

УДК 331.436: 614.894.3

С. І. Чеберячко¹, д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0001-5866-4393)
О. В. Дерюгін¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2456-7664)
О. П. Шароватова², к.пед.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2736-2189)
Т. О. Луценко², к.держ.упр., ст. викл. каф. (ORCID 0000-0001-7373-4548)
М. М. Наумов¹, к.т.н., доц. каф. (ORCID 0000-0002-9748-2506)

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ОЦІНКА ЗАХИСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ РЕСПІРАТОРІВ ПРИ ВИБОРІ Й ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Досліджено вплив помилок і невідповідностей на захисну ефективність фільтрувальних респіраторів під час процесу їх вибору й експлуатації, що зумовлено необхідністю оцінки професійних ризиків при виборі фільтрувальних респіраторів. Використано метод аналізу функціонального резонансу дослідження для моделювання розвитку різних сценаріїв подій через опис функцій процесу вибору й експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання, що призведуть до погіршення захисту працівників, виходячи із впливу часу експлуатації, наявності необхідних ресурсів і передумов та відповідного рівня контролю. Визначені основні функції при виборі й експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання, які залежать від аналізу умов праці, обґрунтування вибору засобів індивідуального захисту органів дихання, перевірки адекватності та особливостей експлуатації фільтрувальних респіраторів з урахуванням вхідних даних, часу експлуатації можливих передумов, необхідних ресурсів і відповідного рівня контролю. Запропоновано для опису мінливості функцій розглянути чотири сценарії розвитку подій виходячи зі своєчасного і точного їх виконання, що дало змогу представити можливі помилки при виборі та експлуатації фільтрувальних респіраторів та їх наслідки для ефективності захисту працівника з огляду на розвиток декількох можливих як позитивних, так і негативних результатів виконання. Розроблені рекомендації щодо зменшення помилок при виборі й експлуатації фільтрувальних респіраторів, що є вкрай важливим і необхідним для підтримки відповідного рівня захисту користувачів упродовж усього визначеного часу експлуатації за рахунок посилення контролю за їх захисними властивостями на кожному етапі використання.

Ключові слова: фільтрувальний респіратор, захисна ефективність, експлуатація засобів індивідуального захисту органів дихання, метод аналізу функціонального резонансу, мінливість функцій

1. Вступ

Сучасні виробничі умови характеризуються високим ступенем індустріалізації й урбанізації, внаслідок чого відбувається постійний контакт працівників з різноманітними техногенними чинниками (пил, дим, туман або газ та пара), вміст яких у повітрі робочої зони перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК). Захворювання органів дихання, асоційовані з інгаляційним мінеральним пилом, в першу чергу пневмокониоз, є невиліковними і незворотними та становлять суттєву частку серед професійних хвороб.

Згідно зі ст. 13 Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці. Якщо ж сучасний рівень розвитку науки і техніки не дозволяє це зробити, то для їхнього захисту повинні використовуватися засоби індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД).

Їх вибір регламентовано стандартом EN 529:2006. Засоби індивідуального захисту органів дихання. Рекомендації щодо вибору, використання, догляду і обслуговування. Настанова (EN 529:2005, IDT) і складається з кількох етапів: іден-

тифікації шкідливих речовин у повітрі робочої зони, оцінки професійних ризиків їх впливу на здоров'я працівника, обґрунтування вибору ЗІЗОД відповідно до його захисних характеристик – фільтрувального респіратора (ФР), навчання працівників навичкам його використання, забезпечення відповідного зберігання й обслуговування ФР. Однак, самої рекомендації щодо вибору методу для розрахунку ризиків не наведено, що вимагає відповідних роз'яснень.

З іншого боку, відповідно до НПАОП 0.00-7.17-18 «Мінімальні вимоги безпеки і охорони здоров'я при використанні працівниками засобів індивідуального захисту на робочому місці», виникає необхідність в оцінці і власних ризиків, притаманних фільтрувальним респіратором ще й під час їх експлуатації. Нажаль, навіть сумлінне дотримання наведеної процедури не гарантує ефективного захисту органів дихання користувача, оскільки розробники наведених стандартів формалізували стадії вибору ефективних функціональних засобів індивідуального захисту органів дихання, залишивши поза увагою акцент на тому, що їх вибір необхідно здійснювати, перш за все, враховуючи технічні характеристики фільтрувальних респіраторів, особливості антропометричних розмірів облич користувачів, оскільки вище згадане сприяє збільшенню ризику погіршення захисних властивостей захисних пристроїв через утворення щілин за смугою обтіюрації та підсмоктування токсичних речовин у підмасковий простір, у зону дихання користувача. Зважаючи на вищезазначене, досить актуальною є проблема забезпечення високоєфективного захисту працівників під час користування фільтрувальними респіраторами.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Результатам подібних науково-практичних пошуків присвячена робота [1], в якій автори на першому етапі намагались знайти небезпеки при експлуатації комплектів ЗІЗ медичними працівниками для зменшення професійного ризику захворювання від коронавірусної хвороби. Були проведені анкетування медичних працівників щодо визначення їх психофізіологічних особливостей, що дозволило уточнити терміни безпечної експлуатації ЗІЗ. Однак у даному дослідженні не було враховано появу можливих помилок під час вибору ЗІЗ, коли подальша їх експлуатація не має сенсу. Про це наголошується у публікації [2] щодо оцінки факторів впливу для захисту медичних працівників від COVID-19. В іншому дослідженні [3] автори намагались оцінити рівень професійного ризику погіршення здоров'я автослюсарів підчас використання засобів індивідуального захисту. У результаті проведення глибокого аналізу різноманітних шкідливих факторів, що впливають на ефективність захисту працівників, був зроблений висновок щодо залежності ступеня захисту користувачів від їх сприйняття величини ризику для власного здоров'я, тоді як інші складові (адекватність вибору, підготовка працівників, своєчасна заміна фільтрів, недоліки комфорту) або підсилювали, або послаблювали вказану величину. Наведені висновки щодо розробки програм безпеки для зменшення впливу професійного ризику на своєчасність використання ЗІЗ носять більше формалізований характер і потребують подальшого доопрацювання, особливо зважаючи на захист від хімічних чи біологічних небезпек, які можуть суттєво погіршити стан здоров'я працівників [4]. У той же час слід звернути увагу і на накопичену працівником ефективну дозу шкідливої речовини, яка у сукупності з часом може призвести до віддалених у часі негативних наслідків, що може спричинити легковажне ставлення до необхідності використання ЗІЗ [5].

Досить цікавий погляд щодо оцінки професійних ризиків представлений у роботі [6], де пропонується кількісний підхід, що базувався на статистичних даних ураження електричним струмом працівників з урахуванням умов експлуатації. Автори на основі вимог стандарту IEC 61482-1-2 (DIN EN 61482-1-2: 2007): Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc. Part 1: Test methods – Method 2 – Determination of the arc protection class of material and clothing using a constrained and directed arc розробили декілька формул, виходячи з класів захисту та небезпеки ураження користувача ЗІЗ. Недоліком даного методу є підготовка саме статистичних даних, які потребують здійснення спеціальних досліджень. З подібною проблемою зіткнулись автори роботи [7], які вирішили опрацювати значну кількість ЗІЗ для захисту користувачів при роботі з пестицидами. У результаті було зазначено, що складність оцінки ризику полягає у відсутності достовірної інформації від виробників щодо небезпеки тієї чи іншої речовини для обробки сільськогосподарських культур. Також на величину ризику впливають й інші фактори (вартість, доступність, термічний та механічний дискомфорт), що іноді можуть значно посилити небезпеку під час одночасної дії, що потребує пошуку відповідних нових методів для розрахунку ризиків.

Отже, беручи до уваги наведений огляд, невирішеною частиною розглянутої проблеми є оцінка захисних властивостей фільтрувальних респіраторів під час їх вибору та експлуатації з урахуванням часу використання, наявності необхідних ресурсів та контролю за своєчасною експлуатацією.

3. Мета та завдання дослідження

Метою даної роботи є дослідження впливу помилок і невідповідностей на захисну ефективність фільтрувальних респіраторів, які виникають під час процесу їх вибору й експлуатації методом аналізу функціонального резонансу.

Для досягнення поставленої мети вирішення потребували наступні наукові завдання:

1. Описати процес вибору й експлуатації фільтрувальних респіраторів у відповідності до вимог методу аналізу функціонального резонансу.
2. Провести оцінку мінливості функцій на захисні властивості фільтрувальних респіраторів під час їх вибору й експлуатації.
3. Визначити шляхи зниження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів з урахуванням мінливості функцій.
4. Розробити рекомендацій щодо зменшення наслідків помилок при виборі й експлуатації фільтрувальних респіраторів.

4. Матеріали та методи досліджень

Метод аналізу функціонального резонансу (Functional Resonance Analysis Method – FRAM) використовують для оцінки складних організаційно-технічних систем, що мають значну кількість підсистем і компонентів, де присутня змінність продуктивності їх функціонування, зумовлена діяльністю людини, недоліками технології та організацією виробничого процесу [8–10]. Основний елемент методу «FRAM» – функціональний шестикутник (рис. 1) [11].

За допомогою шести аспектів кожної функції (часу, контролю, виходу, ресурсу, передумови та вхідних даних) вивчаються системні взаємодії між кожною компонентою системи, які спрямовані на виявлення потенційних джерел небезпек. У табл. 1 наведена характеристика функціональних елементів методу «FRAM».

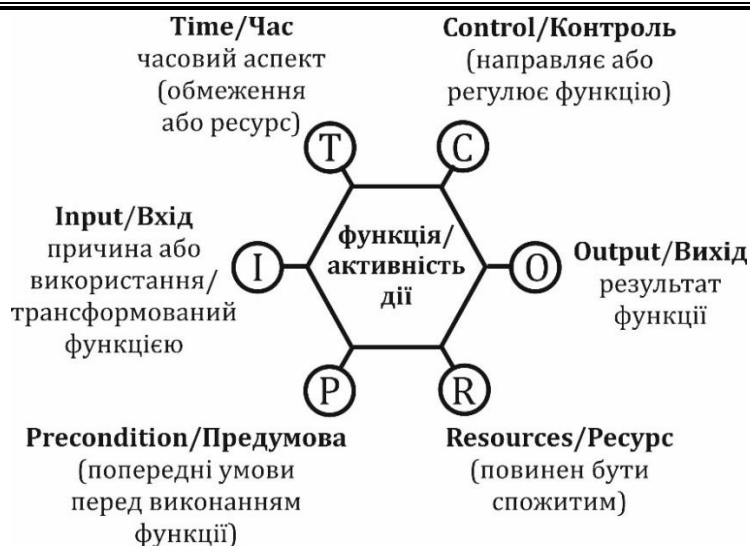


Рис. 1. Функціональний шестикутник методу «FRAM»

Табл. 1. Характеристика функціональних елементів методу «FRAM»

Символьне позначення	Параметри	Опис позначення
Input «I»	Вхідні дані	Вхідна інформація (або вхідні дані), яка характеризує функцію в процесі функціонування системи. Це є посилання на попередні функції. Вхідні дані запускають виконання або дію функції.
Output «O»	Вихід	Результат виконання функції (вихідні дані). Надає посилання на подальші функції. Представляє результат зміни технічного стану елементів системи.
Time «T»	Час	Час, необхідний для обробки (підготовки, діагностування, обслуговування елементів системи) функціональним підрозділом або підсистемою.
Control «C»	Контроль	Обмеження, методи та процедури контролю. Вони визначають, як функція передає технічні дані та/або контролюється
Preconditions «P»	Предумови	Системні умови, які визначають умови функціонування, та які повинні бути задоволені перед виконанням функції.
Resources «R»	Ресурси	Ресурси, які потрібні або використовуються під час обробки функції або функціонування елементів системи.

5. Опис процесу вибору й експлуатації респіраторів методом аналізу функціонального резонансу

Досить часто розвиток небезпечних подій лінійно залежить від величини ризику. Однак існують випадки, коли мінімальна величина ризику може призвести до значних небажаних ситуацій. Наприклад, під час вибору ФР може виникнути помилка щодо невірної оцінювання величини вологості повітря в робочій зоні. У результаті буде значно зростати опір диханню і зменшиться термін захисної дії фільтрів, що призведе до вдихання шкідливих речовин. Звідси можуть бути значні наслідки для здоров'я користувача, які будуть визначатись типом токсикантів, часом застосування, можливістю контролю та наявністю додаткових фільтрів для заміни. Усе перераховане вплине на величину ризику розвитку професійного захворювання і потребує ретельного дослідження, тоді як під час звичайної оцінки буде зроблений однозначний висновок, виходячи з ймовірності настання небезпечної події і важкості наслідків, що значно обмежує можливості оцінки реальної ситуації.

Усі фактори, що впливають на ефективність використання фільтрувальних ЗІЗОД, можна підрозділити на дві групи: фактори, пов'язані з помилками при виборі ЗІЗОД; фактори, пов'язані з невмілою або/і безвідповідальною експлуатацією ЗІЗОД. Відтак, розглянемо три основні функції: дві з яких характеризують саме процес вибору, а третя – процес експлуатації.

Для кожної функції на першому етапі «FRAM»-аналізу наводимо конкретні приклади їх застосування з урахуванням шести аспектів: передумов, необхідних ресурсів, часу проведення, контролю та вхідних і вихідних даних (табл. 2).

Табл. 2. Опис функцій, що характеризують процес вибору й експлуатації респіраторів

Аспекти методу	Питання	Функції процесу			
		Аналіз умов праці	Обґрунтування вибору ФР	Перевірка адекватності вибору ФР	Експлуатація ФР
Вхід	З чого починається функція?	Вимір концентрації шкідливої речовини, визначення ГДК	Результати санітарно-гігієнічного аналізу	Результати обґрунтування вибору марки ЗІЗОД	Відповідної марки ЗІЗОД
	На що функція діє або змінюється?	На обґрунтування моделі ЗІЗОД	На адекватність захисту працівника	На величину захисту працівника	На термін захисної дії
Вихід	Що є результатом функції?	Величина концентрації шкідливої речовини	Величина коефіцієнта захисту	Величина коефіцієнта захисту	Величина коефіцієнту захисту
	Кому потрібен результат?	Фахівцеві, який здійснює вибір ЗІЗОД	Працівнику	Працівнику	Працівнику
Передумова	Що має бути для нормального виконання функції?	Результати санітарно-гігієнічного аналізу умов праці	Результати лабораторних досліджень ефективності ЗІЗОД	Спеціальні пристрої для перевірки придатності ЗІЗОД	Графік перевірки захисної ефективності та обслуговування
	Що робити, якщо передумови відсутні?	Виконувати дослідження власноруч	Провести перевірку власноруч	Заборона до експлуатації	Заборона до експлуатації
Ресурс	Які ресурси потрібні для виконання функції?	Прилади для дослідження параметрів мікроклімату, концентрації шкідливих речовин, часу виконання роботи	Супровідна документація, сертифікат відповідності	Спеціальні пристрої для перевірки придатності ЗІЗОД	Спеціальні пристрої для перевірки експлуатаційних параметрів ЗІЗОД
	Що робити, якщо ресурсів немає?	Замовити проведення санітарно-гігієнічного аналізу	Відмовитись від використання ЗІЗОД	Відмовитись від використання ЗІЗОД	Відмовитись від використання ЗІЗОД

Контроль	Чи є у вас офіційні процедури або інструкції?	Процедура аналізу прописана у відповідних нормативних документах	Процедура вибору описана в [2]	Процедура вибору описана в [2]	Процедура вибору описана в [2]
	Чи є необхідність контролю за функцією?	Так, від визначених показників залежить вибір марки ЗІЗОД	Так, залежить ступінь захисту працівника	Так, залежить ступінь захисту працівника	Так, залежить ступінь захисту працівника
	Чи є критичні значення для управління функцією?	Так, критичні значення кисню при якому застосовувати ЗІЗОД заборонено	Так, перевищення концентрації безпечної області використання	Так, коефіцієнт підсмоктування повинен бути мінімальним	Так, коефіцієнт проникнення і термін захисної дії
Час	Скільки часу, для виконання функції?	Протягом зміни	---	---	Робоча зміна
	Чи є якісь часові обмеження?	---	---	---	Графік заміни фільтра

6. Оцінка мінливості функцій на захисні властивості фільтрувальних респіраторів

Другий етап FRAM-аналізу присвячений визначенню мінливості функцій. Для цього необхідно оцінити виконання функцій відповідно до заданих часових рамок і точності. Найчастіше для цього використовують наступний опис: функція завершена своєчасно і виконана у повному обсязі; функція незавершена і виконана незадовільно; функція виконується несвоєчасно, але в повному обсязі; функція виконується своєчасно, але із помилками [12].

Опис мінливості функцій наведено у табл. 3.

Табл. 3. Опис мінливості функцій

Функція	Варіативність	Опис можливих ситуацій
Обґрунтування вибору ФР	F1V0	Вибір правильний і своєчасний
	F1V1	Вибір правильний, але несвоєчасний
	F1V2	Вибір прийнятний (задовільний без критичних помилок), але своєчасний
	F1V3	Вибір невірний
Перевірка адекватності вибору ФР	F2V0	Перевірка вірна і своєчасна
	F2V1	Перевірка вірна, але не своєчасна
	F2V2	Перевірка прийнятна і своєчасна
	F2V3	Перевірка невірна
Експлуатація ФР	F3V0	Експлуатація відповідна і своєчасна
	F3V1	Експлуатація відповідна, але несвоєчасна
	F3V2	Експлуатація з помилками, але своєчасна
	F3V3	Експлуатація невідповідна і не своєчасна

7. Визначення шляхів зниження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів

Третій етап «FRAM»-аналізу присвячений визначенню функціонального резонансу, на якому передбачається визначення різних сценаріїв розвитку подій з урахуванням мінливості функцій (табл. 4).

Табл. 4. Опис мінливості функцій і можливих наслідків

Функція	Варіативність	Опис можливих ситуацій	Наслідки
Обґрунтування вибору ФР	F1V0	ФР відповідає функціональному призначенню	Забезпечується нормативний захист
	F1V1	ФР обрано за призначенням, але не визначено антропометричні особливості обличчя	Не забезпечується нормативний захист через проникнення у підмасковий простір пилу крізь щілини між обтюратором і обличчям
	F1V2	ФР не відповідає функціональному призначенню	Не забезпечується нормативний захист
	F1V3	ФР відповідає функціональному призначенню, але концентрація кисню у повітрі робочої зони < 18 %	Запаморочення, слабкість, прискорене серцебиття. При вмісті кисню < 18 % – судоми і смерть
Перевірка адекватності вибору ФР	F2V0	ФР вибрано правильно з урахуванням умови його експлуатації	Забезпечується нормативний захист
	F2V1	ФР вибрано правильно, але підвищені температура і вологість повітря	Забезпечується нормативний захист, але виникає потіння обличчя, зростання опору дихання
	F2V2	ФР вибрано правильно, але рівень забруднення повітря перевищує межу безпечного використання респіратора	Не забезпечується нормативний захист органів дихання
	F2V3	ФР вибрано вірно, але не враховано умови його експлуатації	Не забезпечується нормативний захист органів дихання
Експлуатація ФР	F3V0	ФР використовується навченими поводженню з ним працівниками (приспосовування, експлуатація і/або зберігання)	Забезпечується нормативний захист
	F3V1	ФР використовується навченими працівниками, але виникає збільшення навантаження та рухливість користувача	Забезпечується нормативний захист, але зростає опір дихання, пітніє обличчя
	F3V2	ФР використовується навченими працівниками, але виникає можливість механічного пошкодження і потрапляння води на фільтрувальну маску	Не забезпечується нормативний захист
	F3V3	ФР використовується навченими працівниками, але не враховано умови його експлуатації	Не забезпечується нормативний захист

Візуалізація процесу вибору й експлуатації фільтрувального респіратора наведена на рис. 2.

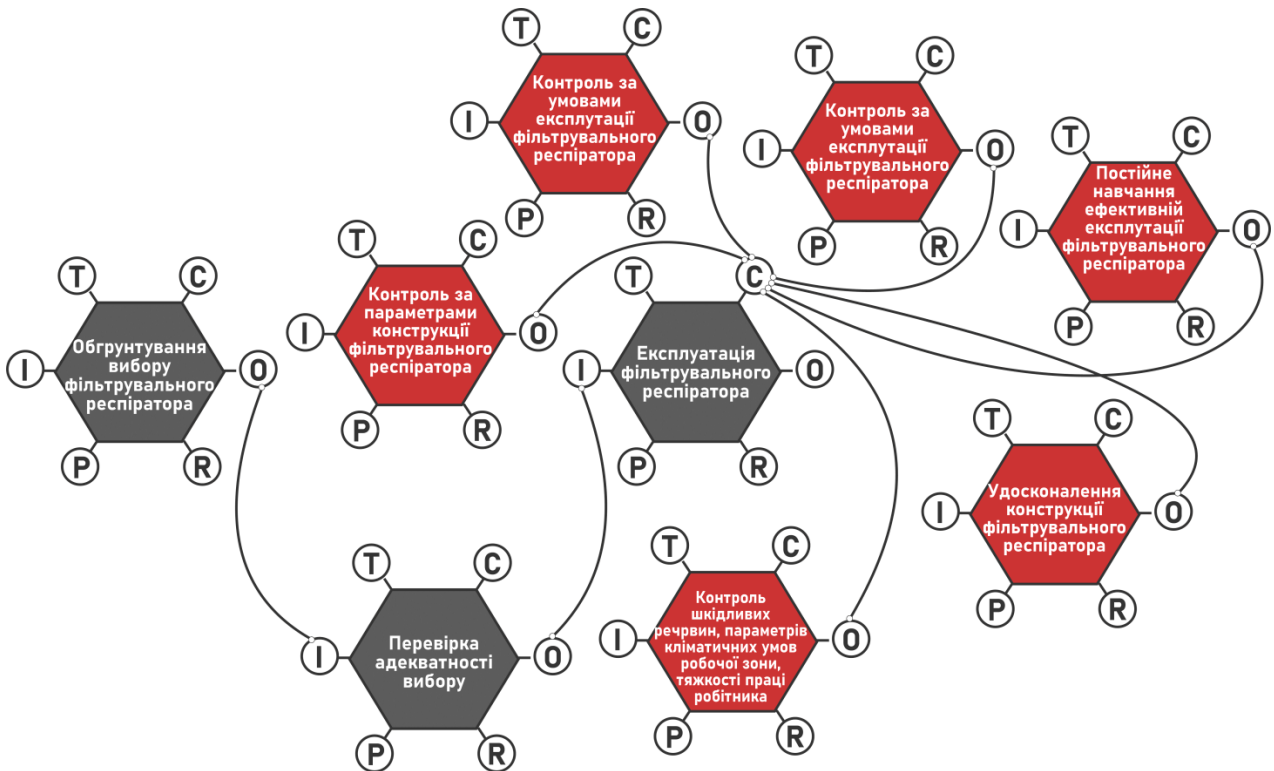


Рис. 2. Схема функціонального резонансу забезпечення процедури вибору й експлуатації ЗІЗОД

8. Розробка рекомендацій щодо безпечного вибору й експлуатації фільтрувальних респіраторів

Четвертий етап «FRAM»-аналізу присвячений управлінню змінами. Тобто кожному розвитку можливих негативних ситуацій, які визначені в таблиці 4, надаються рекомендації щодо зменшення ймовірності настання небезпечної ситуації (табл. 5).

Табл. 5. Рекомендації щодо зменшення наслідків помилок при виборі й експлуатації фільтрувальних респіраторів

Функція	Варіативність	Рекомендації щодо зменшення ймовірності небезпечної ситуації
Обґрунтування вибору ФР	F1V1	Ужити ФР зі змінною геометрією смуги обтюрації
	F1V2	Ужити ФР відповідного класу захисту
	F1V3	Вентиляція робочої зони. Використання ізолюючих ЗІЗОД
Перевірка адекватності вибору ФР	F2V1	Притиснути ФР до обличчя, не перевищуючи межі питомого тиску (4-6 Н)
	F2V2	Ужити ФР з клапаном видиху або/і водопоглинальним елементом
	F2V3	Ужити ФР відповідного класу захисту
Експлуатація ФР	F3V1	Ужити ФР з клапаном видиху
	F3V2	Ужити ФР з еластомірною маскою
	F3V3	Забезпечити обов'язкове навчання працівників поводженню з ЗІЗОД

9. Обговорення результатів дослідження шляхів зниження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів

Завдяки методу аналізу функціонального резонансу (Functional Resonance Analysis Method – FRAM), дослідження можливих невідповідностей при виборі та експлуатації фільтрувальних респіраторів, які впливають на ефективність захисту користувача, є досить результативним, оскільки дозволяє розглянути з різних сторін розвиток подій через мінливість функцій, які описують процес вибору й експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання. Було передбачено, що кожна з функцій мала чотири сценарії розвитку подій, виходячи з її своєчасного і точного виконання (табл. 3). Це дало можливість представити потенційні помилки при виборі й експлуатації фільтрувальних респіраторів та їх наслідки для ефективності захисту працівника (табл. 4). У результаті виявлення помилок для їх усунення передбачені рекомендації, що вимагають організації належного рівня обслуговування та контролю за захисними властивостями респіраторів.

Можна стверджувати, що звичайна оцінка професійних ризиків матричним способом, що базується на встановленні ймовірності настання небезпечної події та тяжкості наслідків, яка найбільш поширена для обґрунтування вибору засобів індивідуального захисту [13; 14], не дозволяє розглянути всі можливі сценарії розвитку подій та попередити помилки чи невідповідності, викликані обмеженістю ресурсів, невідповідністю контролю чи часом експлуатації. Крім того, якісні чи напівкількісні методи з оцінки ризиків не дозволяють урахувати взаємозв'язок між етапом вибору та експлуатацією фільтрувального респіратора, що може значно погіршити захист працівників, особливо при наявності помилок у визначенні безпечних меж використання засобів індивідуального захисту органів дихання різних конструкцій, в тому числі з урахуванням ергономічної складової: величини опору диханню фільтрів відповідно до важкості виконуваних робіт або маси респіратора, розташування фільтрів, конструкції наголів'я, що впливає на ступінь комфорту і своєчасного та постійного використання засобів індивідуального захисту органів дихання.

Наступним кроком розвитку даного дослідження передбачається встановлення числових значень мінливості і варіабельності функцій, що описують вибір і експлуатацію фільтрувальних респіраторів, для визначення найбільшої ймовірності розвитку певного сценарію, усуненню якого буде приділено найбільше уваги. Оцінювання мінливості функцій вимагає класифікації причин, які призводять до змін у її виконанні. Зокрема, визначення, що більше впливає на кінцевий результат – зовнішні чи внутрішні чинники або навколишнє середовище через обставини, в яких виконується функція.

Висновки

1. Розкрито сутність процесу вибору й особливості експлуатації фільтрувальних респіраторів у відповідності до кожного аспекту методу аналізу функціонального резонансу, що дозволило встановити різноманітні ситуації, які характеризують вихідні дані кожної функції.

2. Визначено, що мінливість функцій може призвести до розвитку трьох ситуацій, які характеризуються погіршенням захисних властивостей фільтрувальних респіраторів, з яких найгіршою є вибір без урахування концентрації кисню в робочій зоні та впливу умов експлуатації.

3. Встановлено, що найпоширенішим наслідком розвитку того чи іншого сценарію є неналежний ступінь захисту працівників, що викликано перш за все помилками як під час вибору та перевірки адекватності обраного засобу індивідуального захисту, так і неврахуванням умов праці, в яких виконується виробниче завдання, особливо під час нахилів тулуба чи спостереження за технологічним процесом через обмеження, викликані застосуванням респіраторів.

4. Запропоновано декілька рекомендацій, пов'язаних із необхідністю визначення антропометричних розмірів обличчя потенційних користувачів, виміру притискних зусиль системи кріплення респіратора на обличчя та проведення додаткового навчання працівників щодо особливостей експлуатації засобів індивідуального захисту органів дихання, які в результаті призведуть до зменшення помилок при виборі й експлуатації фільтрувальних респіраторів, чого можна досягти шляхом посилення контролю за захисними властивостями на кожному етапі їх експлуатації.

Література

1. Ankur A., Sheetal A., Poonam M. Difficulties encountered while using PPE Kits and how to overcome them: An Indian perspective. *Cureus*. 2020 Nov, 12(11): e11652. doi: 10.7759/cureus.11652

2. Srijit D., Sakthiswary R. Personal protective equipment (PPE) and its use in COVID-19: important facts. *Indian J Surg*. 2020 May 28. 1–2. doi: 10.1007/s12262-020-02411-8

3. Occupational risk perception and the use of personal protective equipment (PPE): A study among informal automobile artisans in Osun state, Nigeria. January 2021. *SAGE Open* 11(1):215824402199458. doi: 10.1177/2158244021994585

4. Syed U., Faine C., Sheharyar K., Erum C. et al. Strategies for rational use of personal protective equipment (PPE) among healthcare providers during the COVID-19 crisis. *Cureus*. 2020 May, 12(5): e8248. doi: 10.7759/cureus.8248

5. Tinoco H., Lima G., Sant'Anna A., Gomes C. et al. Risk perception in the use of personal protective equipment against noise-induced hearing loss. *Gestão Produção*. 2019. 26(1). e1611. doi: 10.1590/0104-530X1611-19

6. Schau H., Mehlem M. Risk analysis and guidelines for selecting PPE against the thermal hazards of electric fault arcs. *ICOLIM 2011, 10th International conference on live maintenance; May 31st – June 2nd 2011, Zagreb, Croatia*. Available online: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012200088

7. Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use / A. Garrigoua, C. Laurentb, A. Berthetc, C. Colosiod, N. Jase, V. Daubas-Letourneuxf, J.-M. Jackson Filhog, J.-N. Jouzelh, O. Samueli, I. Baldia, P. Lebaillyj, L. Galeya, F. Goutillea, N. Judona. *Safety Science*. Volume 123. March 2020. 104527. doi: 10.1016/j.ssci.2019.104527

8. Cheberiachko S., Deryugin O., Mirnenko V., Borodina N. Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*. 2020. V. 10. Is. 4. P. 23–41. doi: 10.33445/sds.2020.10.4.3

9. Hussein S., Nadeau S. Proposal for a predictive performance assessment model in complex sociotechnical systems combining fuzzy logic and the functional resonance analysis method (FRAM). *American Journal of Industrial and Business Management*. 2019. V. 9. Is. 6. P. 1345–1375. doi: 10.4236/ajibm.2019.96089

10. Patriarca R., Di Gravio G., Costantino F. A Monte Carlo evolution of the functional resonance analysis method (FRAM) to assess performance variability in complex systems. *Safety Science*. 2017. V. 91. P. 49–60. doi: 10.1016/j.ssci.2016.07.016

11. Frost B., Mo J. System hazard analysis of a complex socio-technical system: the functional resonance analysis method in hazard identification. Australian system safety conference, Melbourne Australia. 28-30 May 2014. URL: <http://surl.li/audtz>

12. Patriarca R., Del Pinto G., Di Gravio G., Costantino F. FRAM for systemic accident analysis: a matrix representation of functional resonance. International journal of reliability, quality and safety engineering. Vol. 25. № 01. 2018. 1850001. doi: 10.1142/S0218539318500018

13. Han D., Chung S., Kim J., Cho Y. et al. A study on selecting personal protective equipment for listed hazardous chemicals: analysis of hazard ranks and workplace exposure risks. J Environ health sci. 42 (6). 2016. P. 419–429. doi: 10.5668/JEHS.2016.42.6.419

14. Han D. Selection guide to wearing respirators according to work situations and on-site applicability. Safety and health at work. 2021. doi: 10.1016/j.shaw.2021.07.011

S. Cheberiachko¹, DSc, Professor, Professor of the Department

O. Deryugin¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

O. Sharovatova², PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

T. Lutsenko², PhD, Senior Lecturer of the Department

M. Naumov¹, PhD, Associate Professor of the Department

¹*Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine*

²*National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

EVALUATION OF PROTECTIVE EFFICIENCY OF FILTER RESPIRATORS IN SELECTION AND OPERATION

The influence of errors and inconsistencies on the protective effectiveness of filter respirators during the process of their selection and operation, which is due to the need to assess occupational risks in the selection of filter respirators. The method of functional resonance analysis of the study was used to model the development of different scenarios through the description of the functions of the process of selection and operation of respiratory protection, which will lead to deterioration of workers' protection based on the time of operation, availability of necessary resources and appropriate level of control. The main functions in the selection and operation of personal respiratory protection, which depend on the analysis of working conditions, justification for the choice of personal respiratory protection, checking the adequacy and features of the operation of filter respirators based on input data, operating time of possible prerequisites, required resources and appropriate level control. To describe the variability of functions, it is proposed to consider four scenarios based on their timely and accurate implementation, which allowed to present possible errors in the selection and operation of filter respirators and their consequences for effective protection of the worker given the development of several possible positive and negative results. Recommendations have been developed to reduce errors in the selection and operation of filter respirators, which is extremely important and necessary to maintain the appropriate level of protection of users throughout the specified period of operation by strengthening control over their protective properties at each stage of use.

Keywords: filter respirator, protective efficiency, operation of personal respiratory protection, method of functional resonance analysis, variability of functions

References

1. Ankur, A., Sheetal, A., Poonam, M. Difficulties encountered while using PPE Kits and how to overcome them: An Indian perspective, 2020, Nov, 12(11): e11652. doi: 10.7759/cureus.11652

2. Srijit, D., Sakthiswary, R. Personal protective equipment (PPE) and its use in COVID-19: important facts, 2020 May 28: 1–2. doi: 10.1007/s12262-020-02411-8

3. Occupational risk perception and the use of personal protective equipment (PPE): A study among informal automobile artisans in Osun state, Nigeria. January 2021. SAGE Open 11(1):215824402199458. doi:10.1177/2158244021994585

4. Syed, U., Faine, C., Sheharyar, K., Erum, C. at al. Strategies for rational use of personal protective equipment (PPE) among healthcare providers during the COVID-19 crisis. , 2020 May, 12(5): e8248. doi: 10.7759/cureus.8248
5. Tinoco, H., Lima, G., Sant'Anna, A., Gomes, C. at al. Risk perception in the use of personal protective equipment against noise-induced hearing loss. *Gestão Produção*, 2019, 26(1), e1611. doi: 10.1590/0104-530X1611-19
6. Schau, H., Mehlem, M. Risk analysis and guidelines for selecting PPE against the thermal hazards of electric fault arcs. *ICOLIM 2011, 10th International conference on live maintenance*; May 31th – June 2nd 2011, Zagreb, Croatia. Available online: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012200088
7. Critical review of the role of PPE in the prevention of risks related to agricultural pesticide use / A. Garrigoua, C. Laurentb, A. Berthetc, C. Colosiod, N. Jase, V. Daubas-Letourneuxf, J.-M. Jackson Filho, J.-N. Jouzelh, O. Samueli, I. Baldia, P. Lebaillyj, L. Galeya, F. Goutillea, N. Judona. *Safety Science*. Volume 123, March 2020, 104527. doi: 10.1016/j.ssci.2019.104527
8. Cheberiachko, S., Deryugin, O., Mirnenko, V., Borodina, N. Selection of effective filter respirators. Challenges and opportunities. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*, 2020, 10, 4, 23–41. doi: 10.33445/sds.2020.10.4.3
9. Hussein, S., Nadeau, S. Proposal for a predictive performance assessment model in complex sociotechnical systems combining fuzzy logic and the functional resonance analysis method (FRAM). *American Journal of Industrial and Business Management*, 2019, 9, 6. 1345–1375. doi: 10.4236/ajibm.2019.96089
10. Patriarca, R., Di Gravio, G., Costantino, F. A Monte Carlo evolution of the functional resonance analysis method (FRAM) to assess performance variability in complex systems. *Safety Science*, 2017, 91, 49–60. doi: 10.1016/j.ssci.2016.07.016
11. Frost, B., Mo, J. System hazard analysis of a complex socio-technical system: the functional resonance analysis method in hazard identification. *Australian system safety conference*, Melbourne Australia, 28-30 May 2014, Retrieved from: <http://surl.li/audtz>
12. Patriarca, R., Del Pinto, G., Di Gravio, G., Costantino, F. FRAM for systemic accident analysis: a matrix representation of functional resonance. *International journal of reliability, quality and safety engineering*, 25, 01, 2018. 1850001. doi: 10.1142/S0218539318500018
13. Han, D., Chung, S., Kim, J., Cho, Y. at al. A study on selecting personal protective equipment for listed hazardous chemicals: analysis of hazard ranks and workplace exposure risks. *J Environ health sci*, 42 (6), 2016, 419–429. doi: 10.5668/JEHS.2016.42.6.419
14. Han, D. Selection guide to wearing respirators according to work situations and on-site applicability. *Safety and health at work*, 2021. doi: 10.1016/j.shaw.2021.07.011

Надійшла до редколегії: 11.10.2021

Прийнята до друку: 22.11.2021