

Оцінка ризику під час декларування безпеки потенційно небезпечних об'єктів

Risk assessment during declaration of safety of potentially dangerous objects

Олег Богатов ^A

Corresponding author: кандидат технічних наук, доцент, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7342-7556

Oleg Bogatov ^A

Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: bogatovolegigor@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7342-7556

Микола Павлушко ^B

кандидат військових наук, e-mail: n.pavlunko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8255-6245

Mykola Pavlunko ^B

Candidate of Military Sciences, e-mail: n.pavlunko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8255-6245

Олег Посмітюх ^C

кандидат військових наук, доцент, e-mail: olegposmit777@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4467-9532

Oleg Posmityukh ^C

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, e-mail: olegposmit777@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4467-9532

Наталія Антакова ^C

e-mail: nv.antakova@gmail.com, ORCID 0009-0008-3765-1604

Natalia Antakova ^C

e-mail: nv.antakova@gmail.com, ORCID 0009-0008-3765-1604

^A Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна.

^A Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, Ukraine

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

^B National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" named after Ihor Sikorskyi, Kyiv, Ukraine

^C Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна

^C National Defence University of Ukraine named Ivan Chernyakhovskiy, Kyiv, Ukraine

Received: December 8, 2023 | Revised: December 27, 2023 | Accepted: December 31, 2023

DOI: 10.33445/sds.2023.13.6.14

Мета роботи: розробка методу оцінювання ризику аварій під час декларування потенційно небезпечних об'єктів..

Purpose: development of a method for assessing the risk of accidents.

Метод: ступінь ризику аварій на небезпечному виробничому об'єкті, експлуатація якого пов'язана з безліччю небезпек і визначається виходячи з обліку відповідних критеріїв та показників ризику. У загальному випадку показники ризику виражаються за допомогою поєднання (комбінації) ймовірності (або частоти) і ваги наслідків небажаних подій. Методичним інструментарієм проведеного дослідження стали методи аналізу і синтезу, аналізу "дерев сценаріїв розвитку аварії".

Method: the degree of risk of accidents at a dangerous production facility, the operation of which is associated with many dangers and is determined based on the accounting of relevant criteria and risk indicators. In general, risk indicators are expressed using a combination (combination) of the probability (or frequency) and weight of the consequences of undesirable events. Methods of analysis and synthesis, analysis of "trees of accident development scenarios" became the methodical tools of the conducted research.

Результати дослідження: удосконалена методика яка дозволяє прогнозувати розподіл небезпечних зон при аварії; розподіл працівників на об'єкті при аварії (імовірнісне); індивідуального й соціального ризиків для працівників на виробничій площі (закономірність).

The results of the study: an improved technique that allows predicting the distribution of dangerous zones in the event of an accident; distribution of workers at the facility in the event of an accident (probable); individual and social risks for workers at the production site (regularity).

Теоретична цінність дослідження: полягає в можливості визначення реальної оцінки імовірності аварії на ПНО за допомогою удосконаленої методики.

Theoretical implications: consists in the possibility of determining a real estimate of the probability of an accident at the PNO using an improved methodology.

Цінність дослідження: результати оцінки ризику використовуються при декларуванні небезпечних виробничих об'єктів, при експертизі промислової безпеки, обґрунтуванні технічних безпекових рішень, при страхуванні та економічному аналізі безпеки на основі критерію «вартість-безпека-зручність», а також аналізі впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище та оцінці інших процедур, які пов'язані з аналізом промислової безпеки.

Value: the results of the risk assessment are used in the declaration of dangerous production facilities, in the examination of industrial safety, justification of technical safety solutions, in insurance and economic analysis of safety based on the "cost-safety-convenience" criterion, as well as in the analysis of the impact of production activities on the environment and assessment other procedures related to industrial safety analysis.

Обмеження дослідження: обмеження дослідження полягає у використанні інформації, що перебуває у вільному доступі.

Limitations of the study: the limitation of the study is the use of freely available information.

Тип статті: теоретична.

Papertype: theoretical.

Ключові слова: потенційно небезпечні об'єкти, безпека, ідентифікація безпеки, промислова безпека, оцінка ризику аварій, імітаційна та математична модель, ступінь ризику.

Key words: potentially dangerous objects, danger, hazard identification, industrial safety, accident risk assessment, simulation and mathematical model, degree of risk.

1. Вступ

Оцінка ризику аварій під час декларування потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) є основою управління промисловою безпекою. Оцінка ризику ґрунтується на систематичному використанні доступної інформації для ідентифікації небезпек та аналізі ризику можливих небажаних подій.

Результати оцінки ризику використовуються при декларуванні небезпечних виробничих об'єктів, при експертизі промислової безпеки, обґрунтуванні технічних безпекових рішень, при страхуванні та економічному аналізі безпеки на основі критерію «вартість-безпека-зручність», а також аналізі впливу виробничої діяльності на навколишнє середовище та оцінці інших процедур, які пов'язані з аналізом промислової безпеки.

Основні завдання оцінки ризику аварій на потенційно небезпечних об'єктах полягають у наданні експертів, які приймають рішення:

- повної об'єктивної інформації про стан промислової безпеки об'єкта;
- відомостей про всі найбільш небезпечні, «слабкі» місця об'єкта з погляду безпеки;
- аргументованих рекомендацій щодо зменшення ризику.

Процес проведення оцінки ризику включає такі етапи:

- планування та організацію робіт;
- визначення небезпек;
- оцінку ризику;
- підготовку рекомендацій щодо зменшення ризику.

На етапі планування робіт необхідно:

- визначити потенційно небезпечний виробничий об'єкт та описати його загальний стан;
- визначити причини та проблеми, які потребують проведення аналізу ризику;
- визначити групу виконавців, які проводять аналіз ризику;
- визначити та всебічно описати джерела інформації про ПНО;
- визначити систему обмежень вихідних даних і глибину, повноту аналізу ризику, що

проводиться;

- точно визначити цілі та завдання оцінки ризику;
- обґрунтувати методи оцінки ризику;
- визначити критерії оцінки ризику.

Основними завданнями етапу ідентифікації небезпек є виявлення та опис існуючих джерел небезпек та способів (сценаріїв) їх реалізації. Це важливий етап аналізу, тому що не виявлені на цьому етапі ризику та небезпеки не наражаються на подальший розгляд і не враховуються при подальшому розгляді.

Результатом визначення небезпек є:

- виявлення небажаних подій;
- опис джерел небезпеки, аналіз факторів ризику, умов виникнення та розвитку небажаних подій (сценаріїв можливих аварій);
- попередні оцінки небезпеки та ризику.

Основними завданнями етапу оцінки ризику є:

- визначення частот виникнення небажаних подій;
- аналіз наслідків виникнення небажаних подій;
- узагальнення оцінок ризику.

Для розрахунку частоти небажаних подій використовуються:

- статистичні дані щодо аварійності та надійності системи, що відповідають технологічному процесу небезпечного виробничого об'єкта;
- методи аналізу "дерев подій", "дерев відмов", імітаційні та математичні моделі виникнення аварій у системі людина-машина;

- експертні оцінки фахівців у цій галузі.

Оцінка наслідків включає аналіз виробничих факторів, що впливають на людей, обладнання та (або) навколишнє природне середовище. Для аналізу наслідків необхідно оцінити виробничі фактори небажаних подій (відмови, руйнування технічних пристроїв, споруд, пожежі, вибухи, викиди шкідливих токсичних речовин тощо), виявити об'єкти, які наражаються на небезпеку. При оцінці наслідків аварій необхідно використовувати моделі аварійних процесів і визначити критерії ураження, руйнування об'єктів впливу, що розглядаються, враховувати обмеження застосовуваних моделей. Необхідно враховувати і зв'язок масштабів наслідків із частотою їх виникнення.

Узагальнена оцінка ризику аварій повинна визначати стан промислової безпеки з урахуванням критеріїв та на їх основі показників ризику від усіх небажаних подій, які можуть виникати на ПНО та ґрунтуватися на результатах:

- розрахунок показників ризику всіх небажаних подій, з урахуванням їхнього взаємного впливу;
- оцінка невизначеності та точності отриманих результатів;
- оцінка відповідності умов експлуатації вимогам безпеки на виробництві та критеріям прийняттого ризику

При узагальненні оцінок ризику слід проаналізувати невизначеність та точність одержаних результатів. Існує багато невизначеностей, пов'язаних із оцінкою ризику. Основними джерелами невизначеностей, як правило, є неповнота інформації щодо надійності обладнання та помилки, припущення та припущення, прийняті при використанні моделей аварійного процесу. Для правильної інтерпретації результатів оцінки ризику необхідно визначити характер невизначеностей та причини. Джерела невизначеності слід ідентифікувати, оцінити та подати у відповідному вигляді.

Заключним етапом аналізу ризику є розробка рекомендацій щодо зменшення ризику. У рекомендаціях подано обґрунтовані заходи щодо зменшення ризику, що ґрунтуються на результатах оцінки ризику.

Заходи щодо зменшення ризику можуть мати технічний та (або) організаційний характер. При виборі заходів вирішальне значення має загальна оцінка дієвості та надійності заходів, що впливають на ризик, а також розмір витрат на їхню реалізацію.

2. Теоретичні основи дослідження

Теоретичними основами дослідження стали положення наказу від 4 грудня 2002 року № 637 Міністерства праці та соціальної політики України "Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки"[1]., постанова КМУ від 13 вересня 2022 р. № 1030 [2]. в яких визначено питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки.

В Україні питання щодо оцінювання ризиків в системі безпеки потенційно небезпечних об'єктів розглядали в своїх роботах А. Марущак, В. Березуцкий, Ю Ключка та інші [3 - 7]. В роботах розглядається методика оцінювання ризиків аварій на промислових об'єктах, показники безпеки обладнання та виробництва, оцінка результатів надзвичайних ситуацій. Водночас, зважаючи на наукові праці та рекомендації вітчизняних учених, доцільно продовжити дослідження з цієї проблематики, адже деякі проблеми в цій сфері залишаються не-вирішеними.

3. Постановка проблеми

В Україні найбільша кількість потенційно небезпечних об'єктів експлуатується в таких галузях як хімічна та оборонна промисловість, енергетика, транспорт, будівництво. В сучасних умовах

існування промисловості у більшості технологічного устаткування термін експлуатації закінчився або закінчується. У зв'язку з цим об'єкти промисловості ВПК, військових частин, арсеналів та баз потребують їх ідентифікації і декларування, а при віднесенні об'єктів до об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) включення їх до Державного реєстру ОПН за рішенням Держнаглядохоронпраці.

Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки [1]. передбачає застосування ймовірнісних моделей, проте містить тільки типові вимоги до оцінки наслідків відмов і не містить жодних математичних моделей і методів розрахунку ризиків виникнення аварій та прогнозування величини вартості збитків і впливу на навколишнє середовище.

Тому є необхідність розробки нових методів оцінювання ризику аварій під час декларування потенційно небезпечних об'єктів.

4. Методологія

Всебічна оцінка ризику аварій ґрунтується на аналізі відмов технічних пристроїв, помилок персоналу, зовнішніх впливів та інших причин виникнення та умов розвитку аварій, ураження виробничого персоналу, населення, заподіяння шкоди майну експлуатуючої організації або третіх осіб, шкоди навколишньому середовищу. Щоб підкреслити, що йдеться про величину, що «вимірюється», використовується поняття «ступінь ризику» або «рівень ризику». Ступінь ризику аварій на небезпечному виробничому об'єкті, експлуатація якого пов'язана з безліччю небезпек і визначається виходячи з обліку відповідних критеріїв та показників ризику. У загальному випадку показники ризику виражаються за допомогою поєднання (комбінації) ймовірності (або частоти) і ваги наслідків небажаних подій.

5. Результати

Для потенційно небезпечних об'єктів ризик R є міра небезпеки й чисельне виражається математичним очікуванням збитку U при функціонуванні ПНО:

$$R = M[U]. \quad (1)$$

Визначимо та позначимо також наступні події:

подія A – аварія на ПНО (нерозраховане раптове вивільнення енергії);

подія C_i – реалізація аварії по i -му сценарію;

подія B_i – заподіяння збитку U_i ПНО або стороннім об'єктам.

Тоді вираз (1) можна представити у вигляді

$$R = M[U] = \sum P(B_i)U_i, \quad (2)$$

де $P(B_i)$ – імовірність заподіяння збитку U_i ПНО й стороннім об'єктам.

Вираз (2) корисно розбити на два доданки – аварійний R_a й штатний ризик R_w , тобто:

$$R = R_a + R_w = \sum P(B_i)U_i + [P(B_n) \approx 1] \sum U_{ni}, \quad (3)$$

де U_{ni} – розмір середніх збитків, що заподіюється ПНО й стороннім об'єктам при штатному функціонуванні ПНО від діяльності інших економічних суб'єктів U_{meo} та плати за забруднення навколишнього середовища $U_{знс}$.

Оцінка величини $U_{знс}$ на стадії проектування проводиться за допомогою процедури оцінки впливу передбачуваної діяльності на навколишнє середовище (ОВНС), а на стадії

експлуатації – за допомогою діючих індивідуальних нормативно-дозвільних документів ПНО – томів гранично припустимих викидів (ГПВ), гранично припустимих скидань (ГПС) і лімітів розміщення відходів. Оцінка величини U_{meo} на стадії проектування проводиться за допомогою процедури ТЕО (техніко-економічного обґрунтування намічуваної діяльності), на стадії експлуатації – за допомогою процедури аудита фінансово-економічного характеру.

Оцінка величини аварійного ризику $R_a = \sum P(B_i)U_i$ як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації ПНО проводиться в рамках процедури декларування промислової безпеки ПНО.

Члени добутку першого доданка формули (3) відрізняються від аналогічних членів другого доданка тим, що величини ймовірностей дуже малі, а величини збитків дуже високі.

Умовимося далі під терміном “ризик” або “техногенний ризик” розуміти ризик R_a при позаштатному функціонуванні ПНО.

Для оцінки техногенного ризику спочатку визначимо подію B_i через події A і C_i :

$$B_i = A \cap C_i, \quad (4)$$

Тому що події A і C_i є спільними, то шукана ймовірність події, пов'язаної із заподіянням збитку U_i стороннім об'єктам, визначається як

$$P(B_i) = P(A \cap C_i) = P(A)P(C_i/A), \quad (5)$$

Підставляючи вираз (5) у формулу (.3), одержимо

$$R = R_a + R_{ш} = \sum P(A)P(C_i/A)U_i + U_{знс} + U_{тео}, \quad (6)$$

або в більш стислому виді для техногенного ризику R_a :

$$R_a = \sum P(A)P(C_i/A)U_i = [P(A)][\sum P(C_i/A)U_i], \quad (7)$$

Перший член $[P(A)]$ добутку (7) описує причинні складові техногенного ризику R_a , а другий член $- P(C_i/A)U_i$ – наслідки можливої аварії.

Оцінка наслідків можливих аварій на ПНО, тобто знаходження у виразі (7) другого члена, у цей час достатньо вивчена - існують численні методики оцінок наслідків, які добре зарекомендували себе на практиці. Здебільшого вони базуються на методах аналізу “дерев сценаріїв розвитку аварії”. Таким чином, аналіз наслідків можливих аварій прив'язаний до конкретного об'єкта й відбиває його індивідуальну специфіку (місце розташування, енергетичні запаси, особливості технології і т.п.).

Складнішою є справа оцінки величини ймовірності виникнення самої аварії $P(A)$. Існуючі методики оцінки величини $P(A)$ складні, громіздкі й трудомісткі в першу чергу через відсутність, неточності й невизначеності вихідних даних.

Тому на практиці звичайно величину $P(A)$ приймають як середньостатистичну по галузі для даного типу ПНО, що не завжди відбиває специфіку ПНО, що декларується. До того ж з розгляду випадає цілий клас причин виникнення аварій і відповідно стає скрутним рекомендувати індивідуальні міри безпеки, спрямовані на зниження ймовірності виникнення аварії для конкретного ПНО, хоча, як показує практика, заходи щодо зниження ймовірності аварії на 2...3 порядки ефективніше мер, спрямованих на зниження можливих збитків за критерієм “витрати - результати”.

Найбільш часто при аналізі ризику ПНО вживається термін “імовірність (частота) аварії”,

що використовується з розмірністю 1/рік. Умовимося далі позначати величину, що характеризує повторюваність події-аварії, як λ (1/рік). Величину λ можна легко обчислити для деякої галузевої сукупності діючих об'єктів, якщо відомо статистику аварій по галузі за кілька останніх років:

$$\lambda = \frac{\text{Кількість аварій}}{(\text{Кількість об'єктів})(\text{Період розгляду})}, \quad (8)$$

Оцінена подібним чином середньогалузева характеристика $\lambda_{\text{гал}}$ не відбиває індивідуальність конкретного ПНО, а тому важко ранжувати ПНО по ступеню небезпеки та рекомендувати впровадження конкретних (адресних) заходів безпеки на певних ПНО в першу чергу, тобто в остаточному підсумку, ефективно витратити й розподіляти ресурси на вдосконалювання безпеки.

Таку ж розмірність має й середня інтенсивність аварій на ПНО, що лінійно залежить від середньої інтенсивності робіт, що виконуються на ПНО, (I_n). Тому що для "ідеального" ПНО $P(A) = \text{const}$ в силу властивості стійкості частоти, то

$$\lambda = P(A)I_n, \quad (9)$$

У якості часового періоду усереднення звичайно приймають 1 (один) рік.

У якості випадкової величини вибирається момент часу настання відмови t або інтервал часу між двома послідовними відмовами Δt (оцінюється в годинах для простих елементів). Маючи статистичні оцінки цих випадкових величин, можна обчислити інші важливі в теорії надійності показники - безвідмовність, наробіток на відмову й ін.

Встановивши функцію розподілу цих випадкових величин t або Δt , можливо обчислити ймовірність настання відмови за якийсь проміжок часу.

Відомо, що ймовірність $P_k(\Delta t)$ настання k подій-відмов для простого елемента (вузла) за інтервал часу Δt виражається законом розподілу Пуассона:

$$P_k(\Delta t) = \frac{(\lambda \Delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \Delta t}, \quad (10)$$

З (10) витікає, що функція щільності ймовірності випадкової величини Δt для найпростішого потоку подій-відмов має вигляд показового (експонентного) розподілу з параметром λ :

$$f(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t}, \quad (11)$$

де λ – трактується як інтенсивність (щільність) потоку подій-відмов.

За умови відомої малості величин інтенсивності λ і ймовірності аварій $P(A)$ можна зневажити виглядом функції "щільності ймовірності" $f(\Delta t)$ на ділянці, що нас цікавить, і прийняти її постійною, тобто $f(\Delta t) = \lambda$. Тоді справедливі наступні співвідношення:

$$P_{\Delta t}(A_t) = \lambda[\Delta t = 1 \text{ рік}], \quad (12)$$

де $P_{\Delta t}(A_t)$ – це ймовірність події A_t , тобто настання аварії протягом року.

Ймовірність $P_{\Delta t}(A_t)$ – безрозмірна величина що чисельно збігається з інтенсивністю аварій λ на ПНО. Величину інтенсивності аварій λ можливо легко оцінити, спираючись на співвідношення (9).

Таким чином, при аналізі ризику використовуються поняття "інтенсивність" і

“імовірність” аварії, які в силу рідкості подій-аварій чисельно збігаються, але мають різні розмірності:

інтенсивність аварій λ (1/рік) – щільність потоку подій-аварій у часі, прямо пропорційна інтенсивності робіт I_n з коефіцієнтом пропорційності, що дорівнює $P(A)$;

імовірність аварії $P(A)$ (безрозмірна величина) – числова характеристика рівня небезпеки конкретного ПНО; одна з основних складових техногенного ризику.

Величина ймовірності події, що “відмова відбудеться за певний період часу” $P\Delta t(A_t)$, що широко використовується в теорії надійності для аналізу відмов простих елементів і вузлів, не може бути застосовна в аналізі ризику складних систем (ПНО), тому що в цьому випадку дослідників цікавить сам факт аварійної події, і в меншому ступені – конкретний момент часу настання відмов як випадкова величина Δt .

Функція щільності інтервалів часу між двома послідовними аваріями $f(\Delta t)$ для ПНО може не мати експонентного розподілу. Значення $P(A)$ реально дуже малі, а тому й математичний апарат випадкових величин теорії ймовірностей у цьому випадку малоефективний.

Одним з можливих рішень проблемної ситуації, що створилася, є чисельна оцінка ймовірності $P(A)$ виникнення аварії на ПНО за допомогою імітаційного моделювання процесу виникнення події в системі “Оператор – Устаткування – Робітниче середовище”. Таке моделювання певною мірою є компромісним рішенням між невизначеністю вихідних даних і точністю оцінок, що одержуються. Крім того, за допомогою імітаційного моделювання можливо оптимізувати застосування комплексу мер безпеки, спрямованих на зниження $P(A)$, тобто попередження аварій на конкретному ПНО.

Імовірність аварії розраховується так само, як для складного об'єкта, у роботі якого – N_c етапів із залученням N_{ci} систем на i -му етапі.

Причому кожній j -й системі відповідає ймовірність її відмови $P(G_{ij})$. Кожна система може мати відмови при роботі в різних комбінаціях. Для кожної такої комбінації визначається ймовірність виникнення аварії. Так, у роботі автомобіля можна виділити етапи: підготовка до руху, рух автомобіля й т.д. На етапі підготовки (j) задіяна комбінація із чотирьох систем – коробки передач ($j = 1$), стартера ($j = 2$), запалювання ($j = 3$) і подачі палива ($j = 4$). На етапі руху автомобіля ($i = 2$) працює комбінація з п'яти систем – коробки передач ($j = 1$), запалювання ($j = 2$), подачі палива ($j = 3$), рульового керування ($j = 4$) і гальмівної системи ($j = 5$). Етапи роботи агрегату приймаються незалежними одне від одного. Якщо прийняти $N_{ki} = 2^{N_{si}}$ – кількість комбінацій на i -му етапі, $S_k^i = \binom{k}{2^j} / 2$ – стан j -го біта у двійковому поданні числа (0 або 1), а k перебігає всі можливі значення від 0 до $N_{ki} - 1$, то ймовірність аварії на об'єкті буде:

$$P(A) = \sum_{i=1}^{N_e} \sum_{k=0}^{N_{ki}} \left[P(A_{ik}) \prod_{j=0}^{N_{si}} \begin{cases} P(G_{ij}), & S_k^j = 0 \\ 1 - P(G_{ij}), & S_k^j = 1 \end{cases} \right], \quad (13)$$

де $P(A_{ik})$ – імовірність аварії агрегату при k -й комбінації роботи систем на i -му етапі;

$P(G_{ij})$ – імовірність відмови j -ої системи на i -му етапі.

Небезпечна зона, що характеризує вплив небезпечних факторів на людину, має центр у точці знаходження агрегату (X_A, Y_A) і вважається експоненціальне розподіленою з параметром λ .

Такий розподіл досить гарно описує картину аварійної ситуації, тому що саме за таким законом загасає швидкість уламків, що розлітаються, відбувається дифузія токсичних пари і газів і т.д.

Формула для визначення ймовірності впливу небезпечних факторів:

$$R_A(x, y) = P(A)R(x, y) = P(A)\lambda e^{-\lambda r}, \quad (14)$$

де $R(x, y)$ – імовірність впливу вражаючого фактору в точці (x, y) при аварії.

Персонал об'єкта має чисельність N_w , у кожного співробітника є робоче місце з координатами (X_k, Y_k) . Поле розподілу персоналу в робочому приміщенні біля джерела небезпеки задається нормальним розподілом з параметром σ_k . Це підтверджується багаторічними дослідженнями. Імовірність знаходження k -го співробітника в точці (x, y)

$$P_{WK}(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_k^2} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{x-X_k}{\sigma_k^2} + \frac{y-Y_k}{\sigma_k^2}\right]}, \quad (15)$$

Відповідно до цього індивідуальний ризик розраховується по формулі

$$R_k = \sum_{x_i} \sum_{y_i} P_{WK}(x_i, y_i) R_A(x_i, y_i), \quad (16)$$

де x_i, y_i визначаються екранним растром як сітка із кроком h :

$$h = \frac{\max(L, H)}{100}, \quad (17)$$

де L – довжина;
 H – ширина робочої площі.

Соціальний ризик, тобто ймовірність загибелі n людей, задається залежністю:

$$R_n = \sum_{k=1}^{N_w} \left[\sum_{x_i} \sum_{y_i} P_{WK}(x_i, y_i) R_A(x_i, y_i) \right]. \quad (18)$$

Для розрахунку індивідуального й соціального ризику на промисловому підприємстві на основі представленої математичної моделі необхідні вихідні дані для розрахунку. Ці дані приймаються з урахуванням специфіки розглянутого виробничого об'єкта й включають:

- а) розміри робочої площі (довжина, ширина);
- б) координати:
 - агрегату (джерела небезпеки) X і Y ;
 - робочого місця кожного співробітника (X_k, Y_k) ;
- в) кількість:
 - співробітників N_w ;
 - етапів у роботі агрегату N_c ;
 - систем N_{si} , що працюють на i -му етапі;
 - тимчасової відсутності співробітників на робочому місці σ_k ;
- 2) імовірність:
 - відмови агрегату $P(A_{ik})$ при k -й комбінації відмов на i -му етапі;
 - параметр розподілу небезпечної зони λ .

На основі заданих параметрів і прийнятих математичних залежностей розраховують: імовірність аварії на ПНО, розподіл персоналу й небезпечної зони по об'єкті, а також індивідуальний і соціальний ризику. Результати розрахунку можуть бути наведені на екрані монітора в графічній формі у вигляді розподілу ризику персоналу й небезпечних зон по робочій площі.

6. Обговорення

Наукову новизну результатів дослідження та їх практичне значення підтримано у ході дискусії науково-педагогічного складу кафедри оперативного та бойового забезпечення Національного університету оборони України, зокрема Тимуром Куртсеїтовим – доктором технічних наук, професором.

7. Висновки

Пропонований метод аналізу ризику дозволяє: прогнозувати розподіл небезпечних зон при аварії; розподіл працівників на об'єкті при аварії (імовірнісне); індивідуального й соціального ризиків для працівників на виробничій площі (закономірність).

Напрямок розвитку розглянутого імовірнісного методу варто вважати дослідження змін параметра небезпечної зони λ , що характеризує вплив небезпечних факторів (ударна хвиля, дифузія токсичних речовин, розліт осколків при вибуху й т.п.), а також уточнення параметра експонентного розподілу за фактичним даними про параметр небезпечної зони.

8. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

9. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Наказ МПСП України від 04.12.2002 р. N 637. URL : <https://ips.ligazakon.net/document/FIN5355#:~:text=Оцінка%20ризику%20аварії%20-%20процес%20визначення,його%20межами%20гранично%20допустимого%20рівня>. (дата звернення 04.12.2023)
2. Порядок ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки та ведення їх обліку, затверджений постановою КМУ від 13.09.2022 № 1030: URL : <https://ips.ligazakon.net/document/kp221030?an=13> (дата звернення 04.12.2023).
3. Марущак А.М., Кирилюк Р.М., Окіпняк Д.А. Оцінювання ризику аварій в системі безпеки промислових об'єктів // Збірник наукових праць, технічні

References

1. Metodyka vyznachennya ryzykiv ta yikh pryynyatnykh rivniv dlya deklaruvannya bezpeky ob'yektiv pidvyshchenoyi nebezpeky. Nakaz MPSP Ukrayiny vid 04.12.2002 r. N 637: Available from : <https://ips.ligazakon.net/document/FIN5355#:~:text=Оцінка%20ризику%20аварії%20-%20процес%20визначення,його%20межами%20гранично%20допустимого%20рівня> (access date 04.12.2023).
2. Poryadok identyfikatsiyi ob'yektiv pidvyshchenoyi nebezpeky ta vedennya yikh obliku, zatverdzhennyu postanovoyu KМУ vid 13.09.2022 № 1030: Available from : <https://ips.ligazakon.net/document/kp221030?an=13> (access date 04.12.2023).
3. Marushchak A.M., Kyrylyuk R.M., Okipnyak D.A. Otsinyuvannya ryzyku avariy v systemi bezpeky promyslovykh ob'yektiv // Zbirnyk naukovykh prats',

- науки, 2011 – вид. №19. С. 516-519 (УДК 658.588:65.011.3)
4. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність // Навч. Посібник – Харків НТУ "ХТІ"., 2016. 386 с.
5. Березуцкий В.В. Разработка универсального показателя опасности оборудования и производства // Охрана труда. – 1997. – №5. – С. 34-37.
6. Яцух О.В. Щодо оцінки ризиків в цивільній безпеці / Сучасні проблеми професійної та цивільної безпеки: 36. тез доповідей I Міжнар. наук.-практ. інтернет-конференції (28 квітня 2020 р., м. Дніпро, Україна). – Дніпро: РВК ДВНЗ УДХТУ, 2020. – С. 112-116.
7. Шевченко В.І. Аналіз небезпеки та оцінки ризиків техногенних аварій // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник №64, Харків. ХНАМГ, 2005. С. 41-47.
- tekhnichni nauky, 2011 – vyd. №19. S. 516-519 (UDK 658.588:65.011.3)
4. Berezuts'kyy V.V., Adamenko M.I. Nebezpechni vyrobnychi ryzyky ta nadiynist' // Navch. Posibnyk – Kharkiv NTU "KHTI"., 2016. 386 s.
5. Berezuts'kyy V.V. Rozrobka universal'noho pokaznyka nebezpeky obladnannya ta vyrobnytstva // Okhorona pratsi. – 1997. – №5. – S. 34-37.
6. Yatsukh O.V. Shchodo otsinky ryzykiv v tsyvil'niy bezpetsi / Suchasni problemy profesiynoyi ta tsyvil'noyi bezpeky: 36. tez dopovidey I Mizhnar. nauk.-prakt. internet-konferentsiyi (28 kvitnya 2020 r., m. Dnipro, Ukrayina). -Dnipro: RVK DVNZ UDKHTU, 2020. – S. 112-116.
7. Shevchenko V.I. Analiz nebezpeky ta otsinky ryzykiv tekhnohennykh avariy // Kommunal'noe khozyaystvo horodov. Nauchno-tekhnycheskyy sbornyk №64, Kharkiv. KHNAMH, 2005. S. 41-47.