термокatalітичних датчиків, проведені спостереження за зміною вихідного сигналу серійних датчиків виробництва НВО «Червоний металіст» м. Конотоп,

при їх розміщенні в малогабаритній напівгерметичній камері (без ущільнення) при внесенні пористого матеріалу просоченого бензином до камери [32]. Середня чутливість використаних при дослідженні 10 датчиків по метану при живленні від джерела стабільного струму 205 мА становила 18,8 мВ/%об. Розрахункове значення температури попереднього розігріву робочого елемента датчиків при цьому становило біля 430 °С, що свідчило про протікання реакції каталітичного окислення в дифузійній області. Зважаючи на те, що температура самозагоряння багатьох летких компонентів бензину є нижчою 430 °С, що може призвести до їх горіння компонентів палива і на порівняльному елементі датчика, дослідження проведені при різних значення струму через термоелементи.

Характерний вид зміни вихідного сигналу вимірювального моста в часі після внесення бензину в камеру за значення струму через термоелементи 205 мА, 185 мА, 165 мА, 145 мА та 135 мА, за яких температура початкового розігріву термоелементів відповідно становить біля 430 °С, 360 °С, 290 °С, 220 °С та 180 °С, наведено на рис. 3.5 – рис. 3.9. Максимальне значення вихідної напруги вимірювального моста при цьому відповідно складало: 76 мВ, 90 мВ, 118 мВ, 106 мВ та 8,2 мВ. За значення струму через термоелементи менше 135 мА, коли температурі початкового розігріву термоелементів стає менше 180 °С окиснення парів бензину на каталітично активному елементі не відбувається.

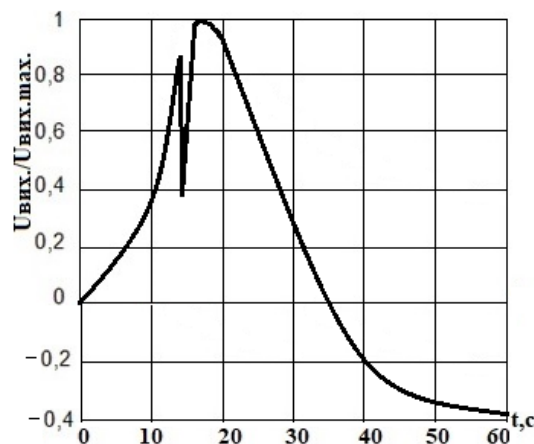


Рис. 3.5. Зміна в часі вихідного сингала мостової вимірювальної схеми при випаровуванні бензину в камері при $I_e = 205$ мА.

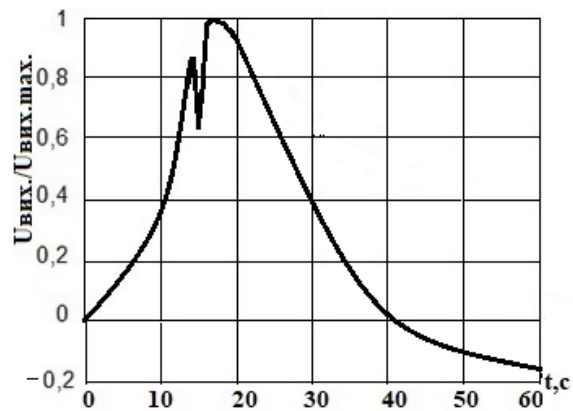


Рис. 3.6. Зміна в часі вихідного сингала мостової вимірювальної схеми при випаровуванні бензину в камері при $I_e = 185$ мА.

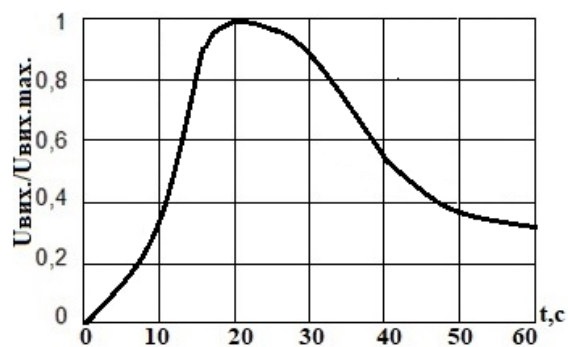


Рис. 3.7. Зміна в часі вихідного сингала мостової вимірювальної схеми при випаровуванні бензину в камері при $I_e = 165$ мА.

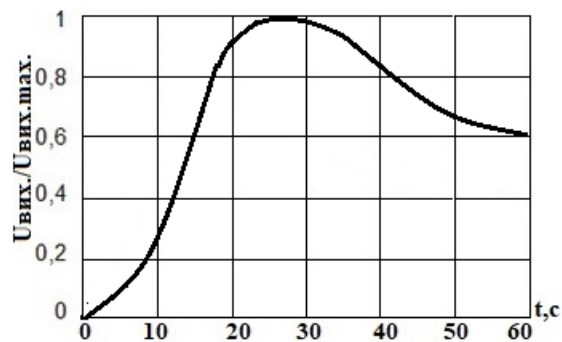


Рис. 3.8. Зміна в часі вихідного сингала мостової вимірювальної схеми при випаровуванні бензину в камері при $I_e = 145$ мА.

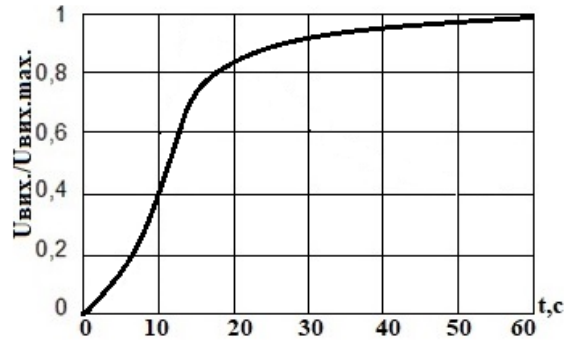


Рис. 3.9. Зміна в часі вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми при випаровуванні бензину в камері при $I_e = 135$ мА.

В результаті експерименту було встановлено, що після внесення бензину в камеру в початковий період часу по мірі накопичення парів за температури попереднього розігріву термоелементів 430°C , 360°C спостерігається зростання вихідного сигналу вимірювального моста до максимуму, а потім, при подальшому накопиченні парів пального і зменшенні парціального тиску кисню в суміші, спостерігається зниження вихідного сигналу та його інверсія. Очевидно, що в цьому випадку лімітуючим агентом в суміші становиться кисень, а інверсія вихідного сигналу виникає внаслідок більш інтенсивного окислення парів пального на порівняльному елементі ніж на робочому.

Максимальне значення вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми за температури попереднього розігріву термоелементів 430°C та 360°C , суттєво менше ніж при температури попереднього розігріву термоелементів 290°C і 220°C . Це пов'язано з окисненням компонентів палива, для яких характерна низька температура samozapalennya, як на робочому, так і на порівняльному елементі. Про протікання такого окиснення на порівняльному елементі свідчить зростання його температури при накопиченні парів яке спостерігається при живленні термогрупи від джерела стабільного струму.

В зоні максимуму вихідного сигналу при високих температурах попереднього розігріву термоелементів, спостерігаються короточасні збурення (провали характеристики), що свідчить про досягнення стехіометричної

концентрації дифузійних потоків парів бензину і кисню до каталітично активного термоелементу. Проте, амплітуда цих збурень менша ніж в бінарній суміші повітря з метаном [23] і не порушує однозначності спрацювання систем вибухозахисту об'єктів. Це може бути пов'язано з особливостями протікання реакції окислення багатокomпонентної суміші на каталізаторах в дифузійній області [23].

Реакція окислення парів палива на порівняльному елементі спостерігалась при температурах його розігріву вище 290°C . За температури розігріву 290°C і нижче окислення парів палива на порівняльному елементі спостерігалась. За температури розігріву 290°C спостерігалась максимальне значення вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми - 118 мВ. Подальше зниження струму супроводжується поступовим зниженням максимального значення вихідного сигналу і за температури початкового розігріву каталітично активного елементу 220°C його величина становила 106 мВ.

Припинення окислення парів палива на порівняльному елементі за температури його розігріву 290°C , при наявності в бензині компонентів з більш низькими температурами самозапалення пояснюється суттєвою відмінністю складу газової суміші в реакційній камері датчика від складу суміші за якої визначається температурами самозапалення, в першу чергу значно нижчою концентрацією кисню в порівнянні з його концентрації в повітрі.

За подальшого зниження струму через термоелементи і, відповідно зменшення температури їх початкового розігріву максимальне значення вихідного сигналу мостової вимірювальної схеми різко зменшується і за температури попереднього розігріву термоелементу нижче 180°C , окислення парів палива на робочому термоелементі з платино-паладієвим каталізатором практично припиняється.

Як видно з результатів досліджень при використанні серійних термокatalітичних датчиків в системах вибухозахисті об'єктів нафтопаливного комплексу і виборі режиму їх живлення, який забезпечує протікання реакції окислення в дифузійній області однозначність роботи системи вибухозахисту

не забезпечується. Це пояснюється тим, що при температурі початкового розігріву термоелементів $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище, за якої окиснення парів палива протікає в дифузійній області, спостерігається окиснення компонентів бензину з низькою температурою samozapalювання на порівняльному термоелементі. Причому швидкість реакції окиснення на цьому елементі значно зростає в випадку, коли лімітуючим агентом в суміші стає кисень. Це призводить не лише до зниження чутливості датчика а навіть до інверсії вихідного сигналу вимірювального моста, що може стати причиною помилкових дій системи вибухозахисту.

При зниженні температури попереднього розігріву термоелементів до $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ окиснення парів палива на порівняльному елементі не відбувається. В цьому випадку реакція окиснення протікає в перехідній зоні між дифузійною і кінетичною областю. В цьому випадку забезпечується висока чутливість датчика і відсутність інверсії вихідного сигналу, що забезпечує однозначність роботи засобів вибухозахисту. Стабільна висока чутливість спостерігається і при зниженні температури початкового розігріву елементів до $220\text{ }^{\circ}\text{C}$. Враховуючи цей діапазон температур, при практичному використанні датчиків в системах вибухозахисту об'єктів нафтопаливного комплексу слід вибирати температуру початкового розігріву біля $255\text{ }^{\circ}\text{C}$. При живленні датчиків від джерела постійного струму, слід вибирати його значенню біля 155 mA . А при живленні датчиків від джерела стабільної напруги її рекомендована величина для досліджуваних датчиків складає $1,5\text{ V}$.

За такого режиму живлення забезпечується однозначна робота системи вибухозахисту в усьому діапазоні можливих змін температури навколишнього середовища. При використанні для обробки інформації від датчиків мікроконтролерів оптимальним є вибір режиму живлення термokatалітичного датчика зі стабілізацією температури або напруги порівняльного елемента напруги на порівняльному елементі [32]. Налаштування порогів спрацювання засобів вибухозахисту доцільно при цьому проводити з використанням атестованої гексано-повітряної суміші.

3.3. Методи та алгоритми контролю організованих викидів парів палива в довкілля

На сучасному етапі в Україні спостерігається зростаюча увага до проблем забезпечення енергетичної безпеки держави [33]. Особливе значення у цьому контексті набуває питання мінімізації втрат нафтопродуктів, зокрема бензинів, через їх випаровування [34]. Зменшення таких втрат має подвійне значення: по-перше, це сприяє раціональному використанню паливно-енергетичних ресурсів, по-друге, дозволяє знизити негативний вплив парів нафтопродуктів на здоров'я працівників, мешканців населених пунктів та стан навколишнього природного середовища. Викиди парів бензину завдають збитків не лише через втрату цінного ресурсу, але й у вигляді екологічних проблем та погіршення якості самого палива. Особливо актуально це питання для автозаправних станцій (АЗС), розташованих у межах міських населених пунктів.

Виробничі та технологічні процеси, пов'язані з прийомом, зберіганням та відпуском паливних матеріалів, супроводжуються втратами палива. Основну частину цих втрат складають випаровування, що є найбільш характерними для бензинів, які містять леткі фракції вуглеводнів. Значні втрати бензину виникають через так зване «велике дихання» резервуарів: під час заповнення резервуарів паливом заміщується пароповітряна суміш, яка потрапляє у атмосферу через дихальні клапани. До додаткових факторів втрат належать коливання температури та атмосферного тиску, що спричиняють викиди парів через дихальні клапани у процесі «малого дихання». Викиди пароповітряних сумішей через дихальні клапани відносяться до організованих джерел, тоді як значна частка парів бензину викидається під час заправки транспортних засобів із колонок АЗС і відноситься до неорганізованих джерел.

Процес випаровування нафтопродуктів із резервуарів у статичних умовах визначається багатьма чинниками: температурою навколишнього середовища, тиском та об'ємом газового простору, площею контакту нафтопродукту із газовим простором та атмосферним тиском. В умовах регулярного прийому та

відвантаження палива, а також залежно від кліматичної зони, швидкість випаровування значно зростає. Для зменшення втрат нафтопродуктів запропоновано низку інженерно-технічних рішень: застосування дисків-відбивачів, захисних емульсій, мікрокульок, понтонів, газозрівнювальних систем, конденсаційних установок, селективних мембран, адсорбентів тощо. Одним із найбільш простих та економічно ефективних заходів є обв'язка газових порожнин резервуарів і автоцистерн [31].

Під час зливу нафтопродуктів із автоцистерни до підземних резервуарів відпрацьований об'єм парів повертається до бензовоза (процес пароповернення), що виключає їх надходження у навколишнє середовище. Аналогічно, при заповненні бензовоза на нафтобазі здійснюється повернення парів, що накопичилися на АЗС, у резервуари бази. Таким чином забезпечується контрольоване переміщення як рідкого палива, так і його парів між нафтобазою та АЗС. Впровадження цієї технології потребує спеціально обладнаних автоцистерн із системою газової обв'язки.

Хоча технології зниження організованих викидів парів бензину мають високий потенціал, показники їх впровадження на багатьох АЗС залишаються низькими. Тому для ефективного скорочення втрат палива та зменшення викидів парів у атмосферу важливо не лише встановити нормативи викидів для конкретних об'єктів, а й забезпечити постійний контроль величини цих викидів. Обов'язкове встановлення нормативів передбачає проведення робіт із розробки та впровадження систем моніторингу джерел виділення забруднювальних речовин на АЗС, що дозволяє обґрунтовано формувати вимоги до допустимих втрат та викидів і здійснювати вибір і реалізацію ефективних заходів щодо їх зменшення.

Для отримання достовірної інформації щодо обсягів викидів бензину в навколишнє середовище від автозаправних станцій (АЗС) необхідно впроваджувати безперервний автоматизований контроль, який дозволяє визначати як масову концентрацію парів палива у викидах, так і загальний об'єм цих викидів протягом конкретного періоду часу. Основними і

найважливішими складовими систем моніторингу є прилади та сенсори, призначені для фіксації вмісту парів нафтопродуктів у викидах АЗС, з особливим акцентом на викиди, що надходять від організованих джерел. Експлуатаційні умови таких систем досить складні: на їх працездатність і стабільність результатів можуть впливати коливання температури, рівня вологості, зміни тиску, варіації складу паливоповітряної суміші, а також забруднення пилом або компонентами самого палива.

На сучасному етапі при отриманні дозволів на викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря стаціонарними джерелами на АЗС зазвичай подаються орієнтовні розрахункові максимальні потенційні обсяги викидів, які визначаються з урахуванням виду використовуваного палива та його обсягів. При цьому контроль реальної маси викидів за певний проміжок часу, зокрема парів бензину, у докілья не здійснюється. Відомі технічні методи та прилади використовуються для оцінки концентрації парів бензину як у приміщеннях та на території АЗС, так і в санітарно-захисній зоні, а також у атмосфері населених пунктів, включаючи одночасний контроль вибухонебезпечності газового середовища [32].

Серед методів, які застосовуються для виявлення нафтопродуктових парів у повітрі, слід виділити термокatalітичний, оптичний, полум'яно-іонізаційний та фото-іонізаційний підходи. Крім того, використовуються рефрактометричні та напівпровідникові методи. Частина цих підходів (полум'яно-іонізаційний, фото-іонізаційний, хроматографічний тощо) застосовується у високочутливих та відносно складних приладах для вимірювання низьких концентрацій парів нафтопродуктів. Проте їх використання для безперервного контролю організованих викидів на АЗС є технічно складним або економічно недоцільним. Серед доступних методів найбільш практичними для систем моніторингу викидів залишаються термокatalітичний, оптичний та напівпровідниковий підходи.

Напівпровідникові (металооксидні) датчики відзначаються простою конструкцією та невисокою вартістю виготовлення. Їх перевагами є висока

чутливість і тривалий термін експлуатації. Проте такі датчики недостатньо стабільні під дією високих концентрацій парів або газів, що призводить до поступового зниження чутливості і обмежує їх застосування у системах контролю масових викидів. Крім того, для напівпровідникових сенсорів характерна неоднакова чутливість до різних компонентів бензину, що унеможлиблює отримання інтегральної характеристики загального викиду. Подібні недоліки спостерігаються і у оптичних методах контролю: до них додаються значні габарити датчиків, складність конструкції та чутливість до змін температури, тиску, вологості і наявності сторонніх газових домішок. Важливим обмежувальним фактором є також забруднення оптичних елементів у результаті конденсації складових палива на поверхнях сенсорів.

Найбільш широке застосування у системах контролю горючих газів та парів у повітрі знайшли термокаталітичні датчики [11]. Це пояснюється їхньою відносною простотою конструкції, тривалим терміном служби, невисокою вартістю та мінімальною чутливістю до змін складу газової суміші, вологості повітря, температури та запиленості. При низьких концентраціях горючих компонентів у повітрі термокаталітичні сенсори дозволяють отримати інтегральну характеристику загальної величини викидів. Проте за високих концентрацій горючих газів та парів, коли лімітуючим реагентом у суміші стає кисень, вихідний сигнал термокаталітичного датчика стає пропорційним не концентрації горючих компонентів, а вмісту кисню у суміші, що потребує врахування при інтерпретації результатів вимірювань [17]. Дослідження вчених, виконані в цій області, дозволили істотно поліпшити метрологічні та експлуатаційні характеристики засобів контролю вмісту горючих газів, що засновані на термокаталітичному методі, підвищити надійність і стабільність їх роботи [11, 26, 28], Проте питання, щодо використання термокаталітичних датчиків для контролю концентрації багатоконпонентних сумішей, якими є пари бензину, особливо в частині визначення їх вмісту за умов коли лімітуючим агентом в паливоповітряній суміші стає кисень донині не досліджені.

При невисоких концентраціях парів палива та надлишку в контрольованій газовій суміші кисню прийнято вважати, що кожен горючий компонент дифундує до поверхні робочого елемента незалежно, зі швидкістю, що визначається своїм коефіцієнтом дифузії. Тепловий ефект від кожного компонента палива також незалежний, а сумарне тепловиділення на робочому елементі від реакції окислення горючих компонентів P_{Σ} дорівнює сумі теплових ефектів від усіх компонентів [11]

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_{ni} C_{ki} \gamma_{ei}, \quad (3.10)$$

де Q_{ni} - нижча теплота згоряння i -го компонента палива, Дж/кг; C_{ki} - концентрація в реакційній камері i -го компонента, кг/м³; γ_{ei} - ефективна дифузійна провідність робочого елемента щодо i -го компонента, м³/с.

Ефективна дифузійна провідність елемента в загальному випадку визначається його геометричними параметрами, ефективністю окислення компонента палива на поверхні елемента та параметрами масопереносу до його поверхні [11]

$$\gamma_e = 10^{-2} k_{ef} \beta_e F_e, \quad (3.11)$$

де k_{ef} – коефіцієнт ефективності окислення компонента палива; β_e – коефіцієнт масопередачі, м/с; F_e – площа поверхні елемента, м².

Коефіцієнт ефективності окислення компонента палива вводять у вираз (3.11) через те, що не вся площа поверхні елемента є каталітично активною. В ідеальному випадку $k_{ef} = 1$, а для реальних умов – дещо менше одиниці.

Коефіцієнт масопередачі залежить від дифузійних властивостей компоненту палива і в загальному випадку може бути представлений як

$$\beta_{ei} = D_i / \delta_D, \quad (3.12)$$

де D_i – коефіцієнт молекулярної дифузії i -го компонента палива у повітрі, м²/с;
 δ_D - товщина дифузійного прикордонного шару, м.

Вираз для визначення товщини дифузійного прикордонного шару у елемента шароподібної форми діаметром d , має вигляд [11]:

$$\delta_D = d / (2 + 111d^{0,75}). \quad (3.13)$$

Аналіз наведених виразів показує, що при постійній температурі газу і елемента потужність, що виділяється на робочому елементі внаслідок окислення i -го компонента палива, визначається властивостями каталізатора, конструкцією елемента і пропорційна добутку його концентрації в камері, нижчої теплоти згоряння компонента і його коефіцієнта дифузії. Враховуючи це, вираз (3.10) можна подати у вигляді

$$P_{\Sigma} = K_{\delta} \sum_{i=1}^n Q_{ni} C_{ki} D_i, \quad (3.14)$$

де K_{δ} – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості датчика та властивості каталізатора, м.

З аналізу виразу (3.14) можна зробити висновок, що величина тепловиділення на робочому термоелементі при однаковій масовій концентрації компонентів палива не є абсолютно однаковою для всіх складових суміші. Ця величина частково варіюється і прямо залежить від добутку значення нижчої теплоти згоряння конкретного компонента на його коефіцієнт дифузії у газовій суміші. Іншими словами, навіть при рівних масових частках різні складові палива виділяють різну кількість тепла на поверхні чутливого елемента, що пояснюється як їхньою різною здатністю до дифузії, так і специфічною енергією згоряння, властивою кожному компоненту. Така залежність є важливим чинником при визначенні вихідного сигналу термокatalітичного

датчика та дозволяє пояснити невеликі відмінності в його реакції на складові багатокомпонентної паливної суміші. Дослідження процесів випаровування бензину показують, що найшвидше випаровуються легкі алкани та ароматичні вуглеводні, що мають найбільший коефіцієнт дифузії. Характеристики таких компонентів парів бензину та відносна чутливість до них термokatалітичного датчика (за умови налаштування газоаналізатора по повірочній суміші гексану в повітрі) наведено в табл.3.1. Дещо підвищена чутливість датчика (відхилення більше ніж на 10%) характерна для бензолу. Проте, зважаючи на незначний вміст бензолу в паливі та те, що пари ароматичних вуглеводнів є більш шкідливими у порівнянні з іншими компонентами палива (ГДК в повітрі робочої зони 5 та 50 мг/м³, відповідно для бензолу та толуолу), таке несуттєве підвищення чутливості датчика по відношенню до цих компонентів є навіть позитивним чинником при оцінці впливу викидів.

Таблиця 3.1. Характеристики компонентів парів бензину та відносна чутливість до них термokatалітичного датчика (по гексану)

Назва компоненту палива	Коефіцієнт дифузії, $D \cdot 10^6$, м ² /с	Питома теплота згорання, Дж/кг	Відносна чутливість (по гексану)
Гексан	7,21	45,1	1,00
Пентан	7,29	45,4	1,02
Гептан	6,65	44,9	0,92
Октан	6,10	44,8	0,84
Декан	5,60	44,6	0,77
Бензол	8,95	40,6	1,12
Толуол	8,11	40,9	1,03
Етанол	11,9	29,0	1,06

Зниження чутливості датчика до вуглеводнів з більшою молярною масою, зважаючи на незначну інтенсивність їх випаровування, не призведе до суттєвих похибок вимірювання загальної маси викидів парів бензину. Слід також

вказати, що шкідливий вплив компонентів палива по мірі збільшення їх молекулярної ваги зменшується (ГДК в повітрі робочої зони для парів гасу вже становить 300 мг/м^3). Тому таке незначне зниження чутливості датчика по відношенню до цих компонентів є несуттєвим недоліком при визначенні загального обсягу викидів. В цілому, зважаючи на протилежно направлений вплив більш легких та більш важких компонентів бензину від гексану на відносну чутливість датчика, очікуване значення похибки при контролі викидів парів бензину від зміни їх складу не перевищує 5%.

Проведений аналіз і висновки є справедливими у випадку, коли швидкість хімічної реакції в газовій суміші визначається насамперед концентрацією пари бензину, яка виступає в ролі лімітуючого реагенту [32]. У цьому режимі саме наявність парів бензину контролює інтенсивність каталітичного окислення на поверхні робочого термоелемента, що забезпечує прямий зв'язок між концентрацією горючих компонентів у суміші та величиною тепловиділення на чутливому елементі. Проте у разі, коли концентрація парів бензину досягає високих значень, роль лімітуючого чинника переходить до кисню, що міститься у повітрі. У такій ситуації обмеження швидкості реакції визначається не масою горючих компонентів, а потоком кисню, що надходить до каталітично активної поверхні термоелемента. Відповідно, кількість тепла, яка виділяється під час окислювальної реакції, стає пропорційною саме величині потоку кисню до поверхні робочого елемента, а не концентрації пари бензину, що змінює характер вихідного сигналу датчика і вимагає корекції його показників при аналізі висококонцентрованих сумішей. Величина вихідного сигналу в цьому випадку буде знижуватися від максимальної величини, при стехіометричному значенні дифузійних потоків парів бензину і кисню до поверхні чутливого елемента, до нуля, при відсутності кисню в суміші. Виконані дослідження роботи термокаталітичних датчиків в можливому діапазоні зміни концентрації пального і окислювача [32] показують, що в області, де лімітуючим компонентом є пари пального, для них характерне практично лінійна, а після перевищення стехіометричного значення дифузійного потоку пального до

поверхні каталітичноактивного елемента, спостерігається лінійне зменшення вихідного сигналу датчиків практично до нуля. Це пояснюється тим, що лімітуючим компонентом в суміші у цьому випадку стає кисень. Враховуючи зазначені особливості поведінки горючих сумішей, для забезпечення коректного вимірювання викидів парів бензину у повітряних викидах, де концентрація палива значно перевищує стехіометричне значення, необхідно передбачити попередню підготовку контрольованої газової суміші. Така підготовка може реалізовуватися шляхом точного дозування пари бензину у вимірювальну камеру датчика разом із атмосферним повітрям, що дозволяє знизити концентрацію горючого компонента до рівня, придатного для коректного вимірювання. Альтернативним підходом, який базується на аналізі залежності величини вихідного сигналу $U_{вих}$ мостової вимірювальної схеми від концентрації парів пального (як показано на рис. 3.1), є визначення величини викидів безпосередньо у тій ділянці характеристики, де лімітуючим реагентом стає кисень. У цьому режимі вихідний сигнал датчика вже пропорційний потоку кисню до поверхні робочого термоелемента, що дозволяє проводити оцінку обсягу виділеного тепла та відповідно інтегральної величини викидів бензинових парів у контрольованому середовищі. Таким чином, навіть за високих концентрацій палива можна отримати достовірні дані щодо масової частки та об'єму викидів, що є критично важливим для систем автоматичного моніторингу та регулювання процесів контролю забруднення атмосферного повітря.

$$C = K_q (U_{вих.max.} - 0.98U_{вих.}), \quad (3.15)$$

де K_q - коефіцієнт чутливості, В/%;

$U_{вих.}$ – вихідна напруга вимірювального моста, В;

$U_{вих.max.}$ – максимальне значення вихідна напруга вимірювального моста, В;

Коефіцієнт 0.98 введений з врахуванням того, що стехіометричне значення дифузійних потоків парів бензину і кисню до поверхні чутливого елемента становить біля 2 об.% вмісту парів пального в суміші.

В першому випадку підготовка суміші для контролю може бути здійснена шляхом примусової подачі компонентів або за рахунок їх молекулярної дифузії чи бародифузії. Ключовою вимогою для забезпечення достовірності та коректності функціонування системи вимірювання викидів парів бензину є підтримка лінійності вихідного сигналу датчика протягом усього спектру можливих концентрацій горючого компонента в контрольованих викидах. Це завдання досягається за умови, коли величина дифузійного потоку палива, що надходить до поверхні каталітично активного термоелемента при максимально можливому вмісті парів бензину в газовому середовищі, не перевищує 80% від теоретично розрахованого стехіометричного значення співвідношення дифузійних потоків горючого компонента та окислювача (кисню повітря), які визначають швидкість окислювальної реакції на робочому елементі. Дотримання цього критерію дозволяє уникнути насичення реакційної поверхні та забезпечує прямолінійну залежність вихідного сигналу від концентрації парів палива, що є необхідним для точного визначення масової частки викидів, правильного функціонування систем автоматичного моніторингу та отримання інтегральних характеристик стану забруднення атмосферного повітря. Крім того, контроль цього параметра гарантує мінімізацію похибок вимірювання, викликаних нерівномірністю розподілу пари пального у вимірювальній камері та коливаннями дифузійного потоку, що особливо важливо при високих концентраціях горючих речовин у газовому середовищі. В іншому випадку виносний датчик встановлюється безпосередньо в трубопроводі перед дихальним клапаном і попередня підготовка суміші для контролю непотрібна.

Для контролю та розрахунку обсягу організованих викидів парів палива в довкілля потрібно у випадку спрацювання дихального клапану одночасно здійснювати вимірювання як вмісту парів пального у викидах так і обсягу викиду паливоповітряної суміші. Останні визначаються виходячи з площі перетину трубопровода та середнього значення швидкості руху газового середовища. При цьому для контролю швидкості руху газового середовища необхідно використання анемометрів встановлених у вибухонебезпечному

середовищі. Серед різних їх типів на найбільшу увагу заслуговують вихрові анемометри, в яких швидкість руху газового середовища визначається шляхом вимірювання частоти вихорів. Вихрові анемометри – це спеціалізовані прилади для вимірювання швидкості та витрати газу чи рідини, що працюють за принципом створення та виміру частоти вихорів. Вихрові анемометри належать до класу спеціалізованих вимірювальних приладів, призначених для визначення швидкості руху та об'ємного чи масового витоку газів і рідин. Принцип їхньої роботи базується на формуванні та подальшому аналізі частоти виникнення вихрових структур у потоці середовища, які утворюються при обтіканні протяжних тіл (наприклад, циліндричних, Т-подібних або інших конструкцій з подовжньою віссю), розташованих перпендикулярно до напрямку руху суцільного середовища. Під дією потоку навколо цих тіл формуються послідовні вихори, які утворюють відому фізичну структуру, що називається вихровою доріжкою Кармана — регулярний ланцюг вихорів, що чергуються.

Дослідження показують, що в межах широкого діапазону чисел Рейнольдса від приблизно 2×10^4 до 7×10^6 коефіцієнт пропорційності між частотою генерації вихорів і швидкістю потоку залишається практично незалежним від величини числа Рейнольдса. Це властивість забезпечує високу точність вимірювання швидкості руху середовища незалежно від його фізичних характеристик та типу (газ або рідина). Завдяки цьому вихрові анемометри здатні забезпечувати стабільні та відтворювані результати навіть у змінних гідродинамічних умовах, що робить їх ефективними для використання у промислових та лабораторних системах контролю потоку середовищ різної природи.

Чутливими елементами вихрових анемометрів, які дозволяють виявити вихори, часто являються мініатюрні термоелементи. Зважаючи на це доцільно дослідити можливість використання термokatалітичних датчиків для одночасного визначення швидкості потоку. Для досліджень нами був використаний датчик метану виносний ДМВ-1, який є складовим елементом аналізаторів метану АТ-1-1 та АТ-3-1 (рис.3.10).



Рис. 3.10. Датчик метану виносний ДМВ-1

При встановленні датчика в потоці метаноповітряної суміші фактичний необроблений вихідний його сигнал завжди вміщує шуми та аномалії, обумовлені впливом індустриальних джерел електромагнітних збурень та турбулентністю паливо-повітряного потоку (рис. 3.11).

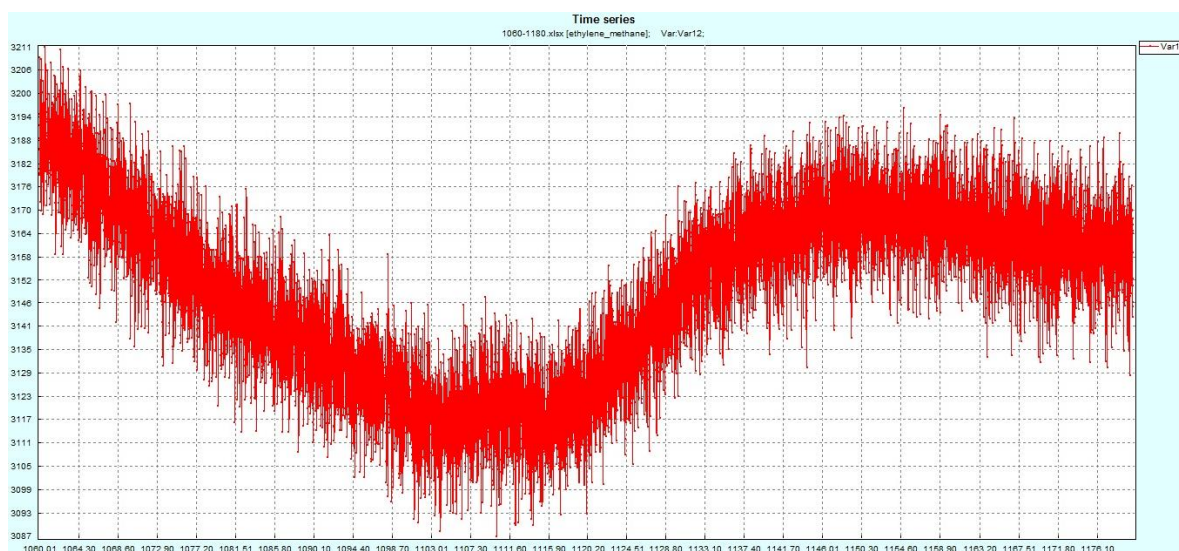


Рис. 3.11. Фактичний необроблений вихідний сигнал датчика

Очевидно, що необроблений вихідний сигнал датчика не дозволяє виявити вихори, що виникають при обтіканні датчика, визначити їх частоту та отримати інформацію про швидкість потоку і визначити обсяги викидів.

Підвищення ефективності систем контролю викидів об'єктів нафто-паливного комплексу можливе шляхом обробки та попередньої фільтрації даних, отриманих від датчиків контролю стану об'єктів. З метою обробки інформації, що надходить від датчиків, та використання обчислювальних ресурсів систем моніторингу вибухонебезпечності доцільно виділяти основні

сигнальні компоненти, ігноруючи шуми та аномалії в даних. Для аналізу вихідних сигналів датчиків, які використовуються в системах контролю та управління використаний може бути використаний метод сингулярного спектрального аналізу, який дозволяє виявити сховані структури та закономірності в часових рядах шляхом попередньої фільтрації та обробки даних термодаталітичних датчиків [34].

Сингулярний спектральний аналіз (SSA) відноситься до непараметричних методів аналізу часових рядів. Метою методу є розкладання числового ряду на інтерпретовані адитивні складові.

Нехай $N > 2$. Розглянемо реальний часовий ряд $F = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}$ довжини N . При цьому передбачається, що ряд F є ненульовим, тобто існує принаймні один індекс i , для якого $f_i \neq 0$.

Базова процедура аналізу даного часового ряду складається з двох послідовних і взаємодоповнюючих етапів: розкладання та відновлення. Перший з них, розкладання, включає два підетапи — створення вкладення та виконання сингулярного розкладання.

Процедура вкладення призначена для перетворення одномірного часового ряду у послідовність багатовимірних векторів, що дозволяє виявляти приховані просторово-часові залежності та структури в даних. Нехай L — це ціле число, що визначає довжину вікна аналізу, при цьому виконується умова $1 < L < N$. Процедура вкладення формує $K = N - L + 1$ векторів вкладення, кожен з яких являє собою підрядок оригінального часового ряду довжиною L .

Таким чином, вихідний одномірний ряд перетворюється у матрицю розмірності $L \times K$, яка називається траекторною матрицею або матрицею вкладення. Це перетворення дозволяє надалі застосовувати методи багатовимірної аналізу, включаючи сингулярне розкладання, для виділення основних компонент, визначення структурних залежностей та очищення ряду від шуму.

Після завершення етапу вкладення виконується сингулярне розкладання, яке розкладає траекторну матрицю на суму простих ортогональних матриць,

що дозволяє отримати інтерпретовані компоненти ряду і забезпечує основу для наступного етапу — реконструкції початкового сигналу.

$$X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T \quad (3.16)$$

При $1 \leq i \leq K$ мають розмірність L . Ці вектори називаються векторами L -вкладання. Позначимо через X матрицю, складену з векторів вкладання:

$$X = [X_1 : \dots : X_K]$$

Іншими словами, траєкторна матриця має вигляд:

$$X = (x_{ij})_{i,j=1}^{L,K} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Вкладання є стандартною процедурою аналізу часових рядів. Після цього в цьому методі застосовується сингулярне розкладання траєкторної матриці ряду.

Нехай $S = XX^T$ симетрична матриця, яка утворена у процесі сингулярного спектрального аналізу. Позначимо через $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ власні числа матриці S , розташовані у порядку невід'язного зростання. Завдяки симетричності матриці S її спектр є дійсним. Введемо також систему ортонормованих власних векторів U_1, \dots, U_L , де кожен вектор U відповідає власному числу λ_i .

Нехай $n = \max \{i: \lambda_i > 0\}$. Якщо позначити:

$$V_i = \frac{X^T U_i}{\sqrt{\lambda_i}}, i = 1, \dots, d \quad (3.18)$$

то сингулярне розкладання матриці X може бути записане у вигляді:

$$X = X_1 + \dots + X_d \quad (3.19)$$

де кожна з матриць $\sqrt{\lambda_i} u_i v_i^T$ має ранг 1 і, відповідно, може розглядатися як елементарна матриця. Сукупність трьох компонент $(\sqrt{\lambda_i} u_i v_i^T)$ називається i -ю власною трійкою сингулярного розкладання.

Після завершення етапу розкладання здійснюється процес відновлення початкового часового ряду, який включає два ключових кроки: угруповання та діагональне усереднення.

Процедура угруповання полягає в розподілі множини індексів $\{1, 2, \dots, n\}$ на m неперетинних підмножин I_1, I_2, \dots, I_m на основі отриманого розкладання. Для кожної групи формується результуюча матриця

$$X_I = X_{I_1} + \dots + X_{I_p} \quad (3.20)$$

Такі матриці обчислюються для $I = I_1, \dots, I_m$, тим самим розкладання може бути записано у згрупованому вигляді

$$X = X_{I_1} + \dots + X_{I_m} \quad (3.21)$$

Процедура формування груп зазвичай називається угрупованням власних трійок, і її мета полягає у виділенні компонент ряду з подібними характеристиками.

Заключним етапом сингулярного спектрального аналізу є діагональне усереднення. На цьому етапі кожна матриця згрупованого розкладання перетворюється на одномірний ряд довжини N , відновлюючи початковий часовий ряд із врахуванням структури отриманих компонент.

Нехай Y - деяка матриця розміром $L \times K$ з елементами y_{ij} , де $1 \leq i \leq L, 1 \leq j \leq K$. Позначимо $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$ та $N = L + K - 1$. Введемо індекс $k = i + j - 1$, що відповідає діагоналі матриці.

Тоді діагональне усереднення перетворює матрицю Y у одновірний ряд g_0, \dots, g_{N-1} за формулою

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m,k-m+2}^*; & 0 \leq k \leq L^* - 1 \\ \frac{1}{L^*} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m,k-m+2}^*; & L^* - 1 \leq k \leq K^* \\ \frac{1}{N-k} \sum_{m=k-K^*+2}^{N-K^*+1} y_{m,k-m+2}^*; & K^* \leq k \leq N \end{cases} \quad (3.22)$$

Застосовуючи діагональне усереднення до всіх згрупованих матриць X_{ik} , отримуємо m одновірних рядів $f^{(k)} = (f_0^{(k)}, \dots, f_{N-1}^{(k)})$. Таким чином, вихідний часовий ряд F розкладається на суму m компонентних рядів:

$$f_n = \sum_{k=1}^m f_n^{(k)} \quad (3.23)$$

Застосування сингулярного спектрального аналізу може допомогти вирішити такі проблеми при обробці даних:

1. Скорочення розмірності даних: SSA дозволяє розкласти складний часовий ряд на його базисні компоненти (сингулярні числа та сингулярні вектори), що знижує розмірність даних. Це спрощує аналіз та візуалізацію даних, а також допоможе виявити головні складові тимчасового ряду.

2. Фільтрування шуму та аномалій: SSA може виділяти основні сигнальні компоненти, ігноруючи шум та аномалії в даних. Це особливо корисно, якщо дані містять випадкові варіації чи артефакти.

3. Виділення трендів та циклів: SSA допомагає виділити тренди, цикли та сезонні коливання в даних, що може бути важливим для розуміння тимчасових закономірностей та прогнозування.

4. Заснований на SSA аналіз може використовуватися для прогнозування майбутніх значень часового ряду на основі виділених компонентів.

5. SSA дозволяє порівнювати фактичні дані з модельними прогнозами, що може допомогти виявити аномальні події чи зміни даних.

6. Аналіз сигналів та варіабельності: SSA може бути використаний для аналізу сигналів, включаючи обробку тимчасових даних із різних джерел.

7. Розкладання складних даних на компоненти: SSA поділяє вихідні дані на набір компонентів, кожна з яких відображає різні аспекти часового ряду. Це дозволяє більш глибоко зрозуміти структуру даних та виділити ключові патерни.

8. Дослідження структури даних: SSA може використовуватися для виявлення основних закономірностей та структури даних, що полегшує аналіз та інтерпретацію даних.

Застосування SSA може значно спростити аналіз часових даних та обробку складних часових рядів, дозволяючи досліджувати їхню структуру, виділяти ключові компоненти та зменшувати вплив шуму.

Для оцінки можливості використання сингулярного спектрального аналізу в системах контролю вибухонебезпечності для фільтрування шуму та аномалій було проаналізовано дані моніторингу вихідних сигналів датчиків за різних режимів їх роботи.

На рис. 3.12 приведено результати обробки SSA вихідного сигналу датчика при відсутності спрямованого руху контрольованого середовища. Відновлений за першими двома значимими компонентами сигнал датчика відображає динаміку зміни концентрації вибухонебезпечного компонента в повітрі. При цьому сигнал відфільтрований від неінформативних шумів та аномалій.

Вихідний сигнал датчика фактичний та відновлений за першими двома значимими компонентами за наявності спрямованого руху контрольованого середовища (рис. 3.13) також відображає динаміку зміни концентрації вибухонебезпечного компонента в повітрі і відфільтрований від шумів та

аномалій. В свою чергу відновлений за першими сімома значимими компонентами (рис. 3.14) цей же сигнал датчика містить гармонічну складову обумовлену наявністю макротурбулентних збурень (вихорів) в контрольованому середовищі.

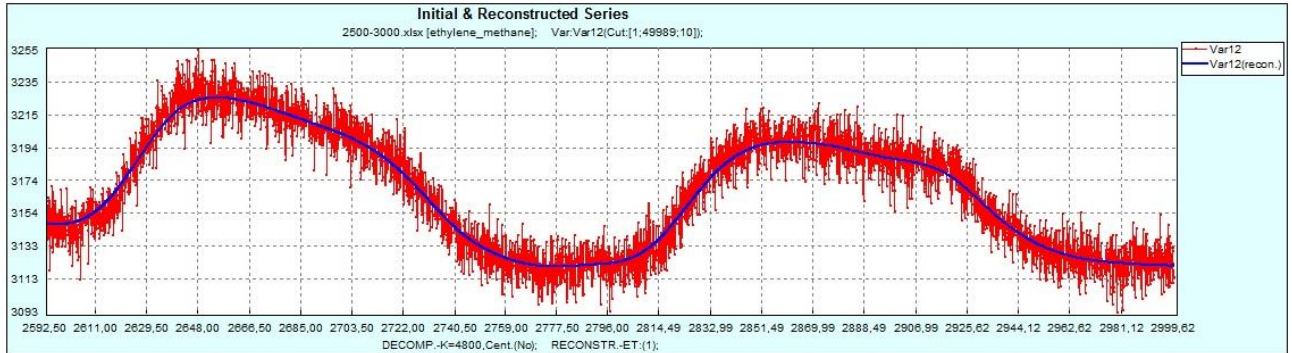


Рис. 3.12.– Вихідний сигнал датчика фактичний та відновлений за першими двома значимими компонентами за відсутності спрямованого руху контрольованого середовища

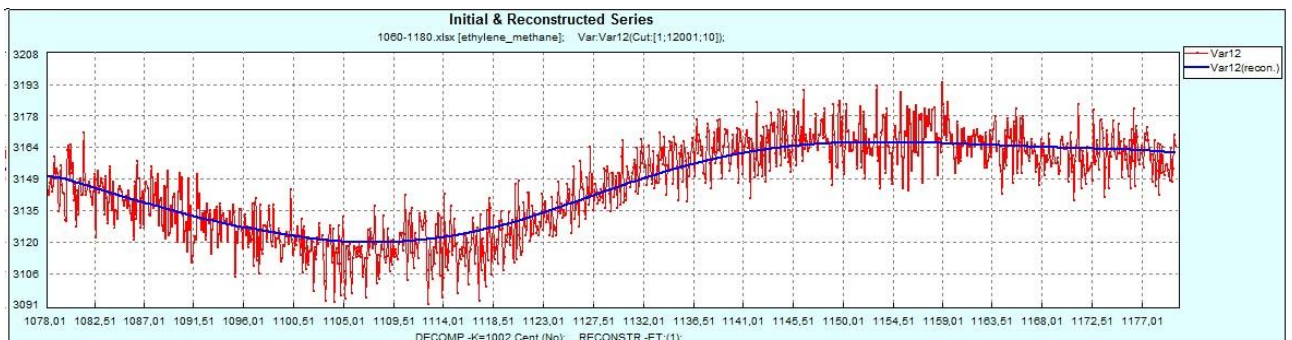


Рис. 3.13. Вихідний сигнал датчика фактичний та відновлений за першими двома значимими компонентами за наявності спрямованого руху контрольованого середовища

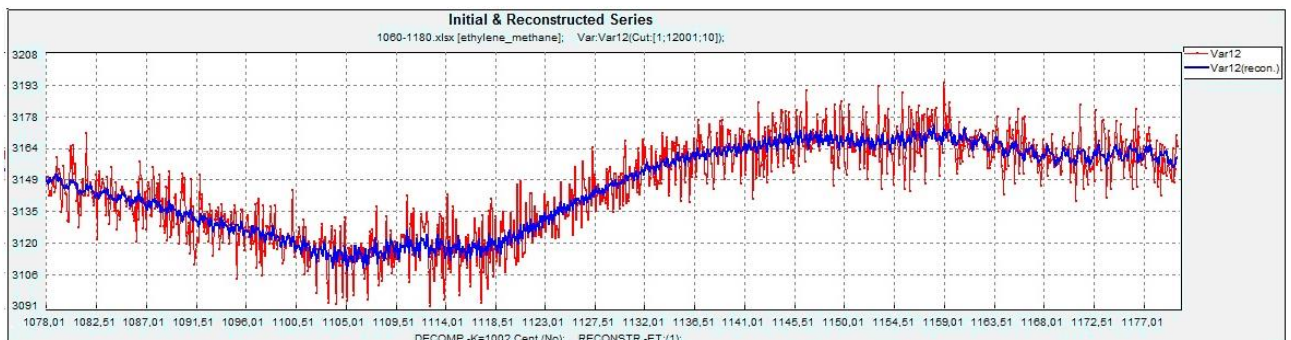


Рис. 3.14. Вихідний сигнал датчика фактичний та відновлений за першими сімома значимими компонентами за наявності руху контрольованого середовища

Таким чином, розкладаючи складні для аналізу сигнали на компоненти, SSA поділяє вихідні дані на набір компонентів, кожен з яких відображає різні аспекти часового ряду. В даному випадку поява гармонічної складової при відновленні сигналу за першими сімома значимими компонентами свідчить про наявність спрямованого руху середовища. Частота макротурбулентних збурень за постійних геометричних розмірів виносного датчика залежить від швидкості середовища, а відносна амплітуда гармонічної складової - від дифузійної провідності фільтрів датчиків [34]. В перспективі використання SSA в системах контролю вибухонебезпечності дозволяє суттєво розширити їх функції, в тому числі виявити паливоповітряні викиди на об'єктах нафто-паливного комплексу та оцінити їх обсяги, виявити суттєві забруднення газодифузійних фільтрів датчиків, випадки обмеження доступу до них контрольованого середовища та зміни місця розташування,. Все це обумовлює необхідність проведення подальших досліджень в даному напрямку.

Запропонований підхід до контролю викидів на об'єктах нафто-паливного комплексу дозволяє підвищити швидкість обробки вихідних даних датчиків та якість інформації. Таким чином одним із перспективних методів який можливо використати для попередньої обробки часових рядів вихідних даних датчиків в системах керування та контролю є метод сингулярного спектрального аналізу.

Висновки до розділу 3.

1. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження дозволили підтвердити практичну можливість застосування термokatалітичних датчиків у складі систем моніторингу умов праці для ефективного контролю концентрації парів бензину у повітрі робочих зон об'єктів нафтопаливного комплексу. Дослідження показали, що необхідний рівень чутливості термokatалітичних

газоаналізаторів для визначення вмісту парів бензину у межах гранично допустимих концентрацій (ГДК) можна досягти шляхом правильної організації режиму живлення датчика зі стабілізацією напруги на порівняльному елементі, а також через періодичне автоматичне виконання процедур перевірки та корекції нульових показань газоаналізатора.

2. Запропоновані технічні та організаційні рішення щодо підвищення чутливості газоаналізаторів створюють можливість використання відносно простих у конструкції, стабільних та економічно доступних термokatалітичних датчиків у системах моніторингу робочого середовища. Це, у свою чергу, відкриває перспективи для впровадження сучасних інформаційних технологій у сфері охорони праці та забезпечення безпеки працівників, забезпечуючи одночасно контроль за концентрацією парів бензину у повітрі робочих зон.

3. Аналіз особливостей функціонування термokatалітичних датчиків у багатокомпонентних сумішах парів бензину вказує на те, що виділення тепла на робочому термоелементі при однаковій масі компонентів палива демонструє певні відмінності. Це пов'язано з тим, що тепловий ефект залежить від добутку нижчої теплоти згоряння кожного компоненту і його коефіцієнта дифузії у газовому середовищі. Найбільша чутливість датчика спостерігається відносно найбільш легких складових бензину, таких як пентан, бензол та толуол. Для більш важких вуглеводнів, що входять до складу бензину, чутливість датчика поступово знижується.

4. З огляду на мінливий та непостійний склад парів бензину, налаштування газоаналізатора рекомендується проводити за допомогою повірочної суміші одного з компонентів, тепловиділення при окисненні якого близьке до середнього значення тепловиділення від усіх складових бензину. У практичному застосуванні доцільно використовувати суміш гексану в повітрі як стандартну повірочну суміш. Виконання такого налаштування дозволяє зменшити очікувану похибку вимірювання маси викидів парів бензину, пов'язану зі зміною складу парів, до рівня не більше ніж 5%.

5. Вихідний сигнал термokatалітичного датчика у робочому газоаналізаторі пропорційний концентрації парів бензину у паливоповітряній суміші за умови, що лімітуючим агентом, який визначає швидкість хімічної реакції на поверхні каталітично активного елемента, є саме пари бензину. Якщо концентрація парів бензину перевищує значення, при якому досягається стехіометричне співвідношення дифузійних потоків парів бензину та кисню до поверхні активного елемента, лімітуючим компонентом стає кисень повітря. У такому випадку кількість тепла, що виділяється на робочому термоелементі, пропорційна потоку кисню до його поверхні, а не вмісту парів бензину. Зважаючи на цей ефект, для забезпечення коректного вимірювання викидів парів бензину у всьому діапазоні концентрацій необхідно попередньо підготувати контрольовану суміш шляхом дозованої подачі атмосферного повітря у вимірювальну камеру разом із газовою сумішшю, що надходить на датчик.

6. Запропоновано новий підхід до контролю вибухонебезпечності об'єктів нафто-паливного комплексу на основі методів, що дозволяють пришвидшити швидкість обробки вихідних даних датчиків та підвищити якість інформації. Показано, що одним із перспективних методів який можливо використати для попередньої обробки часових рядів вихідних даних датчиків в системах керування та контролю є метод сингулярного спектрального аналізу, використання якого дозволяє здійснити фільтрацію даних, виявити сховані структури та закономірності, здійснювати прогнозування змін на основі аналізу попередньої інформації, виявити аномалії і нештатні ситуації, приймати більш обґрунтовані рішення.

7. Застосування сингулярного спектрального аналізу в системах контролю вибухонебезпечності об'єктів дозволяє виділяти основні компоненти у складних системах, що сприяє більш точному та ефективному управлінню процесами. Це особливо важливо в умовах сучасних високотехнологічних виробництв, де складність та масштабність технологічних процесів потребують нових підходів до управління. Застосування сингулярного спектрального аналізу в системах

управління дозволяє автоматизувати процеси моніторингу та контролю, що знижує ймовірність людських помилок та забезпечує більш високу чуйність системи на зміни у виробничому середовищі.

8. Проведені експериментальні та аналітичні дослідження дають підстави рекомендувати використання термokatалітичних датчиків у складі систем моніторингу організованих викидів на об'єктах нафтопаливного комплексу. Впровадження таких датчиків дозволяє не лише здійснювати постійний контроль концентрацій парів нафтопродуктів у викидах, але й обґрунтовано формувати нормативні вимоги щодо допустимих втрат палива та гранично допустимих рівнів викидів. Використання термokatалітичних сенсорів у системах моніторингу значно прискорює процес розробки та впровадження ефективних організаційних і технічних заходів, спрямованих на зниження шкідливого впливу викидів на навколишнє середовище та здоров'я людей.

Результати дослідження щодо питань розділу 3 відображено в роботах за участю автора [4, 32, 33, 34].

Література до розділу 3

1. International Labour Organization (ILO). Safety and Health at the heart of the Future of Work: *Building on 100 years of experience (Report, Geneva)*. 2019. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_686645.pdf
2. Приміський В.П. Івасенко В.М. Станції контролю атмосфери: стан та перспективи розвитку. *Метрoлогія та прилади*. 2012. № 1. С.43-49.
3. Holinko O., Yuldasheva N., Zhartay Z., Mirzoieva T., Petrychenko O. and Hulevets V. (2023) Methodology of creation and development of information systems for technological safety of mining facilities. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 6. 127-133.
4. Golinko V., Zabelina V. Use of thermocatalytic sensors in systems for monitoring working conditions at oil and fuel facilities. ВІСТІ Донецького

гірничого інституту, №1(54), 2024.- С.26-34. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-1-26-33>

5. Risher, J. F., Rhodes, S. W. Toxicological profiles for fuel oils. Washington: US Department of Health and Human Services, 1995. – 168 p.

6. Франчук Г.М., Николяк М.М. Аналіз даних про токсичність паливо-мастильних матеріалів. *Вісник НАУ*. 2007. №3–4. С. 117-121.

7. Івасенко В.М., Приміський В.П. Методи і прилади контролю викидів автозаправних станцій. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2014. № 60 (1102). С. 174-180.

8. Бойченко С. В. Рефрактометричний метод визначення втрат палив від випаровування. *Методи і прилади контролю якості*. 2000. № 6. С. 87–90.

9. Tahani Aldhafeeri, (2020) A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives / Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk , Michael Pope, Michael Fowler / *Inventions* 2020, 5, 28

10. Yuri Koval (2012) New semiconductor MEMS gas sensors from FIGARO ENGINEERING. *CHIP NEWS Ukraine*, 3(113), 52-55.

11. Vasyl Holinko, Roman Dychkovskyi, Artur Dyczko, Marcin Popczyk. Methane from Underground Coal Mines in Ukraine: Elements of Acquisition and Management Processes: monograph. KOMAG Institute of Mining Technology. 2024. 108 s. <https://doi.org/10.32056/KOMAG/Monograph2024.3>

12. Сигналізатори-аналізатори газів переносні багатокomпонентні ДОЗОР-С-М. Настанова з експлуатації. НВП «Оріон». 2022. 48 с. <https://optima-shop.com.ua/uk/zavantagennya>

13. Алексеев М.О, Голінько О.В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термokatалітичних газоаналізаторів. *Збірник наукових праць НГУ*. 2018. № 53. С. 223-229.

14. Ivasenko V.M. (2015) Gas stations: investigation of emissions, impact on the environment. *Tekhnolohycheskyu audyt y rezervy proyzvodstva*. №1/2(21), 8-12. <https://journals.uran.ua/tarp/article/download>

15. Periago J., Prado C. (2015) Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations. *Annals of Occupational Hygiene*. №49. 233-240. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15650017/>
16. Tahani Aldhafeeri, Manh-Kien Tran, Reid Vrolyk, Michael Pope, Michael Fowler. (2020) A Review of Methane Gas Detection Sensors: Recent Developments and Future Perspectives. *Inventions*. 5(3), 28. <https://www.mdpi.com/2411-5134/5/3/28>
17. Ivasenko, V.M., Primysky, V.P. (2014) Methods and devices for controlling gas station emissions. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Seriya: Mekhaniko-tekhnologichni systemy ta kompleksy*. №60(1102). 174-180. <http://www.kpi.kharkov.ua › archive › vestnik>
18. Yuri Koval (2012) New semiconductor MEMS gas sensors from FIGARO ENGINEERING. *CHIP NEWS Ukraine*, 3(113), 52-55. <https://storage.sea.com.ua/files/links/mems-datciki-gaza-figarocnno320121504002845.pdf>
19. Rachid Laref, Diaa Ahmadou, Etienne Losson, Maryam Siadat (2017) Orthogonal Signal Correction to Improve Stability Regression Model in Gas Sensor Systems. *Journal of Sensors*. Volume 2017. <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/9851406/>
20. Vovna, O.V., Zori, A.A., Akhmedov, R.M. (2017) Increasing the accuracy of the optoelectronic methane concentration meter of coal mines *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats'. «Elektroenerhetyka ta peretvoryuval'na tekhnika»*. Kharkiv. NTU "KhPI". №4 (1226). 19–24. <https://repository.kpi.kharkov.ua › core › content>
21. Vovna, O.V., Zori, A.A., Khlamov, M.G. (2010) Method of compensating for dynamic error of infrared methane concentration meter for coal. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Zbirnyk naukovykh prats'. «Elektroenerhetyka ta peretvoryuval'na tekhnika»*. Kharkiv. NTU "KhPI". №2. 65–70. <https://repository.kpi.kharkov.ua › download>

22. Primysky V.P. Ivasenko V.M. (2012) Atmospheric monitoring stations: status and development prospects. *Metrolohiya ta prylady*. №1. 43-49. <https://repository.kpi.kharkov.ua › download>

23. Голинько В.И., Белоножко А.В., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности газовых смесей при аварийных загазованиях горных выработок шахт: монография. Национальный горный университет. Днепропетровск: НГУ, 2014. 209 с.

24. Holinko O., Yuldasheva N., Zhartay Z., Mirzoieva T., Petrychenko O., Hulevets V. Methodology of creation and development of information systems for technological safety of mining facilities. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, № 6, 127-133. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-6/127>

25. Голінько В.І., Голінько О.В. Теоретико-методологічні засади комп'ютерного моніторингу систем вибухозахисту. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2023, №2-37, С. 34-41. <https://iktv.donntu.edu.ua/№2-372023/> <https://iktv.donntu.edu.ua/№2-372023/>

26. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматичний контроль чутливості датчиків стаціонарних термокatalітичних аналізаторів метану, Гірничий вісник, Криворізький національний університет, 2020 – випуск 107. – С. 16-22. <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/152372>

27. Алексеев М.О., Голінько О.В. Автоматична діагностика стану стаціонарних термокatalітичних газоаналізаторів. Збірник наукових праць НГУ, Д.: ДВНЗ «НГУ», 2018 – № 53 – С. 223-229. <http://iomining.in.ua/ua/homeua/journal/107ua/#107>

28. Голінько В.І., Голінько О.В. Методи та алгоритми контролю стану газодифузійного фільтра аналізаторів метану. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», 2022, №2-35, 2023-№1-36. С. 22-29. <https://iktv.donntu.edu.ua/№2-35-2022-№136-2023/>

29. Boychenko S.V., Ivanov S.V., Fedorovych L.A. (2004) The relationship between evaporation losses and gasoline conditioning. *Visnyk NAU*. № 4, 58-64. <https://core.ac.uk/download/pdf/296358699.pdf>

30. ДСТУ 4160-2003 «Нафтопродукти. Визначення тиску насиченої пари. Метод Рейда» https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=62350

31. Shankar, R., Choudhary, D., Jharkharia, S. (2018). An integrated risk assessment model: A case of sustainable freight transportation systems. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 63, 662-676. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2018.07.003>.

32. Holinko, V., Zabelina, V., Holinko, O., & Kuznetsov, O. (2025). Investigation of the operation of thermocatalytic sensors in explosion hazard monitoring systems for technogenic objects. *Mining of Mineral Deposits*, 19(1), 142-150. (Наукометрична база SCOPUS) <https://doi.org/10.33271/mining19.01.142>

33. Голінько В.І., Забеліна В.А. Контроль вмісту парів бензину в організованих викидах автозаправних станцій. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*, №2 (55), 2024, с. 106-112. <https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-106-112>.

34. Holinko O. V., Alekseev M. O., Holinko V. I., Zabelina V. A. (2025) Application of singular spectral analysis in control systems of technological processes and explosion safety control of facilities. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2025, №1, 209-219. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-19>

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, що є завершеною науковою роботою, подано вирішення актуального науково-прикладного завдання з обґрунтування заходів спрямованих на підвищення рівня технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки на основі оцінки професійних ризиків, зумовлених шкідливими і небезпечними умовами праці, встановлення їх пріоритетності та обґрунтування рішень, спрямованих на зниження числа пріоритетності виявлених ризиків.

1. Виконано аналіз умов праці на об'єктах нафтопродуктозабезпечення та робіт вчених, які присвячені цим питанням. Показано, що серед найбільш

розповсюджених об'єктів, на яких використовуються хімічні речовини здатні спричиняти шкідливий вплив на працівників є сховища паливних матеріалів та автозаправні станції (АЗС). Розглянуті процеси утворення, розповсюдження та накопичення парів палива в приміщеннях АЗС і на прилеглий території та досліджений їх вплив на працівників.

2. Проведена оцінка сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки як об'єктів підвищеної небезпеки та виконана оцінка їх впливу на оточуюче навколишнє середовище. Показано, що найбільш поширеними надзвичайними ситуаціями, які спричиняють великі економічні збитки і загибель працівників та населення є пожежі та вибухи. До значних збитків призводять викиди парів бензину та інших нафтопродуктів. Цей збиток полягає не тільки у втраті коштовних енергетичних ресурсів, але й у шкідливому впливі на довкілля та погіршенні якості нафтопродуктів.

3. Виконано аналіз існуючих методів до оцінювання професійного ризику, зумовленого шкідливими умовами праці. Запропоновано новий підхід до встановлення серйозності наслідків дії шкідливих чинників, який полягає у врахуванні закономірностей процесу виникнення професійних і виробничо-зумовлених захворювань працівників, наявних механізмів їх попередження та оцінки поширеності різних захворювань в визначених професійних групах з конкретними умовами праці та їх зв'язку з експозицією шкідливих чинників виробничого середовища.

4. Проведено аналіз процесу планування та виконання робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків пунктів заправки паливними матеріалами. Виявлено, що найбільш небезпечною ситуацією, яка може з високою ймовірністю привести до аварійної ситуації являється накопичення парів бензину в технологічному обдажнанні за наявності витоків нафтопродуктів внаслідок порушення герметичності з'єднань, оскільки за наявності витоків нафтопродуктів тут з високою імовірністю може утворюватися вибухонебезпечна суміш парів палива і повітря, вибух якої здатний спричинити

тяжкі наслідки, а крім того ця подія, на відміну від випадкового розливу чи переливу палива, може бути тривалий час не виявлена.

5. Обґрунтовані рішення, спрямовані на підвищення надійності систем контролю умов праці на об'єктах нафтопаливного комплексу. Показано, що в системах моніторингу умов праці для контролю вмісту парів бензину в повітрі робочої зони можливе використання термokatалітичних датчиків. При цьому чутливість термokatалітичних газоаналізаторів, яка необхідна для контролю вмісту парів бензину в межах гранично допустимих концентрацій (ГДК), може бути забезпечена шляхом вибору режиму живлення датчика зі стабілізацією напруги на порівняльному елементі та здійснення періодичної автоматичної перевірки та корегування нульових показань газоаналізаторів.

6. Обґрунтовані рішення, спрямовані на підвищення надійності систем вибухозахисту сховищ паливних матеріалів і пунктів заправки. Встановлено, що при контролі вибухонебезпечності паливоповітряних сумішей термokatалітичними датчиками, максимальне значення вихідного сигналу вимірювального моста спостерігається при концентрації парів палива що забезпечує повне відновлення сорбованого каталізатором кисню, а при більшій концентрації парів палива, коли для його повного окислення на поверхні каталізатора недостає кисню, спостерігається зниження вихідного сигналу вимірювального моста. Показано, що на відміну від газоповітряних сумішей, зниження вихідного сигналу моста в області високих концентрацій парів горючих компонентів до нуля неможливе, а мінімальне значення вихідного сигналу моста залежить від величини парціального тиску кисню в паливоповітряній суміші при її насиченні парами бензину, що забезпечує однозначність спрацювання засобів вибухозахисту в усьому можливому діапазоні вибухонебезпечних концентрацій парів палива

7. Обґрунтовані рішення, спрямовані на контроль організованих викидів парів палива в довкілля. Встановлено, що тепловиділення на робочому термоелементі пропорційне масовому вмісту компонентів палива та добутку коефіцієнта дифузії компоненту і його нижчої теплоти згорання. Найбільша

чутливість датчика характерна до таких летких складових бензину як пентан, бензол, толуол та ін. Чутливість датчика до більш важких вуглеводнів знижується. Показано, що вихідний сигнал термокаталітичного датчика лінійно залежить від концентрації парів бензину в паливоповітряній суміші лише за умови, що в паливоповітряній суміші ці пари є лімітуючим агентом і визначають швидкість реакції.

8. Обґрунтовані рішення, що дозволяють пришвидшити обробку вихідних даних термокаталітичних датчиків та підвищити їх інформативність. Показано, що в системах керування та контролю для цього доцільне використання сингулярного спектрального аналізу (SSA). Його, використання дозволяє виконати фільтрацію даних, виявити сховану інформацію та закономірності, прогнозувати зміни стану датчиків, виявити аномалії, що дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення. Застосування в системах контролю SSA дозволяє виділяти інформативні компоненти у складних сигналах, що сприяє більш точному та ефективному управлінню процесами. Застосування SSA в системах управління дозволяє автоматизувати процеси моніторингу та контролю, що знижує ймовірність людських помилок та забезпечує більш високу чутливість системи до змін у виробничому середовищі.

9. Проведені дослідження показали на доцільність використання термокаталітичних датчиків в системах моніторингу організованих викидів об'єктів нафтопаливного комплексу, що дасть можливість обґрунтувати вимоги до нормативів втрат палива і гранично допустимих значень викидів, та прискорити процес розробки та впровадження ефективних заходів щодо їх зниження. Раннє виявлення потенційних проблем у технологічних процесах та швидке реагування на них знижує ризики аварій, підвищує загальну безпеку та економічну ефективність виробництва.

ДОДАТКИ

Погоджено

Заступник Генерального Директора

ТОВ «Альянс Холдинг»

І.М. Джулай

«08» вересня 2024 р.

**Затверджено**

Проректор з наукової роботи

НТУ «Дніпровська політехніка»

д. г-м. н., І.С. Нікітенко

«11» вересня 2024 р.

**ПОЛОЖЕННЯ**

**про ідентифікацію небезпек та розрахунок числа пріоритетності
ризиків пунктів заправки паливних матеріалів**

Розроблено

Завідувач кафедри охорони праці та
цивільної безпеки
НТУ «Дніпровська політехніка»,

д.т.н., Голінько В.І.

«08» вересня 2024 р.

Аспірант кафедри охорони праці та
цивільної безпеки

НТУ «Дніпровська політехніка»,

Забеліна В.А.

«08» вересня 2024 р.

Зміст:

1. Призначення	2
2. Сфера застосування	2
3. Відповідальність.....	3
4. Терміни, визначення та скорочення.....	4
5. Загальні положення.....	5
6. Порядок ідентифікації небезпек та оцінювання ризиків	6
7. Періодичний аналіз актуальності ризиків	9
Додаток 1 Шкали значимості фактору серйозності, ймовірності та можливості виявлення	10
Додаток 2. Критерії оцінки ризику.....	11
Додаток 3. Карта з розрахунку числа пріоритетності ризику	12
Додаток 4. Класифікатор небезпек	13

1. Призначення

1.1 Це положення встановлює порядок планування та проведення робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків при експлуатації сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки, що містять у собі:

- планування та організацію робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків;
- ідентифікацію небезпек та оцінювання ризиків;
- прийняття рішень щодо необхідності проведення дій з попередження ризиків;
- документування та оновлення інформації про ризики;
- доведення інформації про ризики та заходи з керування ними до відповідальних виконавців.

2. Сфера застосування

2.1 Положення даної процедури поширюються на пункти заправки паливних матеріалів ТОВ «Альянс Холдинг», Shell Retail Ukraine .

3. → Відповідальність ¶

3.1) Вище керівництво відповідає за: ¶

- → демонстрування особистого прикладу лідерства і відданості принципам забезпечення високого рівня безпеки і гідних умов праці та забезпечення підтримки керівників підрозділів щодо демонстрації ними свого лідерства в такому обсязі та вигляді, що відповідають їхній зоні відповідальності; ¶
- → забезпечення процесу планування та проведення робіт з ідентифікації небезпек та оцінки ризиків пунктів заправки паливними матеріалами усіма необхідними ресурсами. ¶

3.2) Представник вищого керівництва -- відповідальний за систему управління безпекою відповідає за: ¶

- → організацію та планування робіт з ідентифікації небезпек, оцінки ризиків; ¶
- → координацію та організацію заходів, спрямованих на керування ризиками; ¶
- → надання методологічної допомоги в проведенні ідентифікації небезпек, оцінки ризиків керівникам структурних підрозділів; ¶
- → надання вищому керівництву інформації про ризики АЗС. ¶

3.3) Начальник структурного підрозділу відповідає за: ¶

- → організацію та проведення навчання працівників з ідентифікації небезпек, оцінки ризиків; ¶
- → формування «Класифікатору небезпек»; ¶
- → документування та оновлення інформації про небезпеки та оцінку ризиків; ¶
- → організацію і проведення робіт з ідентифікації небезпек, оцінки ризиків; ¶
- → проведення періодичного перегляду складу та оцінок ризиків не-

рідше одного разу на рік, або за необхідності (при суттєвих змінах, впровадженні нових продуктів, послуг та процесів або змін, пов'язаних з наявними продуктами, послугами та процесами розміщення робочих місць, виробничого середовища, організації робіт, умов праці, устаткування, трудових ресурсів, змін в законодавчих та інших вимогах, у знаннях або інформації про відмови чи ризики, розвитку знань і технологій з безпеки праці);¶

- → оформлення «**Карт ідентифікації небезпек та оцінки ризиків**» (**карта ризиків**) та своєчасне надання їх відповідальному за систему управління безпекою;¶

- → своєчасне виконання заходів з керування ризиками;¶

- → аналіз наслідків незапланованих змін та вжиття заходів для зменшення негативних впливів;¶

- → ознайомлення працівників підрозділу з оцінкою ризиків;¶

- → забезпечення участі в процесі оцінки ризиків компетентних осіб з належною кваліфікацією.¶

3.4 → Працівники несуть відповідальність за:¶

- → дотримання під час виконання своєї роботи вимог стандартів та інструкцій, пов'язаних з виявленими небезпеками та оцінкою їх ризиків;¶

- → своєчасне інформування своїх керівників щодо виявлення нових неврахованих небезпечних умов, інших випадків, інцидентів щодо порушення вимог інструкцій та рекомендацій.¶

4. → Терміни, визначення та скорочення¶

▲ 4.1 → Терміни та визначення наведені згідно стандартів ДСТУ ISO 45001:2019, ДСТУ ІЕС 31010:2013, ДСТУ 7687:2015, ДСТУ ISO Guide 73:2009 та ін.¶

Зацікавлена сторона -- особа або організація, яка може вплинути на (або на них може вплинути, а також відчувати себе під впливом) рішення або діяльність підприємства;¶

Встановлення контексту (середовища) – визначення зовнішніх і внутрішніх параметрів, які слід взяти до уваги під час керування ризиками, а також встановлення області та критеріїв ризику для політики ризик-менеджменту;

Небезпека – джерело ризику;

Невідповідність – невиконання вимоги;

Ризик – поєднання імовірності (частоти) виникнення пов'язаної з настанням небезпечної події або впливу і тяжкості наслідків, які можуть бути викликані цією подією або впливом;

Ідентифікація небезпек – процес знаходження, розпізнавання і опису небезпек;

Аналіз ризику – процес розуміння природи ризику і визначення рівня ризику;

Критерії оцінки рівня ризику – дані, за якими оцінюється прийнятність ризику;

Число пріоритетності ризику (RPN) — напівкількісна міра критичності, яку одержують множенням чисел ранжувальних шкал (зазвичай між 1 та 10), що відповідають тяжкості наслідку на ймовірність настання події та спроможність виявити проблему.

Визначення ступеня ризику – процес порівняння результатів аналізу ризику з критеріями ризику для визначення того, чи можна прийняти величину ризику.

Джерело ризику – елемент, який сам по собі або в комбінації з іншими має внутрішній потенціал для виникнення ризику.

Керування ризиками – скоординовані дії для управління організацією з урахуванням ризику.

Підрядник – зовнішня організація, що надає послуги підприємству відповідно до погоджених вимог, строків та умов.

5. Загальні положення

5.1 Число пріоритетності ризику визначається за усіма видами небезпек щорічно.

5.2 Завдання з розрахунку числа пріоритетності ризику (до 1 лютого) формується відповідальним за систему управління безпекою та доводиться до керівників підрозділів у вигляді розпорядження.

5.3 Керівники структурних підрозділів організують проведення розрахунку числа пріоритетності ризику у терміни згідно розпорядження.

5.4 За основу для розрахунку рівнів ризиків потрібно брати найбільш серйозні можливі наслідки та причини.

5.5 На підприємстві прийнято розраховувати число пріоритетності ризику за формулою:

$$RPN=S \times O \times D \text{ (1),}$$

де: S – числове значення фактору серйозності наслідків події;

O – ймовірність настання події;

D – спроможність виявити подію.

5.7. Шкали значимості фактору серйозності, ймовірності та спроможності, наведені в додатку 1.

6. Порядок ідентифікації небезпек та оцінювання ризиків

6.1 Відповідальний за систему управління безпекою з періодичністю 1 раз на рік не пізніше 20 числа першого місяця визначає:

- зовнішні та внутрішні чинники, які впливають на стан безпеки АЗС, умови праці та довкілля і здійснює їх аналіз (**Аналіз робочого середовища організації**);

- зацікавлені сторони, та робить аналіз їх потреб та очікувань.

6.2 Відповідальний за систему управління безпекою розробляє **Класифікатор** небезпек, який переглядає не рідше одного разу на рік не пізніше 20 січня та затверджує у керівника організації.

6.3 Ідентифікація небезпек та розрахунок числа пріоритетності ризику проводиться з кожною небезпекою згідно **Класифікатора** небезпек.

6.4 Розрахунок числа пріоритетності ризиків проводиться:

- при введенні в експлуатацію об'єкта;
 - планово періодично (не рідше 1-го разу на рік) робочими групами підрозділів (в терміни згідно розпорядження, які мають бути узгодженими з термінами формування системи бюджету організації);
 - позапланово в разі настання небезпечної події, протягом одного місяця (перегляд існуючої карти ризиків чи оформлення нової карти ризиків у випадку появи неідентифікованої раніше небезпеки або невірно оціненого рівня ризику);
 - при змінах у технологічному процесі (наприклад: видів палива, реконструкції чи модернізації обладнання та інше);
 - при ухваленні рішення про коригування технологічних процесів.
- Розрахунок числа пріоритетності ризику містить у собі наступні завдання:
- ідентифікація небезпек, оцінка поточного рівня причин і наслідків подій;
 - визначення необхідних заходів щодо усунення чи зниження поточного рівня небезпек за рахунок:
 - усунення небезпеки - заходи зі зміни технологічного процесу таким чином, щоб повністю усунути впливовий фактор (найбільш ефективний засіб);
 - заміна процесів, операцій, матеріалів або устаткування;
 - застосування технічних засобів;
 - застосування адміністративних засобів – процедури, правила, нагляд, навчання, тренування, інструктаж тощо.
 - Джерелами необхідної інформації для проведення розрахунку числа пріоритетності ризику є:
 - існуючий опис технологічного процесу та технічна документація з експлуатації обладнання;
 - Аналіз робочого середовища організації;

- Аналіз потреб та очікувань працівників та інших зацікавлених сторін, в тому числі аналіз чинних законодавчих та нормативно-правових вимог, що відносяться до даного процесу;

- інформація про відхилення, небезпеки та порушення, виявлені раніше;

- результати внутрішніх аудитів;

- результати зовнішніх аудитів;

- Класифікатор небезпек ;

- інші дані та інформація про відхилення у процесах.

- Для оформлення Класифікатора небезпек можуть долучатись інші компетентні працівники, яких призначає керівник з якості.

6.5 Результати ідентифікації відмов відповідальний за систему управління безпекою заносить у класифікатор, після чого проводить оцінку поточного рівня ризику та робить висновок до прийнятності ризику згідно **Додатку 2**.

6.6 У випадках, коли ризик оцінено як «Неприйнятний» (Н), відповідальний за систему управління безпекою надає інформацію керівнику структурного підрозділу та керівнику організації. Надання послуг припиняють.

6.7 Керівник структурного підрозділу розробляє **Заходи до зниження ризику**, погоджує їх з керівником організації.

6.11 У випадках, коли ризик оцінено як «Прийнятний з перевіркою» (ПП), відповідальний за систему управління безпекою подає інформацію керівнику структурного підрозділу, який на підставі цього видає розпорядження про призначення відповідальної особи за здійснення перевірок та встановлює порядок і періодичність перевірок. **Заходи до зниження ризику** у цьому випадку не розробляються.

6.14 У випадках, коли ризик оцінено як «Прийнятний» (П), відповідальний за систему управління безпекою інформує про це керівника структурного підрозділу, **Заходи до зниження ризику** не розробляються.

6.15 У разі виявлення потреби та можливості зниження рівня ризику, що визначений як «Прийнятний з перевіркою» (ПП), керівник підрозділу розробляє **Заходи до зниження ризику** і Призначений виконавець заносить їх у **Карту розрахунку пріоритетності ризику** проводить оцінку **Залишкового рівня пріоритетності ризику**-та робить **Висновки щодо прийнятності залишкового ризику** і подає **Карту розрахунку пріоритетності ризику** на погодження і затвердження.

6.16 Прийняття рішень щодо впровадження заходів з усунення подій чи зниження ризиків здійснюють спеціалісти за напрямком діяльності.

7. Періодичний аналіз актуальності ризиків

7.1 Керівники структурних підрозділів проводять аналіз актуальності ідентифікованих ризиків з урахуванням реалізованих за останній рік змін і зареєстрованих подій. Результатом аналізу, подають відповідальному за систему управління безпекою (не пізніше 10 лютого).

7.2 Отримані дані аналізу відповідальний за систему управління безпекою враховує при підготовці інформації про ступінь актуальності ризиків для проведення аналізу системи керування ризиками з боку керівництва.

Додаток 1 Шкали значимості фактору серйозності, ймовірності та можливості виявлення

Серйозність наслідків, "S"	Ймовірність події, "O"	Можливість виявлення, "D"
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	4	4
5	5	5
6	6	6
7	7	7
8	8	8
9	9	9
10	10	10
де «1» - неважлива «10» - катастрофічна	де «1» - малоймовірно «10» - постійно	де «1» - виявлення 100%; «10» - неможливо виявити

Додаток 2. Критерії оцінки ризику

Число пріоритетності ризику	Ушкодження здоров'я	Відповідність вимогам	Бізнес	Ймовірність події	Можливість виконання
Неприйнятний більше 140 балів	Приведе до нещасного випадку з тяжкими наслідками	Приведе до відкликання дозволу	Припинення роботи більше одного місяця або потенційна велика втрата доходу	Понад один раз протягом трьох місяців	Невряд чи може бути виконана у більшості випадків
Прийнятний з перевіркою від 70 до 140 балів	Приведе до нещасного випадку чи захворювання з втратою працездатності більше 3 днів	Приведе до одержання попереджувального припису	Припинення роботи до одного місяця або потенційна суттєва втрата доходу	Один раз кожні три-дванадцять місяців	Може бути виконаний у деяких випадках
Прийнятний менше 70 балів	Приведе до нещасного випадку чи захворювання з втратою працездатності до 3 днів	Приведе до виконання небезпечки під час аудиту	Припинення роботи до одного тижня або незначна втрата доходу	Один раз кожні один-три роки	Буде у більшості випадків виконано

Додаток 3. Карта з розрахунку числа пріоритетності ризику

КАРТА З РОЗРАХУНКУ ЧИСЛА ПРІОРИТЕТНОСТІ РИЗИКУ № ____

Дата:		Схема/фото пункту заправки паливних матеріалів								Підпис
Назва пункту (адреса, місце розміщення)						ЗАТВЕРДЖЕНО: (посада, прізвище, ініціали)				
Кому загрожує виявлена небезпека:						ПОГОДЖЕНО: (посада, прізвище, ініціали)				
						Керівник підрозділу: (посада, прізвище, ініціали)				
						Розробив: (посада, прізвище, ініціали)				
№	Вид об'єкту	Опис та функція об'єкту	Опис можливої небезпеки	Опис можливої причини небезпеки	Опис можливих наслідків	Розрахунок числа пріоритетності ризику				Запобіжні заходи
						Тяжкість, "S"	Ймовірність "O"	Спроможність виявлення "D"	RPN	

Примітка:

Керівник підрозділу - може підписувати керівник підрозділу

Погоджено – може підписувати відповідальний за систему управління безпекою

Затверджено - директор

8. Додаток 4. - Класифікатор небезпек

Вид небезпеки	Наслідки прояву

Начальник _____ / _____ / «__» _____ 202__ р.
(ініціали, прізвище) (підпис) (дата)

Додаток Б

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор Національного
технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Артем ПАВЛИЧЕНКО

«24» *з грудня* 2025р.

впровадження результатів дисертаційного дослідження

**Валентини ЗАБЕЛІНОЇ на тему «Вдосконалення систем технологічної
безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки»**

Наукові та науково-практичні результати дисертаційного дослідження на тему «Вдосконалення систем технологічної безпеки сховищ паливних матеріалів та пунктів заправки», що виконувалися протягом 2023-2025рр., впроваджено в 2025/2026 навчальному році у навчальному процесі на кафедрі охорони праці та цивільної безпеки при викладанні дисциплін «Гігієна праці та виробничого середовища» (проф. Чеберячко С.І.), «Контроль умов праці» (доц. Столбченко О.В.) та «Системи контролю та спостереження за надзвичайними ситуаціями» (доц. Іконніков М.Ю.) для бакалаврів спеціальності 263 «Цивільна безпека».

Директор Навчально-наукового
інституту природокористування

«23» *з грудня* 2025 р.

Олена ЯВОРСЬКА

Заст. завідувача кафедри ОПЦБ

«23» *з грудня* 2025 р.

Сергій ЧЕБЕРЯЧКО