

УДК: 614.8

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2024.8.2.27.43>

*Василь ГОЛІНЬКО, д-р техн. наук, професор (ORCID 0000-0001-6069-0515),
Дмитро РАДЧУК, канд. техн. наук, доцент (ORCID 0000-0001-8034-541X),
Сергій ЧЕБЕРЯЧКО, д-р техн. наук, професор (ORCID 0000-0003-3281-7157),
Микола НАУМОВ, канд. техн. наук, доцент (ORCID 0000-0002-9748-2506),
Богдан КРАВЧЕНКО, аспірант (ORCID 0000-0001-8398-0793),
Олег ДЕРЮГІН, канд. техн. наук, доцент (ORCID 0000-0002-2456-7664),
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

ОЦІНЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РИЗИКІВ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ

Для оцінки ризиків виникнення небезпечних подій на автозправних станціях були обрані метод «HAZOP» та метод «FMEA» через те, що вони добре поєднуються один з одним та дозволяють деталізувати кожен етап виробничого процесу для ідентифікації небезпек і працездатності системи в цілому.

Проведено аналіз невідповідностей при експлуатації респіраторів на основі вимог Комюніке Комісії 89/C 328/02» (Official Journal of the European Communities No. C 328). Розроблено метод оцінювання експлуатаційних ризиків ЗІЗОД, який складається з чотирьох кроків: ідентифікації невідповідності чи дефектів, визначення величини експлуатаційного ризику, оцінювання величини пріоритетного числа ризику, обґрунтування запобіжних заходів. Запропоновано для проведення ідентифікації невідповідності чи дефектів використовувати метод «HAZOP», який за допомогою ключових слів дозволяє якісно виявити взаємозв'язок між невідповідністю – небезпечною подією і наслідками щодо втрат захисної ефективності ЗІЗОД. Запропоновано оцінювати величину експлуатаційного ризику за допомогою методу «FMEA», оскільки це дозволяє виявляти невідповідність чи дефект при експлуатації ЗІЗОД.

Наукова новизна полягає у встановленні експлуатаційного ризику через величину пріоритетного числа ризику, який визначається з урахуванням виявлення невідповідності чи дефектів при експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання.

Практична цінність полягає в розробці нового підходу для оцінювання експлуатаційних ризиків з використанням поєднання методів «HAZOP» та «FMEA», що дозволяє підвищити достовірність проведеного оцінювання та деталізувати рекомендації для унеможливлення втрати захисної ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання при їх експлуатації.

Ключові слова. Оцінювання ризику, ЗІЗОД, метод «HAZOP», метод «FMEA», небезпечна подія, величина експлуатаційного ризику, величина пріоритетного числа ризику.

Постановка проблеми. Робочі умови на підприємствах не завжди характеризуються як допустимі, оскільки можуть бути присутні шкідливі або небезпечні фактори [1]. Причинами створення такої ситуації є зношення технологічного обладнання, недосконалість технологічного процесу та, іноді, порушення чинного законодавства з метою підвищення продуктивності праці [2]. Працівники, які перебувають на робочих місцях, в такому випадку підпадають під

дію вище зазначених шкідливих або небезпечних факторів, що може призводити до появи професійних захворювань [3].

Проблема професійної захворюваності в Україні впродовж багатьох років є достатньо актуальною [4,5]. Тому, головним завданням роботодавців є створення безпечних умов або зниження негативного впливу зовнішніх факторів на працівників [6]. Згідно ієрархії запровадження засобів та заходів захисту для зменшення негативного впливу на працівників, використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) знаходиться на останньому щаблі цього списку [7].

Використання ЗІЗ має як переваги, так і недоліки. До переваг можна віднести – персональне застосування ЗІЗ, високу ефективність та антропометричну сумісність з користувачем, тоді як до недоліків – зменшення поля зору або утруднення рухів користувача, ризику теплового перегріву, персональну непереносимість або появу алергічних реакцій [8].

Причини ризиків використання ЗІЗ можуть бути поділені на дві складові – ризики виробника та ризики на робочому місці, які включають в себе, зокрема, правильність підбору ЗІЗ та правильність його застосування користувачем [9].

Друга складова, а саме оцінка ризиків на робочому місці, є обов'язковим елементом будь-якої системи менеджменту підприємства. Крім того, на законодавчому рівні визначені гранично-допустимі значення та норми застосування ЗІЗ, в той час як ризики виробника є питанням не повністю розкритим.

Переваги та недоліки ЗІЗ завжди мають визначатись виробниками ще на стадії їх проектування [10]. Так, в Технічному регламенті засобів індивідуального захисту вказано, що усі ЗІЗ мають бути розроблені та виготовлені у відповідності до суттєвих вимог безпеки, що встановлюються до таких засобів захисту. Проте, жоден нормативний документ не вказує, яким чином має проводитись виробниками процедура оцінки безпеки ЗІЗ.

Під терміном «безпека ЗІЗ» слід розуміти їх надійність в часі при використанні та достовірність отриманих лабораторних результатів випробувань, що є основою для підтвердження відповідності продукції при її сертифікації. Зокрема, ці параметри визначаються на типових представниках зразків з партії продукції, що в подальшому надійде в реалізацію.

Тому, питання підтвердження безпеки ЗІЗ, які надаються у вільний доступ виробниками, є актуальним. Саме розробка методу з оцінювання експлуатаційного ризику виробниками ЗІЗ може допомогти в цьому напрямку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням оцінки ризику займалась велика кількість авторів з різними підходами та пошуками. Так в [11] розглядалися принципи та загальна практика оцінки ризиків на робочому місці, зокрема, в частині використання ЗІЗ на малих та середніх підприємствах. В [12] автори пропонують оцінювати ризики професійних захворювань під час вибору та експлуатації ЗІЗ, що дозволить знизити ризик виникнення професійних захворювань.

Особливого погляду на ризики щодо застосування ЗІЗ набуло з появою пандемії на COVID-19. В [13] автори зазначають, що в доповнення до тривалої роботи в умовах підвищеного тиску, медичні працівники усіх станцій використовують різні види ЗІЗ із значно збільшеною частотою та тривалістю. Поточні дані вказують, що побічні шкірні реакції у вигляді подразнення є можливими наслідками використання ЗІЗ.

З іншого боку, використання ЗІЗ є ключовим фактором для надання ліцензії на діяльність на об'єктах підвищеної небезпеки. Однак фактична

ефективність ЗІЗ в робочих умовах може бути переоцінена. Крім того, існує багато факторів (вартість, доступність, термічний і механічний дискомфорт), які роблять носіння ЗІЗ утрудненим, що може призвести до нових ризиків. Тому, використання ЗІЗ не завжди означає ефективний захист [14].

Також виконувались дослідження щодо аналізу ризиків при зніманні ЗІЗ [15]. Дослідження складалось з трьох частин: 1 – аналіз ієрархічного завдання (НТА) процесу знімання ЗІЗ; 2 – аналіз режимів відмови та наслідків з урахуванням людського фактора (FMEA) та 3 – сеанси фокус-груп із зручною вибіркою експертів з питань профілактики інфекцій (П). Встановлено, що аналіз режимів відмови (метод «FMEA») пропонує потенційні стратегії пом'якшення для зменшення ризику самозабруднення під час посиленого знімання ЗІЗ. Використання модифікованої методики HAZOP/FMEA для оцінки ризику згідно думки авторів [16] дозволяє застосовувати надійний та гнучкий метод оцінки системного ризику на ранній стадії проєктування та застосування ЗІЗ, що є дуже ефективним підходом до збільшення часу безперервної роботи та виявлення недоліків виробів.

Формулювання мети. Розробити метод з оцінювання експлуатаційних ризиків засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) з урахуванням вимог чинного законодавства.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для оцінки експлуатаційних ризиків ЗІЗОД, були обрані методи Hazard and operability studies («HAZOP») та «FMEA» через те, що вони добре поєднуються один з одним та дозволяють деталізувати кожен етап виробничого процесу для ідентифікації небезпек і працездатності системи в цілому, що проводиться спеціально підібраною групою фахівців-експертів. «HAZOP» та «FMEA» це якісні методи, базовані на використанні керівних слів, за допомогою яких формулюються питання, щоб визначити, яким чином мета не може бути досягнута, або як та коли складові елементи системи можуть вийти з ладу. Перший крок – це ідентифікація небезпек і небезпечних чинників під час експлуатації ЗІЗОД. Для визначення небажаної події використаємо декілька керівних слів методу «HAZOP» (рис. 1) [17].

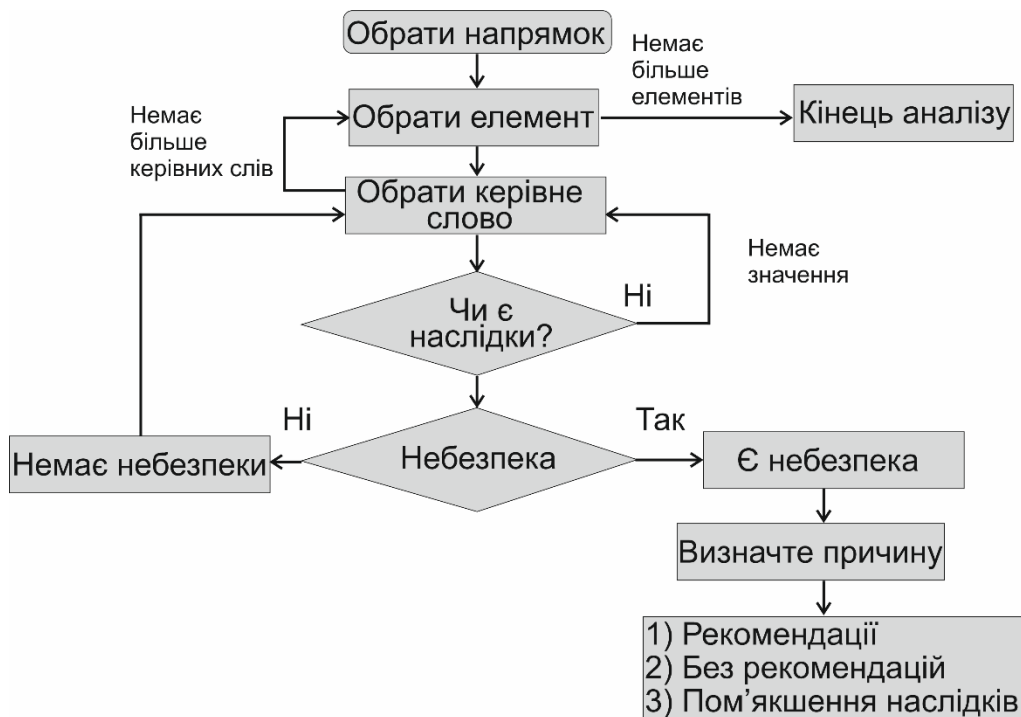


Рисунок 1 – Алгоритм дій при проведенні оцінювання методом «HAZOP» [17]

Наприклад, при негативному відхиленні, керівне слово: «ні» – не забезпечується нормативний захист, «більше» – рівень забруднення повітря перевищує межу безпечного використання респіратору. Вказівні слова також застосовуємо і для дослідження потенційних небезпек. Наприклад, аналізуємо технологічні вузли процесу, поки не вичерпаємо всі можливості аналізу. Потім, процедура переміщується до наступного вузла, де знову ведемо пошук потенційних небезпек.

Для цього вивчаємо причини вже відомих інцидентів, досліджуємо звіти та статті в яких описуються фактори, які призводять до повної або часткової втрати працездатності технологічного устаткування у відповідності до задекларованих результатів та умов праці. Аналіз частоти відмов був зроблений на основі оцінок ймовірності виникнення негативних сценаріїв, які передбачалися небезпечними ситуаціями. При чому частоти були синтезовані з використанням оціночної шкали, виходячи з визначення комбінацій збоїв і обставин, які можуть виникнути під час експлуатації ЗІЗОД. Для визначення наслідків використовували статистично оцінені результати цільової сукупності щодо ризику погіршення рівня безпеки чи здоров'я, економічної складової, а також виникнення аварійної ситуації. Оцінка наслідків була зроблена відповідно до матриці оцінки ризиків (табл. 1). Запропоновані захисні бар'єри для запобігання реалізації визначених наслідків виявлених ризиків, базувались на сучасних можливостях промислового прогресу.

Таблиця 1 – Матриця оцінки ризику

Класифікація ризиків		Ймовірність події				
		матриця	малоймовірно	віддалений	нечастий	випадковий
Важкість наслідків	Катастрофічні	Помірний	Помірний	Високий	Високий	Високий
	Критичні	Помірний	Помірний	Помірний	Високий	Високий
	Середні	Низький	Помірний	Помірний	Помірний	Високий
	Помірні	Низький	Низький	Помірний	Помірний	Помірний
	Незначні	Низький	Низький	Низький	Помірний	Помірний

Другий крок присвячений кількісній оцінці ризиків, які виникають при експлуатації ЗІЗОД. Для цього скористаємось алгоритмом методу «FMEA», який дозволяє на основі застосування організаційних, логічних і математико-статистичних процедур розрахувати рівень пріоритету професійного ризику, а також запобігти небезпечній ситуації на основі трьох показників: тяжкості наслідків (D), ймовірності виникнення відмови/інциденту (O) та можливості виявлення дефекту, який пов'язаний з небезпечною дією або без наявності будь-якої дії (S). Показник (S) пов'язаний також з визначенням впливу психосоціального стану працівника на виникнення людської помилки, а тому

враховується при оцінюванні за наявності небезпечної дії або без будь-якої небезпечної дії. За величиною рівня ризику проводиться вибір і обґрунтування раціональних рішень, які спрямовані для підвищення безпеки при експлуатації ЗІЗОД. Детально дії експертів за алгоритмом методу «FMEA» (рис. 2) описано в стандарті [18].

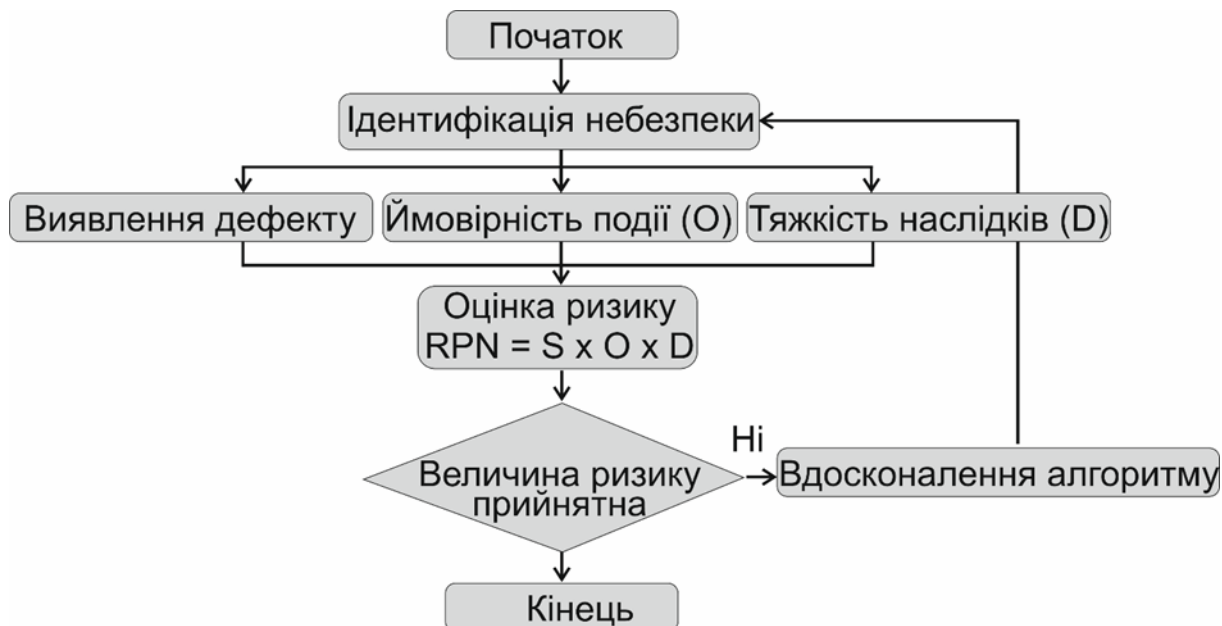


Рисунок 2 – Алгоритм дій при проведенні оцінювання ризику методом «FMEA» [18]

Група експертів (табл. 2) оцінює три основні фактори професійного ризику для режиму можливих потенційних небезпек: тяжкості наслідків (D), ймовірності виникнення відмови/інциденту (O) та виявлення дефекту (S). Добуток зазначених компонентів S , O та D дозволяє визначити значення рівня професійного ризику RPN за формулою [18]:

$$RPN = S \times O \times D \cdot \quad (1)$$

Таблиця 2 – Дані щодо експертів, які приймали участь у дослідженнях

Інформація	Значення
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 [18]	Так

Оцінка професійного ризику, яка отримана за алгоритмом методу «FMEA» триває до повної ідентифікації значення RPN , що вказує на найвищі значення

величини професійного ризику. Найбільш впливовими факторами рахуються такі, у яких значення RPN перевищує 150 балів [18]. Для визначення показників тяжкості наслідків (S), ймовірності виникнення відмови/інциденту (O) та можливість виявлення небезпечного психосоціального стану (D) застосовується шкала від 1 до 10, де 1 – найменша величина показника, а 10 – найбільша. Критерії оцінювання експерти визначали самостійно.

Для обробки отриманих результатів, які надані були експертами та перевірки їх оцінок на викиди було застосовано критерій Граббса:

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

де X_n – запропоновані оцінки експертів;

\bar{X} – середнє значення вибірки;

S – середнє квадратичне відхилення.

Де необхідно розрахувати математичне очікування або середнє значення отриманих результатів:

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

Також необхідно розрахувати середнє квадратичне відхилення:

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

За допомогою наведених формул перевіряємо на викид максимальні і мінімальні результати оцінок експертів за умови, що показник перевищить критичне значення:

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

де α – рівень значимості, який визначається у відповідності до вимог [18].

У разі невиконання вказаної нерівності результати оцінок будуть вважатися викидами, які необхідно виключити. При чому з експертами, що дали таку оцінку проводяться роз'яснення для виявлення причин обґрунтованості їх вибору балів під час проведення експертизи. Критичні значення статистик вибираються виходячи із закону розподілу випадкової величини. Дані значення можуть бути знайдені для нормального розподілу відповідно до вимог [19]. У разі підозри на два викиди, проводиться оцінка сукупності результатів на двовикидну статистику Граббса.

Результати дослідження. Шляхом застосування методів «HAZOP» та «FMEA» проаналізуємо основні ризики, які можуть виникати при використанні ЗІЗОД. Тип і походження таких ризиків при використанні ЗІЗОД наведені Європейською комісією в «Комюніке Комісії 89/C 328/02» (Official Journal of the European Communities No. C 328). Наприклад, ризики, які властиві респіраторам, наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Аналіз невідповідностей при експлуатації респіратора

Невідповідність (дефект) під час експлуатації респіратора	
найменування	наслідки
1. Респіратор використовується ненавченими поведженню з ним (приспособування, експлуатація і/або зберігання) користувачами	Не забезпечується нормативний захист

<p>2. При використанні респіратору не враховано умови його експлуатації:</p> <ul style="list-style-type: none"> - можливість механічного пошкодження і потрапляння води на фільтрувальну маску; - збільшення навантаження та рухливості користувача; - необхідність спілкування під час виконання роботи; - використання респіратору несумісного з іншим ЗІЗ; - надпланове носіння респіратора 	<p>Не забезпечується нормативний захист</p> <p>Зростання опору диханню, пітніння обличчя</p> <p>Не забезпечується нормативний захист</p> <p>Не забезпечується нормативний захист</p> <p>Зростання опору диханню; забруднення внутрішньої поверхні маски</p>
---	---

Виходячи із даних табл. 3, виробники повинні надати розрахунок експлуатаційних ризиків при використанні ЗІЗОД, з визначенням наслідків невідповідності тих чи інших складових та з обґрунтуванням рекомендацій їх усунення, що будуть стосуватися їх продукції з урахуванням потенційних умов використання.

Для цього пропонуємо метод оцінювання експлуатаційних ризиків, який базується на відомій моделі краватка-метелик (рис. 3).



Рисунок 3 – Модель взаємозв'язку між безпекою і небезпечною подією

Наведена модель пов'язує невідповідності під час експлуатації ЗІЗОД з небезпечною подією – погіршення ступеню захисту працівника, який його використовує, та наслідками – розвитком професійних захворювань з пилової етіології у випадку застосування фільтрувальних ЗІЗОД в умовах підвищеної запиленості. Хоча модель демонструє взаємозв'язок між невідповідністю і можливим розвитком захворювань на пневмоконіози, її можна використати для аналізу взаємозв'язків між безпекою і отруєнням працівника шкідливими газами, які існують на робочому місці. При цьому будуть застосовуватись протигазові фільтрувальні ЗІЗОД.

У відповідності до наведеної моделі метод оцінки експлуатаційних ризиків буде складатись з декількох кроків. **Перший крок.** Ідентифікації невідповідностей при експлуатації ЗІЗОД та небезпечних чинників, які збільшують ймовірність настання небезпечної події, а також небезпечних чинників, які збільшують тяжкість наслідків від настання небезпечної події. Для цього кроку зручно застосовувати метод HAZOP, оскільки він спрямований на ідентифікацію різних відмов певного виробничого процесу, системи або процедури, їх причин і наслідків за допомогою керуючих слів. В табл. 4 наведений фрагмент аналізу методом HAZOP експлуатаційних ризиків при використанні фільтрувального респіратору в умовах вугільної шахти.

Таблиця 4 – Фрагмент визначення невідповідностей показників фільтрувального респіратору методом HAZOP

Керуюче слово	Відхилення	Причини невідповідності чи дефекту	Наслідки	Заходи усунення несправності
МЕНШЕ	Коефіцієнт захисту	1. Невідповідність виробу до обличчя 2. Неякісний фільтр 3. Використання фільтру більше терміну служби 4. Використання невідповідних типу та марки фільтра 5. Несвоєчасне неправильне використання виробу 6. Експлуатація пошкоджених фільтрів виробу	Погіршення самопочуття, зменшення працездатності працівників, розвиток професійних захворювань дихальних шляхів, за рахунок не ефективного респіраторного захисту	1. Впровадження інструментальних методів перевірки відповідності виробу до обличчя користувача 2. Використання фільтрів сертифікатом відповідності, добросовісних постачальників виробників впровадженою системою якості 3. Визначення терміну служби фільтрів з урахуванням умов праці 4. Перевірка маркування фільтрів і визначення для якого типу аерозолів він призначений
БІЛЬШЕ	Опір диханню	1. Використання невідповідної марки фільтра умовам праці 2. Значний темп роботи 3. Використання фільтру більше терміну служби 4. Значна вологість повітря	Погіршення самопочуття, зменшення працездатності працівників	1. Визначення терміну служби фільтрів з урахуванням умов праці 2. Використання фільтрів з індикаторами часу захисної дії або

		5. Експлуатація фільтра при підвищеній температурі 6. Потрапляння вологи з підмаскового простору на фільтр		розрахованими за алгоритмом запропонованим виробником 3. Несправність клапану вдиху, що потребує його заміни
--	--	---	--	---

Другий крок – безпосередньо визначення величини експлуатаційного ризику як добутку ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків. Разом з тим, оскільки ЗІЗОД є так званим останнім захисним бар'єром між наявною небезпекою і її впливом на життя і здоров'я працівників, важливо не просто оцінити ризик, а й визначити, наскільки точно можна буде виявити дефект чи невідповідність ЗІЗОД під час його експлуатації. Звідси зручно для виконання зазначеного кроку використовувати метод «FMEA» з розрахунком пріоритетного числа ризику.

Приклад такої оцінки на основі попередньо виявлених дефектів чи невідповідностей наведено в табл. 5. Як бачимо, частина таблиці 5 базується на даних табл. 4, тобто попередньому опрацюванні можливих невідповідностей та дефектів.

Таблиця 5 – Результат визначення пріоритетного числа ризику засобу індивідуального захисту органів дихання при його експлуатації

Тип	Опис можливої невідповідності, дефекту	Опис можливої причини	Опис наслідків	Розрахунок числа пріоритетності ризику				Запобіжні заходи
				S	O	D	RPN	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фільтрувальна півмаска для захисту органів дихання від аерозолів	Невідповідність виробу до обличчя	Відсутність інструментальної перевірки відповідності антропометричним даним користувача півмаски перед початком експлуатації, одним із додатних методів	Зменшення коефіцієнту захисту. Відсутність герметичності за смугою обтюрації	4	6	5	120	Забезпечити регулярні перевірки якості окремих показників ЗІЗОД. Провести навчання персоналу стосовно підгонки і перевірки герметичності
	Неякісний фільтр	Відсутність попередньої перевірки фільтрів перед початком їх експлуатації. Невідповідне зберігання фільтрів. Невідповідне їх транспортування.	Відсутній рівень захисту працівника при експлуатації ЗІЗОД	8	2	3	48	Забезпечити перевірку захисних властивостей ЗІЗОД щодо сумісності з іншими ЗІЗ. Збільшити перерви при виконанні робіт у

		Невідповідне чи відсутнє обслуговування при експлуатації						ЗІЗОД
	Використання фільтру більше терміну служби	Відсутність графіків заміни фільтрів. Відсутність усвідомлення працівників важливості захисту органів дихання за рахунок респираторів	Втрата захисної ефективності і ЗІЗОД. Збільшення опору дихання. Дискомфорт	10	7	5	350	Провести навчання персоналу стосовно підгонки і перевірки герметичності. Розробити графіки заміни фільтрів.

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Фільтрувальна півмаска для захисту органів дихання від аерозолів	Використання невідповідних типу та марки фільтрів	Відсутність попереднього санітарно-гігієнічного аналізу умов праці та оцінювання ризику розвитку професійних хвороби пов'язаних з наявністю значного запилення на робочому місці. Неврахування умов експлуатації при визначенні типу фільтрів	Відсутній рівень захисту працівника при експлуатації ЗІЗОД	10	7	1	70	Впровадити програму респираторного захисту з елементами контролю якості респираторів що постачаються, експлуатуються та зберігаються
	Несвоєчасне і неправильне використання виробу	Відсутність графіків заміни фільтрів. Відсутність програм для розрахунку захисної ефективності, відсутність	Втрата захисної ефективності ЗІЗОД. Збільшення опору дихання. Дискомфорт	5	3	6	90	Провести навчання персоналу стосовно підгонки і перевірки герметичності. Розробити графіки заміни фільтрів

Експлуатація пошкодженого ЗІЗОД	Відсутність відповідного обслуговування ЗІЗОД після їх експлуатації, а також інструментарію з перевірки ефективності на робочому місці	Втрата захисної ефективності ЗІЗОД. Збільшення опору дихання. Дискомфорт	10	7	4	280	Організувати регулярну перевірку експлуатаційних властивостей ЗІЗОД, пошук неполадок і заміну пошкоджених вузлів
---------------------------------	--	--	----	---	---	-----	--

Порівнюючи рекомендації наведені в табл. 4 і 5 бачимо, що вони доповнюють один одне. Оскільки, застосувавши метод «FMEA», виникає можливість проаналізувати виявлення невідповідності чи дефекту, а отже звляються додаткові рекомендації щодо недопущення погіршення експлуатаційних властивостей.

На третьому кроці відбувається оцінювання величини пріоритетного числа ризику, порівнюючи її з прийнятною величиною (менше 140 балів) та визначаємо (обґрунтовуємо) захисні чи запобіжні заходи для зменшення ризику. У разі неприйнятного рівня ризику, необхідно повернутись на етап аналізу небезпек і небезпечних чинників з розробкою запобіжних заходів, щодо його зменшення. Далі знову діємо відповідно до зазначених кроків.

На четвертому кроці проводимо документування ризику та перевірку проведених розрахунків. За проведеним аналізом готуємо звіт з описом тих невідповідностей чи дефектів який має невідповідний рівень ризику. Для прикладу, результати документування ризику від невідповідності чи виявленого можливого дефекту представлені в табл. 6.

Таблиця 6 – Результати оцінювання експлуатаційного ризику ЗІЗОД

№ з/п	Невідповідність/ дефект/ небезпека	Рівень ризику	Запобіжний чи захисний захід/засіб
1	Дискомфортні відчуття	неприйнятний	Впровадження інструментальних методів перевірки відповідності виробу до обличчя користувача.
2	Відсутність герметичності	неприйнятний	Впровадження інструментальних методів перевірки відповідності виробу до обличчя користувача.
3	Перевищення терміну захисної дії	неприйнятний	Проведення навчання персоналу стосовно підгонки і перевірки герметичності. Розробка графіків заміни фільтрів.
4	Механічні пошкодження	неприйнятний	Організація регулярної перевірки експлуатаційних властивостей ЗІЗОД, пошук неполадок і заміну пошкоджених вузлів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Особливістю запропонованого методу з оцінювання експлуатаційних ризиків являється використання величини пріоритетного числа ризику, який розраховується з урахуванням можливості виявлення невідповідності чи дефекту при експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання. Збір інформації про

експлуатаційний ризик потребує критичного переосмислення прояви того чи іншого дефекту в конструктивних системах ЗІЗОД [20]. Звідси, на основі діючого механізму виявлення пріоритетного ризику, зручно провести відповідний аналіз прояви різних невідповідностей чи дефектів. Це збільшує прозорість оцінювання ризику, зменшуючи можливість неврахування впливу певного конструктивного вузла ЗІЗОД. Такий підхід дозволяє забезпечити надійний результат з оцінювання експлуатаційних ризиків з використанням поєднання методів «HAZOP» та «FMEA» за рахунок деталізації взаємозв'язків між різними системами ЗІЗОД [21].

Потреба у визначенні пріоритетних чисел ризику для засобів індивідуального захисту органів дихання визначається великою різноманітністю ризикових ситуацій та постійними змінами в виробничих умовах [22]. Процес створення безпеки працівників не може бути універсальним, оскільки різні галузі та види робіт стикаються з унікальними небезпеками, які вимагають індивідуальних рішень [23].

По-перше, визначення пріоритетних чисел ризику є критичним у контексті раціонального використання обмежених ресурсів. Організації повинні ефективно розподіляти кошти та зусилля для максимального покращення безпеки, фокусуючись на тих аспектах, які найбільше підвищують загрози для працівників. Визначення пріоритетів дозволяє економити ресурси та забезпечувати оптимальний захист.

По-друге, врахування контексту індивідуальної оцінки ризику дозволяє створювати персоналізовані стратегії безпеки. Оскільки різні працівники стикаються з різними ризиками в залежності від своєї діяльності та обставин, важливо враховувати цю індивідуальність для максимально ефективного застосування засобів ЗІЗ [17].

По-третє, динаміка сучасних технологій та виробничих процесів призводить до змін у характері ризиків. Визначення пріоритетних чисел ризику стає невід'ємною частиною адаптації до нових умов та технологічних трансформацій. Систематична оцінка та перегляд пріоритетів дозволяють бути на крок перед ризиками, які можуть виникнути внаслідок інновацій та змін в виробничому середовищі.

Таким чином, визначення пріоритетних чисел ризику для засобів індивідуального захисту не лише сприяє оптимізації ресурсів та забезпеченню ефективного захисту працівників, але й робить систему безпеки гнучкою та готовою до викликів виробничого середовища, що швидко змінюється [18].

Поняття та класифікація засобів індивідуального захисту представляють собою фундаментальний аспект в системі забезпечення безпеки працівників. Засоби індивідуального захисту визначаються як спеціальні засоби, призначені для захисту працівників від ризиків та небезпек, які можуть виникнути у процесі їхньої трудової діяльності. Ці засоби включають в себе широкий спектр інструментів та пристроїв, спроектованих для зменшення впливу небезпечних факторів на здоров'я та безпеку працівників [19].

Отже, можна зробити наступні висновки:

1. Проведено аналіз невідповідностей при експлуатації респіраторів на основі вимог Комюніке Комісії 89/С 328/02» (Official Journal of the European Communities No. С 328).

2. Розроблено метод оцінювання експлуатаційних ризиків ЗІЗОД, який складається з чотирьох кроків: ідентифікації невідповідності чи дефектів; визначення величини експлуатаційного ризику, оцінювання величини пріоритетного числа ризику; обґрунтування запобіжних заходів.

3. Запропоновано для проведення ідентифікації невідповідності чи дефектів використовувати метод HAZOP, який за допомогою ключових слів дозволяє якісно виявити взаємозв'язок між невідповідністю – небезпечною подією і наслідками щодо втрат захисної ефективності ЗІЗОД, що призведе до розвитку професійних захворювань.

4. Запропоновано оцінювати величину експлуатаційного ризику за допомогою методу FMEA, оскільки це дозволяє виявляти невідповідність чи дефект при експлуатації ЗІЗОД.

Напрямами подальших досліджень є: розробка нових або покращення існуючих методологій оцінки ризиків; вивчення ефективності нових матеріалів для ЗІЗОД, що дозволить підвищити їх захисні властивості, комфорт та довговічність; адаптація ЗІЗОД під індивідуальні потреби користувача.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Морсова, Д.А., Панчева, Г.М. Дослідження небезпечних та шкідливих факторів при роботі токаря, слюсаря та терміста. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: наук. вид.: тези доп. 28-ї міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD–2020, [28-30 жовтня 2020 р.]: у 5 ч. Ч. 4 / ред. Є. І. Сокол. – Харків: Планета-Прінт, 2020. – С. 30. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/74398>.

2. Челябієва, В.М., Костенко, І.А. (2022). Аналіз причин травматизму у харчовій галузі. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 4. С. 110-116. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.4.14>.

3. Мовмига, Н., Мезенцева, І., Панчева, Г. (2022). Попередження суб'єктивних причин виробничого травматизму в системі працезахоронного менеджменту. *Молодий вчений*. 1(101). С. 111-119. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-1-101-24>.

4. Фірман, І. В., Тимошук, С.В., Фірман, В. М. (2018). Помилка людини серед причин виробничого травматизму. *Вісник ЖДТУ: Економіка, управління та адміністрування*. 2(84). С. 103-108. DOI: [https://doi.org/10.26642/jen-2018-2\(84\)-103-108](https://doi.org/10.26642/jen-2018-2(84)-103-108).

5. Трухан О.А. (2018). Профілактика професійних захворювань: теоретичний аспект. *Юридичний науковий електронний журнал*. 4. С. 66-69. URL: <http://www.lsej.org.ua/index.php/arkhiv-nomeriv?id=95>.

6. Крамчанинова, М.Д., Вахлакова, В.В., Ледовська А.І. (2020). Аналіз умов праці та напрямки їх поліпшення. *Бізнес Інформ*. 5. С. 247-252. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-5-247-252>.

7. Потій, О.В., Горбенко, Ю.І., Замула, О.А., Ісірова, К.В. (2021). Аналіз методів оцінки і управління ризиками кібер- і інформаційної безпеки. *Радіотехніка*. 206. С. 5-24. URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/Scientific_editions/radio_engineering_206/3.pdf.

8. Завгородній, І.В., Літовченко, О.Л., Зуб, К.О., Стукалка, Д.С., Шенгер, А.А., Лисак, М.С. (2021). Вплив використання засобів індивідуального захисту на здоров'я населення і навколишнє середовище. *Актуальні проблеми профілактичної медицини*. 2(22). С. 83-93. URL: <https://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/29104>.

9. Про затвердження Мінімальних вимог безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці. *Міністерство соціальної політики України*, Наказ № 1804 (від 29.11.2018). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18#Text>.

10. Шереметинська, О.В., Невмержицька, Ю. (2016). Стимулювання збуту: заходи та засоби, які допомагають при формуванні маркетингової діяльності підприємства при здійсненні ЗЕД. *Ефективна економіка*. 2. on-line. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4785#>.
11. World Health Organization. (2020). Laboratory biosafety manual, 4th edition: Risk Assessment. ISBN 978-92-4-001146-5. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011458>.
12. Cheberiachko, S., Deryugin O., Mirnenko, V., Borodina, N. (2020). Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities. *Social Development and Security*. 10(4). P. 23-41. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.4.3>.
13. Nguyen, C., Young, F.G., McElroy, D., Singh, A. (2022). Personal protective equipment and adverse dermatological reactions among healthcare workers: Survey observations from the COVID-19 pandemic. *Medicine*. 101(9). e29003, DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000029003>.
14. Garrigou, A., Laurent, C., Berthet, A., Colosio, C., Jas, N., Daubas-Letourneux, V., Jackson Filho, J.-M., Jouzel, J.-N., Samuel, O., Baldi, I., Lebailly, P., Galey, L., Goutille, F., Judon, N. (2020). Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use. *Safety Science*. 123. 104527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104527>.
15. Gurses, A.P., Dietz, A.S., Nowakowski, E., Andonian, J., Schiffhauer, M., Billman, C., Maragakis, L.L. (2019). Human factors–based risk analysis to improve the safety of doffing enhanced personal protective equipment. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 40(2). P. 178–186. DOI: <https://doi.org/10.1017/ice.2018.292>.
16. Trammell, S. R., Davis, B.J. (2001). Using a modified Hazop/FMEA methodology for assessing system risk. *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology. EMAT 2001, Austin, TX, USA*. P. 47-53. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMAT.2001.991310>.
17. Romero-Ramos, J.A., Gil, J.D., Cardemil, J.M., Escobar, R.A., Arias, I., Pérez-García, M. (2023). A GIS-AHP approach for determining the potential of solar energy to meet the thermal demand in southeastern Spain productive enclaves. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176, 113205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113205>.
18. Liu, J., Wang, D., Lin, Q., Deng, M. (2023). Risk assessment based on FMEA combining DEA and cloud model: A case application in robot-assisted rehabilitation. *Expert Systems with Applications*, 214, 119119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119119>.
19. Piekiet Weeserik, B., Spruit, M. (2018). Improving Operational Risk Management Using Business Performance Management Technologies. *Sustainability*, 10, 640. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030640>.
20. Alsulami, F. (2024). The Operational Risk Disclosure Threshold Effect in the Earnings Management–Sustainability Firm Performance Nexus in Saudi Arabia: A Dynamic Panel Threshold Regression Model. *Sustainability*, 16, 4264. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16104264>.
21. Ayvaz, B., Tatar, V., Sağır, Z., Pamucar, D. (2024). An integrated Fine-Kinney risk assessment model utilizing Fermatean fuzzy AHP-WASPAS for occupational hazards in the aquaculture sector. *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 232-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.025>.
22. Fan, C., Montewka, J., Zhang, D. (2021). Towards a Framework of Operational-Risk Assessment for a Maritime Autonomous Surface Ship. *Energies*, 14, 3879. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14133879>.

23. Chung, H.-Y., Ting, T.-H., Chang, K.-H. (2024). A Novel Intuitionistic Fuzzy Set-Based Risk Priority Number Method for Solving Chemical Experiment Risk Evaluation. *Systems*, 12, 155. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems12050155>.

REFERENCES

1. Morsova, D.A., & Pancheva, H.M. Study of dangerous and harmful factors in the work of a turner, locksmith and thermist. Information technologies: science, engineering, technology, education, health: sciences. ed.: abstracts of the report of the 28th international scientific and practical conference MicroCAD–2020, [October 28-30, 2020]: in 5 h. Part 4 / ed. E. I. Sokol. - Kharkiv: Planeta-Print, 2020. - Pp. 30. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/74398>. (In Ukrainian)

2. Cheliabiiyeva, V.M., & Kostenko I.A (2022). Analysis of the causes of injuries in the food industry. *Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences*, (4), 110-116. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.4.14>. (In Ukrainian)

3. Movmyga, N., Mezentseva, I., & Pancheva, H. (2022). Prevention of subjective causes of occupational injury in occupational protection management system. *Young Scientist*, 1(101), 111-119. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-1-101-24>. (In Ukrainian)

4. Firman, I.V., Tymoshuk, S.V., & Firman, V.M. (2018). Human mistake among the causes of production injuries. *Journal of ZSTU: Economics, Management and Administration*, 2(84), 103-108. DOI: [https://doi.org/10.26642/jen-2018-2\(84\)-103-108](https://doi.org/10.26642/jen-2018-2(84)-103-108). (In Ukrainian)

5. Trukhan, O.A. (2018). Prevention of occupational diseases: theoretical aspect. *Legal scientific electronic journal*, 4, 66-69. Available at: <http://www.lsej.org.ua/index.php/arkhiv-nomeriv?id=95>. (In Ukrainian)

6. Kramchaninova, M.D., Vakhlakova, V.V., & Liedovska A. I. (2020). Analyzing the Labor Conditions and Ways of Their Improvement. *Business Inform*, 5, 247-252. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-5-247-252>. (In Ukrainian)

7. Potii, O.V., Horbenko, Y.I., Zamula, O.A., & Isirova, K.V. (2021). Analysis of cyber and information security risk assessment and management methods. *Radiotekhnika*, 206, 5-24. Available at: https://nure.ua/wp-content/uploads/2021/Scientific_editions/radio_engineering_206/3.pdf. (In Ukrainian)

8. Zavhorodniy, I.V., Litovchenko, O.L., Zub, K.O., Stukalkina, D.S., Shenger, A.A., & Lysak, M.S. (2021). The impact of the use of personal protective equipment on the health of the population and the environment. *Actual problems of preventive medicine*, 2(22), 83-93. Available at: <https://repo.knmu.edu.ua/handle/123456789/29104>. (In Ukrainian)

9. On the approval of the minimum safety and health requirements for the use of personal protective equipment by employees at the workplace. **Ministry of Social Policy of Ukraine**, Order No. 1804 (from November 29, 2018). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1494-18#Text>. (In Ukrainian)

10. Sheremetynska, O.V., & Nevmerzheritska, J. (2016). Sales promotion: Actions and means to assist the formation of enterprise marketing of enterprise in the implementation of foreign trade. *Efficient economy*, 2, on-line. Available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4785#>. (In Ukrainian)

11. World Health Organization. (2020). Laboratory biosafety manual, 4th edition: Risk Assessment. ISBN 978-92-4-001146-5. Available at: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011458>.

12. Cheberiachko, S., Deryugin O., Mirnenko, V., & Borodina, N. (2020). Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities. *Social Development and Security*, 10(4), 23-41. DOI: <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.4.3>.
13. Nguyen, C., Young, F.G., McElroy, D., & Singh, A. (2022). Personal protective equipment and adverse dermatological reactions among healthcare workers: Survey observations from the COVID-19 pandemic. *Medicine*, 101(9), e29003, DOI: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000029003>.
14. Garrigou, A., Laurent, C., Berthet, A., Colosio, C., Jas, N., Daubas-Letourneux, V., Jackson Filho, J.-M., Jouzel, J.-N., Samuel, O., Baldi, I., Lebailly, P., Galey, L., Goutille, F., & Judon, N. (2020). Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use. *Safety Science*, 123, 104527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104527>.
15. Gurses, A.P., Dietz, A.S., Nowakowski, E., Andonian, J., Schiffhauer, M., Billman, C., & Maragakis, L.L. (2019). Human factors-based risk analysis to improve the safety of doffing enhanced personal protective equipment. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 40(2), 178–186. DOI: <https://doi.org/10.1017/ice.2018.292>.
16. Trammell, S. R., & Davis, B.J. (2001). Using a modified Hazop/FMEA methodology for assessing system risk. *Proceedings 2nd International Workshop on Engineering Management for Applied Technology. EMAT 2001, Austin, TX, USA*. Pp. 47-53, DOI: <https://doi.org/10.1109/EMAT.2001.991310>.
17. Romero-Ramos, J.A., Gil, J.D., Cardemil, J.M., Escobar, R.A., Arias, I., & Pérez-García, M. (2023). A GIS-AHP approach for determining the potential of solar energy to meet the thermal demand in southeastern Spain productive enclaves. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176, 113205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113205>.
18. Liu, J., Wang, D., Lin, Q., & Deng, M. (2023). Risk assessment based on FMEA combining DEA and cloud model: A case application in robot-assisted rehabilitation. *Expert Systems with Applications*, 214, 119119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119119>.
19. Picket Weeserik, B., & Spruit, M. (2018). Improving Operational Risk Management Using Business Performance Management Technologies. *Sustainability*, 10, 640. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10030640>.
20. Alsulami, F. (2024). The Operational Risk Disclosure Threshold Effect in the Earnings Management–Sustainability Firm Performance Nexus in Saudi Arabia: A Dynamic Panel Threshold Regression Model. *Sustainability*, 16, 4264. <https://doi.org/10.3390/su16104264>.
21. Ayvaz, B., Tatar, V., Sağır, Z., & Pamucar, D. (2024). An integrated Fine-Kinney risk assessment model utilizing Fermatean fuzzy AHP-WASPAS for occupational hazards in the aquaculture sector. *Process Safety and Environmental Protection*, 186, 232-251. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.04.025>.
22. Fan, C., Montewka, J., & Zhang, D. (2021). Towards a Framework of Operational-Risk Assessment for a Maritime Autonomous Surface Ship. *Energies*, 14, 3879. <https://doi.org/10.3390/en14133879>.
23. Chung, H.-Y., Ting, T.-H., & Chang, K.-H. (2024). A Novel Intuitionistic Fuzzy Set-Based Risk Priority Number Method for Solving Chemical Experiment Risk Evaluation. *Systems*, 12, 155. <https://doi.org/10.3390/systems12050155>.

Vasyl HOLINKO, D.Sc. in Technical Sciences, Professor (ORCID 0000-0001-6069-0515)

Dmytro RADCHUK, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor (ORCID 0000-0001-8034-541X)

Serhii CHEBERIACHKO, D.Sc. in Technical Sciences, Professor (ORCID 0000-0003-3281-7157)

Mykola NAUMOV, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor (ORCID 0000-0002-9748-2506)

Bohdan KRAVCHENKO, Ph.D. Candidate (ORCID 0000-0001-8398-0793)

Oleh DERYUGIN, Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor (ORCID 0000-0002-2456-7664)

National Technical University "Dnipro Polytechnic"

EVALUATION OF OPERATIONAL RISKS OF RESPIRATORY PROTECTIVE EQUIPMENT

For assessing the risks of hazardous events at gas stations, the "HAZOP" and "FMEA" methods were chosen because they complement each other well and allow for detailed analysis of each stage of the production process to identify hazards and assess the overall system's operability.

An analysis of nonconformities during the operation of respirators was conducted based on the requirements of Commission Communiqué 89/C 328/02 (Official Journal of the European Communities No. C 328). A method for evaluating operational risks of respiratory protective equipment (RPE) was developed, consisting of four steps: identifying nonconformities or defects, determining the magnitude of operational risk, assessing the risk priority number, and justifying preventive measures. It was proposed to use the "HAZOP" method for identifying nonconformities or defects, which allows qualitatively identifying the relationship between nonconformity, hazardous events, and the consequences regarding the loss of RPE protective effectiveness through the use of keywords. The "FMEA" method was proposed for evaluating the magnitude of operational risk, as it allows for identifying nonconformities or defects during RPE operation.

The scientific novelty lies in establishing operational risk through the risk priority number, which is determined considering the identification of nonconformities or defects during the operation of respiratory protective equipment.

The practical value lies in developing a new approach for evaluating operational risks using a combination of the "HAZOP" and "FMEA" methods, which improves the accuracy of the assessment and provides more detailed recommendations to prevent the loss of protective effectiveness of respiratory protective equipment during operation.

Keywords: *Risk assessment, RPE, "HAZOP" method, "FMEA" method, hazardous event, operational risk magnitude, risk priority number magnitude.*