

УДК
623.459.6

ЛАРИСА ТРЕТЯКОВА

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕРВАЛЬНИХ ОЦІНОК НАДІЙНОСТІ ПРОТИГАЗІВ

Мета. Запропоновано методику визначення рівня надійності засобів індивідуального захисту органів дихання, яка дає можливість отримати необхідні вихідні дані для подальшого вибору та оцінки можливості їх застосування в умовах впливу шкідливих чинників.

Ключові слова: шкідливі речовини, структурно-логічна модель.

Постановка завдання. Засоби індивідуального захисту органів дихання та фільтрувальний захисний одяг передбачені як обов'язкові складники у комплексі захисних заходів у зонах надзвичайних ситуацій. Такі захисні комплекти повинні обмежити вплив на рятівників шкідливих аерозолів та газів, які потрапляють в навколишнє середовище у разі руйнування та пожеж будівель і комунікацій міської інфраструктури. Особливу небезпеку становить нині певна імовірність застосування ворогом засобів хімічного ураження. З початку військової агресії 24.02.2022 року російські війська на лінії зіткнення застосували більш як 862 рази заряди з хімічною зброєю типу RG-VO, RGK, CI-gas.

Протигаз чи фільтрувальний респіратор потрібно застосовувати, коли засоби контролю фіксують перевищення граничної концентрації шкідливих аерозолів, газів, випарів і відсутні інженерні методи обмеження їх впливу на людину. Наприклад, дим під час пожеж містить особливо шкідливі дисперсні частинки з діаметром менш як 2,5 мк (до 70% частинок у повітрі за кількістю) [1], вплив яких під час потрапляння в організм інгаляційним способом пов'язано з порушенням серцево-судинної функції та іншими несприятливими наслідками для здоров'я [2].

Відповідно до [3] такі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) віднесено до 3 категорії, яка під час проєктування і контролю повинна відповідати всім вимогам стандартів, маючи високі показники якості. З поміж вимог, які декларують для таких видів ЗІЗ, найважливішими є захисні властивості та показники надійності. Забезпечення високих вимог стандартів можливо за безвідмовної роботи усіх елементів конструкції, оскільки відмова будь-якого призводить до втрати захисних властивостей протигазу чи респіратора.

Вимоги щодо високих показників надійності протигазів передусім зумовлені режимами їх функціонування, а саме: забезпечення

максимального рівня захисту рятівників в умовах постійного впливу комплексу шкідливих речовин; використання в умовах невизначеності значень чинників впливу; неможливість відновлення пошкоджень у ході застосування; періодичне використання з тривалими строками зберігання; сумісність з іншими типами ЗІЗ, призначеними до одночасного використання. За таких умов виникає потреба на етапі проєктування оцінити початковий рівень надійності виробів. Запропоновано такий алгоритм визначення надійності з використанням формальних математичних методів: формалізація набору показників надійності; побудова структурно-логічних моделей надійності; визначення кількісної оцінки та порівняння її зі стандартизованою; удосконалення елементів протигазу за критерієм надійності під час подальшої проєктної розробки.

Методи досліджень. Для виконання поставлених завдань використано методи теорії надійності та структурно-логічний аналіз технічних систем.

Результати досліджень. Моделі до визначення показників надійності ЗІЗ зі складною конструкцією (протигази, респіратори з фільтрами, автономні дихальні апарати, ізолювальний і фільтрувальний одяг), які містять певну кількість взаємозв'язаних елементів, не завжди вдається безпосереднє представити як сукупність послідовних і паралельних з'єднань елементів [4]. Визначення ймовірнісних показників надійності таких систем зазвичай можливо лише методами, близькими до прямого перебору станів. Це є досить складним завданням, оскільки кожен стан аналізують відповідно до вибраного критерію надійності. Навіть у порівняно простих виробках, в яких існують зв'язки між 10–15 елементами, виникає потреба розрахунку кількох тисяч станів. Вочевидь у таких схемах доцільно відмовитися від визначення точних значень показників і перейти до здобуття інтервальних (верхньої і нижньої меж) ймовірнісних оцінок надійності на підставі методу «простих ланцюгів» і «простих розривів» [5]. Розглянемо алгоритм адаптування цього методу до визначення надійності протигазів.

Під час визначення надійності виробів, які містять N взаємозв'язаних елементів, проаналізуємо їх структурну схему, а саме яким чином конструкція та елементи ЗІЗ, які забезпечують захисні функції – окремо або в поєднанні – можуть впливати на виникнення відмов.

Розглянемо реалізацію цього методу на прикладі визначення інтервальної оцінки надійності протигазу МП-5У, який використовують для захисту від хімічних речовин 1-4 класу. Протигаз – складний виріб, комплектується елементами, які виготовляють різні виробники. Протигази є виробами багаторазового циклічного використання із середнім терміном служби до списання десять років. У вихідній моделі відсутні додаткові елементи, які забезпечують підвищення рівня надійності. Структурну

схему протигазу представлено у вигляді одного замкнутого двополюсного графу (рис. 1).

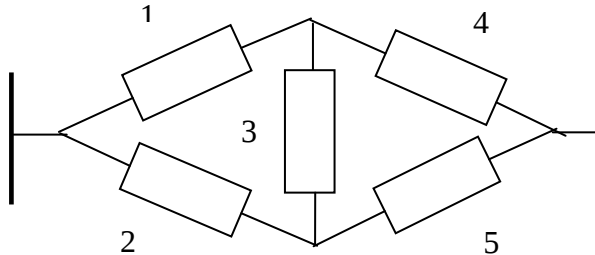


Рис. 1. Структурно-логічна схема до визначення рівня надійності
Конструктивні елементи протигазу, їхні значення інтенсивності
відмов і надійності наведено в табл. 1.

Таблиця 1. – Характеристики надійності елементів протигазу

Елемент протигазу	Номер на рис. 1	Інтенсивність відмов λ , 1/год.	Надійність $P(t)$	Імовірність відмов $Q(t)$
Клапан вдиху	1	$4,87 \cdot 10^{-5}$	0,65	0,35
Клапан видиху	2	$4,87 \cdot 10^{-5}$	0,65	0,35
Лицьова маска	3	$1,20 \cdot 10^{-5}$	0,90	0,10
Наголовник	4	$3,27 \cdot 10^{-5}$	0,75	0,25
Фільтр-поглинач	5	$1,20 \cdot 10^{-5}$	0,90	0,10

«Прості ланцюги» $\alpha(X)$ утворюють групи елементів, які забезпечують зв'язність полюсів графу під час відключення інших елементів, тому $\alpha(X)$ є послідовним з'єднанням ділянок зі своїми змінними керування

$$\alpha_k(X) = X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_i = \bigcap_{s \in \beta_r} X_s, \quad (1)$$

де i – кількість ділянок графа, що входять до складу k -го ланцюга з X елементів, $\wedge$ і $\cap$ – знаки логічного множення та добутку.

Існують групи елементів, одночасна відмова яких призводить до розриву всіх шляхів, які зв'язують вхід і вихід структури. Такий набір елементів називають «простим розрізом» $\beta(X)$, який утворюється паралельним з'єднанням ділянок зі своїми змінними керування

$$\beta_r(X) = X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_m = \bigcup_{s \in \beta_r} X_s, \quad (2)$$

де m – кількість ділянок графа, що входять до складу r -го розрізу, $\vee$ і $\cup$ – знаки логічного додавання та підсумовування. У двополюсному графі може існувати кілька «простих ланцюгів» і «простих розрізів». «Простими

ланцюгами» для схеми (рис. 1) є підмножини елементів (1, 4), (2, 5), (1, 3, 5), (2, 3, 4), а «простими розрізами» – підмножини (1, 2), (4, 5), (1, 3, 5), (4, 3, 2). Оскільки одні й ті самі елементи входять у ф. (1, 2), для визначення надійності використано двосторонню оцінку Езарі-Прошана за позитивно корельованих величин.

$$\prod_{j=1 \dots r} (1 - \prod Q_j) \leq P\{\varphi(X)\}$$

$$\leq 1 - \prod_{j=1 \dots k} (1 - \prod P_j) \quad (3)$$

Для графу, який розглядається, інтервальна оцінка надійності за ф. (3) набуває вигляду та дорівнює

$$0,845 \geq P[\varphi(X)] \leq 0,943$$

Протигази зазвичай призначені для робіт з підвищеним рівнем безпеки, відповідно за достовірний рівень надійності виробу доцільно приймати її менше значення.

Висновок. Запропоновані моделі і метод розрахунку надійності дають змогу: за показниками надійності окремих елементів оцінити загальний рівень надійності виробу; вибрати оптимальний спосіб підвищення надійності виробу під час проєктної розробки. Такий підхід дає можливість суттєво зменшити обсяги випробувань і трудовитрати на одержання та аналіз статистичної інформації щодо виникнення відмов.

Література

1. He X., Sergey A. Grinshpun S.A., Reponen T., McKay R. Effects of Breathing Frequency and Flow Rate on the Total Inward Leakage of an Elastomeric Half-Mask Donned on an Advanced Manikin Headform. *Occupation and Environmental Medicine*. 2014. 58(2). Pp. 182-94. DOI: 10.1093/annhyg/met053
2. Baxter C.S., Ross C.S., Fabian T, et al. Ultrafine particle exposure during fire suppression-is it an important contributory factor for coronary heart disease in firefighters? *Occupation and Environmental Medicine*. 2010. 52. 791–796. DOI: 10.1097/JOM.0b013e3181ed2c6e
3. Технічний регламент засобів індивідуального захисту. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 21 серпня 2019 р. № 771. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771-2019-%D0%BF#Text>
4. Третьякова Л.Д. Вибір та оцінка заходів підвищення надійності засобів індивідуального захисту. *Науковий вісник національного гірничого університету*. 2009. № 3. С. 27-32.
5. Могилевич Д., Правило В., Фомін М. Методи структурної надійності мультисервісних мереж зв'язку. URL: http://old.pnzzi.kpi.ua/26/26_p66.pdf