

УДК 004.02

В.В. БЕГУН*, **С.Ю. ПОТЄТЮЄВ****

НОВА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ

*Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, м. Київ, Україна

**Головне управління ДСНС України, м. Київ, Україна

***Анотація.** За рівнем безпеки життєдіяльності Україна займає одне з останніх місць у світі. Мо-
ва перш за все про техногенну та пожежну безпеку. Щорічні збитки від пожеж, аварій та інших
надзвичайних ситуацій сягають мільярдів гривень, складають значну частину бюджету. Це сто-
сується майже всіх галузей виробництва України, крім галузі атомної енергетики, де безпека зна-
ходиться під додатковим міжнародним контролем. Кореневими причинами автори вважають
перш за все панування застарілої парадигми управління безпекою на основі інспекційного контро-
лю без оцінок ризику та недостатнє впровадження цифрових технологій. Сучасне управління без-
пекою має бути на основі детального аналізу умов виробництва, моделювання безпеки персоналу,
населення та довкілля, аналізу причин імовірних надзвичайних ситуацій, моделювання можливих
помилوک персоналу і в такий спосіб визначення заходів і засобів запобігання пожеж, аварій та
зменшення можливих наслідків. У цілому це має бути сучасна інформаційна технологія на основі
парадигми ризик-орієнтованого підходу. Дана технологія передбачає існування баз даних, накопи-
чення статистичних даних, їх своєчасну професійну обробку, моделювання небезпек та визначення
поточних значень ризику, його постійного моніторингу й підтримання рівня ризику у межах допу-
стимих значень. Повинні бути визначені методи та алгоритми рішення цих задач, що допускають
автоматизовану обробку поточних значень параметрів ризику комп'ютерними пристроями в се-
редовищі Windows і Android. Пропонуються нові алгоритми контролю поточного стану ризику на
основі модернізованого методу аналізу відмов та наслідків шляхом детального аналізу збитку
внаслідок часткових відмов систем безпеки, які спостерігаються, та узагальнення результатів
аналізу методом згортки за всіма напрямками перевірки на всіх небезпечних об'єктах підприємст-
ва.*

Ключові слова: безпека, поточний ризик, алгоритм, ймовірність, збиток, згортка.

***Аннотация.** По уровню безопасности жизнедеятельности Украина занимает одно из последних
мест в мировом рейтинге. Речь прежде всего о техногенной и пожарной безопасности. Ежегод-
ные убытки от пожаров, аварий и других чрезвычайных ситуаций достигают миллиардов гривен,
составляют значительную часть бюджета. Это касается почти всех отраслей производства
Украины, кроме области атомной энергетики, где безопасность находится под дополнительным
международным контролем. Коренными причинами считаются прежде всего господство уста-
ревшей парадигмы управления безопасностью на основе инспекционного контроля и недостаточ-
ное внедрение цифровых технологий. Современное управление безопасностью должно быть на
основе детального анализа условий производства, моделирования безопасности персонала, насе-
ления и окружающей среды, анализа причин возможных чрезвычайных ситуаций, моделирования
возможных ошибок персонала и таким образом определение мер и средств предотвращения по-
жаров, аварий и уменьшения возможных убытков. В целом это должна быть современная ин-
формационная технология на основе парадигмы риск-ориентированного подхода. Эта технология
предполагает существование баз данных, накопление статистических данных, их своевременную
профессиональную обработку, моделирование угроз и определение текущих значений риска, его
постоянного мониторинга и поддержания уровня риска в пределах допустимых значений. Должны
быть определены методы и алгоритмы решения этих задач, допускающие автоматизированную
обработку текущих значений параметров риска компьютерными устройствами в среде Windows
и Android. Такие решения уже существуют, но, как правило, они сложны, требуют высокой ква-
лификации экспертов. Предлагаются новые алгоритмы контроля текущего состояния риска на
основе модернизированного метода анализа отказов и последствий путем детального анализа
ущерба в результате частичных отказов систем безопасности, которые наблюдаются, и обоб-
щение результатов анализа методом свертки по всем направлениям проверки и по всем опасным
объектам предприятия.*

Ключевые слова: *безопасность, текущий риск, алгоритм, вероятность, ущерб, свертка.*

Abstract. *Ukraine is at the last places at the international ratings concerning safety of life. It is related first of all to the fields of technogenic safety and fire safety. The values of annual losses due to fires, accidents and due to other emergency situations reach billions of hryvna, which is the essential part of the national budget and they have the increasing trends. Such situation is common for almost all branches of the industry of Ukraine except for the nuclear energy of Ukraine, which is under the additional guidance and under the additional control of the international organizations. The authors of this paper consider the prevalence of obsolete paradigm of safety management based on inspection control without risk evaluations and the insignificant adoption of the digital technologies. Modern safety management should be based on the detailed analysis of the working conditions, personnel safety modelling, population and the environment, causes of the possible emergency situations, possible errors of the personnel and thus identifying measures and means to prevent fires and accidents and reducing possible consequences. It should be the modern information technology based on the paradigm of risk-based approach, in general. This technology implies the existence of databases, accumulation of the statistical data with prompt professional processing of them, modelling of dangerous situations with live risk assessment, with permanent risk monitoring and the measures to maintain the risk at the acceptable level. Methods and algorithms for solving these problems must be defined, which allow automated processing of current values of risk parameters by computer devices in Windows and Android environments. The authors propose new algorithms for monitoring the current risk situation based on a modernized method of failure and consequence analysis, by detailed analysis of loss due to partial failures of security systems, and summarizing the results of analysis by convolution in all areas of inspection and all hazardous objects.*

Keywords: *safety, current risk, algorithm, probability, loss, convolution.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-125-135

1. Вступ

У рейтингу благополуччя країн світу Legatum Prosperity Index 2020 Україна опинилася на 92-му місці з 167 [1]. При складанні рейтингу розглядалися 12 критеріїв, причому безпека та охорона на першому місці. За рівнем цього критерію Україна посіла 144-е місце, аналогічно по відношенню до навколишнього середовища – 110-е місце. Ці показники говорять про те, що Україна ще дуже далека від цивілізованого ставлення до безпеки, європейські методи управління безпекою в нашій державі не запроваджені.

Згідно з законодавством Євросоюзу [2], з 2007 року, згідно з законодавством України, кожне небезпечне підприємство повинно визначити ризики, яке воно створює для персоналу, населення та довкілля. Оскільки пожежна небезпека має найбільше поширення, визначення можливих пожежних ризиків має бути першочерговим. Об'єкти металургічної галузі відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН) 1 або 2 класу небезпеки. Тому за законодавством України потрібні детальний аналіз ризику, пожежного ризику тощо та розробка заходів запобігання на основі проведених розрахунків. Ці дані мають бути в документах із безпеки: ПЛАСах та Деклараціях, періодичних звітах із безпеки, мають бути оприлюднені в заявах про політику безпеки підприємств та на сайтах ОПН.

Звісно, рівень ризику ОПН є узагальнюючим параметром небезпеки, який характеризує саме цей об'єкт, залежить від проекту, обладнання, процедур експлуатації і технічного обслуговування, компетенцій персоналу, рівня культури безпеки тощо. На жаль, в Україні до цього часу не має практики детального аналізу пожежного ризику, особливості об'єкта не враховані у документах із безпеки ОПН, що нівелює їх користь для безпеки. У кращому випадку у розрахунках у документах з безпеки можна бачити залежність рівня безпеки тільки від кількості небезпечних речовин, які є на об'єкті. Не проводиться й статистичний аналіз пожежного ризику на підприємствах, не ведеться бази даних (БД) із надзвичайних ситуацій та їх кореневих причин, що призводить до їх повторного виникнення та надмірних збитків підприємства, інших негативних наслідків, що впливають на безпеку. Міри та заходи запобігання ризику розробляються не так, як того вимагає краща світова

практика на основі детального аналізу пожежного ризику ОПН, а, як правило, на основі експертних оцінок керівництва. Інспектори всіх сфер безпеки не мають можливості оцінити поточний рівень пожежного ризику із причин складності алгоритмів [3], тому проводять спрощені оцінки виконання (нормативних) вимог, що не є оцінкою рівня пожежного ризику. Норми нормативно-технічної документації (НТД) дуже загальні, для кожного ОПН потрібна більша деталізація процесів виробництва та умов виникнення пожеж і загорянь. Тобто, у підсумку можна зробити висновок про суттєві недоліки в управлінні пожежною безпекою, що призводить до економічних збитків та ставить державу на низькі ступені рейтингу благополуччя.

2. Постановка задачі

Головна задача – це розробка алгоритму визначення поточного рівня пожежного ризику, який може бути покладено в основу програмного забезпечення для автоматизованих процедур оцінки пожежного ризику. Перш за все потрібно також обрати метод оцінювання ризику, для чого необхідно зрозуміти роботу систем безпеки, їх елементів і вплив відмови кожного елемента на відмову чи успішну роботу усієї системи. Такої можливості в інспекторів із безпеки під час перевірки практично немає, тому заздалегідь заготовлений алгоритм перевірки та його реалізація для ноутбуків чи смартфонів буде великим помічником і забезпечить якість виконання перевірки рівня пожежного ризику, уникнення суб'єктивізму тощо. Досягти цього можна шляхом проведення аналізу роботи систем безпеки відомими процедурами якісного або кількісного аналізу.

Якісна оцінка пожежних ризиків – це процес аналізу впливу ідентифікованих умов виробництва на стан пожежної безпеки, визначення подій, що вносять найбільший внесок у загальний ризик і які потребують вживання заходів до зниження їх інтенсивності. Результатом цього аналізу є оцінка за інтервальною шкалою, що дозволяє не тільки упорядковувати об'єкти аналізу, але й виразити через числові параметри і порівняти відмінності між ними. В роботі пропонується обрати шкалу, яка широко застосовується у світі, а саме чотириінтервальну шкалу рангу ризику: високий-неприпустимий (червоний колір), високий-допустимий (помаранчевий колір), середній (жовтий колір), низький (зелений колір).

Кількісна оцінка пожежних ризиків визначає числове значення ймовірності виникнення ризиків і впливу їхніх наслідків на діяльність, що допомагає приймати оптимальні рішення й уникати невизначеності (у сенсі управління), але при цьому потрібно будувати складні ймовірнісно-структурні логічні моделі (ІСЛМ) [3, 4]. У той же час у числових ймовірнісних моделях для врахування усіх вищезгаданих вимог необхідно проводити системний аналіз роботи устаткування на якісному рівні. Для цього, як і у процедурах якісного аналізу, використовується метод аналізу видів і наслідків відмов (FMEA) [5]. Цей, один із поширених видів якісного аналізу, пропонується застосувати у даній методиці як базовий.

Оцінка пожежного ризику повинна моделюватися в таких виробничих умовах:

- нормальна робота;
- аварійна ситуація (інцидент), пожежа (передбачувана і/або мала місце).

Оцінка пожежних ризиків здійснюється за такими напрямками (темами) контролю:

1. Рішення за генеральним планом, протипожежне зовнішнє водопостачання (k_1 питань).
2. Організаційно-розпорядчі заходи щодо забезпечення протипожежного режиму (k_2 питань).
3. Об'ємно-планувальні рішення (k_3 питань).
4. Протипожежне внутрішнє водопостачання (k_4 питань).
5. Автоматична пожежна сигналізація (АПС) (k_5 питань).
6. Автоматичне пожежогасіння (АПТ) (k_6 питань).
7. Система димовидалення (k_7 питань).

8. Система вентиляції і кондиціонування (k_8 питань).
9. Електричне обладнання (k_9 питань).
10. Система опалення (k_{10} питань).
11. Евакуація, безпека людей (k_{11} питань).
12. Система раннього виявлення надзвичайної ситуації (СРВНС) (k_{12} питань).

Кількість питань k_j за напрямом перевірки визначаємо за умови найбільшої достовірності оцінювання працездатності системи захисту. Надалі вважаємо ризики в усіх напрямках моніторингу ($n = 12$) незалежними випадковими подіями.

3. Основи методу

Оцінювання пожежної безпеки (ПБ) пропонується проводити методами якісного аналізу на основі модернізованого методу FMEA, застосованого до кожного кроку (операції) технологічного процесу (ТП), який стає об'єктом перевірки. Всі небезпечні ТП мають проектні методи і системи захисту (СЗ). Наявність СЗ і їх справність є проектною гарантією безпеки. Підтримання їх працездатності покладено на персонал підрозділу. Відповідно до стандарту [5], небезпека операції ТП в загальному випадку оцінюється за чотирибальною інтервальною шкалою в залежності від можливих наслідків: летальний результат або дуже великий збиток – категорія IV, травмування персоналу (інвалідність) або порівняний збиток – категорія III, легкі травми персоналу або невеликі виробничі втрати – категорія II, невеликі виробничі втрати – категорія I (табл. 1). Всі пожежонебезпечні події мають певні ймовірності їх реалізації, які оцінюються також за інтервальною шкалою (п'ятибальною): часта подія, ймовірна подія, рідкісна подія, практично неймовірна подія (табл. 1). Ранг ризику оцінюється як поєднання (добуток) ймовірності і наслідків.

Таблиця 1 – Матриця¹ «ймовірність відмов – тяжкість наслідків» для ранжування відмов

Очікувана частота виникнення		Вагомість наслідків			
		Катастрофічна подія (категорія IV)	Критична подія (категорія III)	Некритична подія (категорія II)	Подія з малими наслідками (категорія I)
Часта подія	$> 0,1$	A	A	A	C
Ймовірна подія	$10^{-2}-0,1$	A	A	B	C
Можлива подія	$10^{-4}-10^{-2}$	A	B	B	C
Рідкісна подія	$10^{-6}-10^{-4}$	A	B	C	D
Практично неймовірна подія	$< 10^{-6}$	B	C	C	D

Ранг A (червоний) відповідає найбільш високому ризику, неприйнятним ступенем ризику для об'єкта, вимагає невідкладних заходів для забезпечення безпеки. Ранг D (зелений) відповідає найбільш безпечним умовам. Зони B (помаранчевий) і C (жовтий) повинні бути діапазонами ретельного контролю. Якісна оцінка ризику знаходить широке визнання в Європейських країнах за підтримкою нових інформаційних технологій. При цьому в ЄС

¹ Вид матриці відповідає ДСТУ 27.310, іноді тяжкість наслідків зображується у зворотному порядку, що не змінює принципу категорювання ризику.

створення ПНО та розміщення їх в онлайн-доступі (<https://oiraproject.eu/en/>) розглядається як один із головних інструментів для сприяння роботі з мікро- та малими підприємствами при оцінках ризиків [6]. У відкритому доступі існує сайт, де підприємець може дати самооцінку ризику свого підприємства за підтримкою компетентних експертів. За таких умов невизначеності оцінки ризику майже задовільні, але в умовах України це не працює з декількох причин, коренева з яких невідповідність законодавчої й нормативної бази [7] новим умовам виробництва. Тому невизначеності можуть сягати до сотень разів, що небажано.

4. Короткий опис модернізованого алгоритму

Зменшити невизначеності у цьому методі можливо, якщо зменшити розмір діапазонів імовірності відмов ΔP чи діапазон можливих втрат ΔU шляхом більш реалістичних оцінок та фіксації цих діапазонів для всіх об'єктів. Дійсно, якщо в матриці табл. 1 встановити більш чіткі значення діапазонів цих змінних, тоді й результат буде мати менші невизначеності, оскільки невизначеність ризику залежить від невизначеності його складових:

$$\Delta R = F(\Delta P, \Delta U, P_c, U_c),$$

де P_c, U_c – відповідні середні значення ймовірності та збитків можливих відмов [4].

Пропонується проводити оцінки ΔU за мінімально можливими їх значеннями δu_i при часткових відмовах i за умов $\Delta U = \sum \delta u_i$. Вважаємо, що збиток δu_i відбувається при частковій відмові (відмова одного з елементів системи захисту). Таким чином, при відомих можливих відмовах елементів систем із досвіду експлуатації отримуємо можливість оцінки ризику малої (часткової) відмови за умов збереження обмеженої працездатності системи. Тобто, задача оцінки поточного ризику може бути зведена до контролю стану елементів системи, які можуть створити часткову відмову з відомих збитком δu_i . По суті ми підійшли до рішення задачі оцінки загального ризику ОПН, з іншого боку – оцінки ймовірності можливого збитку, що відповідає частковій відмові системи (відмова елемента i). Повертаючись до утворюючої матриці, отримуємо, що при відомому стовпчику (збитку) експерт оцінює ймовірність появи такої відмови. В такій моделі квантування ризику відбувається за величиною збитку, на відміну від ІСЛМ, де квантування відбувається за ймовірностями відмов. Загальна задача дуже спрощується, якщо задовольняють значення невизначеності.

Але з цього виникає нова задача – узагальнення оцінки від великої кількості можливих часткових відмов, які контролюються питаннями k_j за $n \leq 12$ напрямками моніторингу.

Якщо ТП має k операцій, які отримали одну з оцінок А, В, С, D, узагальнену оцінку отримуємо методом згортки за алгоритмами, які наведені нижче. В результаті перетворення (згортки) отримуємо числову оцінку величини ПБ, оціненої за якісним алгоритмам, яка далі перетворюється в якісну оцінку – чотириколіркову оцінку за прийнятою інтервальною шкалою. Слід зауважити, що для розробки більш точних рекомендацій щодо зменшення високого ризику рангу А, В, С міжнародні стандарти рекомендують проводити кількісні оцінки на основі ймовірнісного моделювання.

5. Отримання інтегральної оцінки (згортки)

У найбільш загальному випадку інтегральний показник рівня безпеки (SCL) на потенційно небезпечному об'єкті пропонується розраховувати за такою формулою [4]:

$$SCL = \frac{1}{W} \cdot \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot S_i, \quad (1)$$

де n – кількість індикаторів безпеки;

S_i – відносне значення величини i -го індикатора безпеки у відносних одиницях (безрозмірна);

ω_i – ваговий коефіцієнт, який відповідає i -му індикатору безпеки;

$W = \sum_{i=1}^n \omega_i$ – сумарне значення усіх вагових коефіцієнтів для отримання відносного

(безрозмірного) значення кожного окремого коефіцієнта індикатора та для нормалізації значень результату (зведення до інтервалу $(0, 1)$, якщо це потрібно).

Безрозмірні відносні значення величин індикаторів S_i визначаються на основі задокументованих розмірних величин індикаторів безпеки $Sdoc_i$ з використанням процедури нормалізації (формули (2)–(4)).

Для зручності інтерпретації пропонується область значень індексу рівня безпеки (SCL) обмежити інтервалом $[0;1]$, що спростить порівняння стану безпеки на різних однотипних потенційно небезпечних об'єктах та на різнотипних потенційно небезпечних об'єктах. Але в рамках одного об'єкта варіант абсолютних значень більш наочний.

Питання перевірки стосуються визначення стану індикатора безпеки, який може бути неперервним або дискретним. Для неперервних індикаторів, звичайно, здійснюється порівняння його з нормативним значенням за формулами (2)–(4).

У побудові формули (2) використовується принцип чим більший, тим кращий [4]. Тому відносне значення величини i -го індикатора (S_i) повинно розраховуватися за різними формулами у залежності від співвідношення абсолютного значення величини i -го індикатора з документації ($Sdoc_i$), абсолютного значення величини цього i -го індикатора з галузевого стандарту ($Snorm_i$) та відповідно до впливу значень величин цих індикаторів на рівень безпеки.

Якщо $Sdoc_i > 0$ та $Snorm_i > 0$ і з точки зору безпеки чим більше $Sdoc_i$, тим краще, тоді відносне значення величини i -го індикатора (S_i) пропонуємо розраховувати за такою формулою:

$$S_i = \frac{Sdoc_i}{Snorm_i}, \quad (2)$$

де $Sdoc_i$ – абсолютне значення величини i -го індикатора з документації або розраховане на основі документації у відповідній розмірності;

$Snorm_i$ – абсолютне значення величини i -го індикатора з галузевого стандарту у відповідній розмірності. $Snorm_i \geq Sdoc_i$.

Якщо $Sdoc_i > 0$ та $Snorm_i > 0$ і з точки зору безпеки чим менший $Sdoc_i$, тим краще, тоді відносне значення величини i -го індикатора (S_i) пропонуємо розраховувати за такою формулою:

$$S_i = \frac{Snorm_i}{Sdoc_i}, \quad (3)$$

де $Snorm_i \leq Sdoc_i$.

Якщо $Sdoc_i \geq 0$ та $Snorm_i = 0$ і з точки зору безпеки чим менший $Sdoc_i$, тим краще,

тоді відносне значення величини i -го індикатора (S_i) пропонуємо розраховувати за такою формулою:

$$S_i = \frac{zv + Snorm_i}{zv + Sdoc_i}, \quad (4)$$

де zv – це знехтувано мале число (наприклад, 10^{-12}), що використовується для уникнення ситуації ділення на нуль та невизначеності типу $\frac{0}{0}$. $zv > 0$.

6. Алгоритм згортки для одного напрямку (теми) перевірки системи

Зазвичай (частіше) при перевірках за допомогою чек-листів питання за темою має позитивну відповідь – «так» (1) або негативну – «ні» (0). Тобто, результатом перевірки є дискретне (двійкове) число: якщо недолік може проявитися як небажана подія, його ймовірність дорівнює 1, якщо ні – ймовірність 0, у термінології РОП це реалізована подія. Розглянемо приклад. Нехай за темою буде 5 питань, тобто, матимемо одну з можливих комбінацій відповідей на питання чек-листа:

- 1) 1, 1, 1, 1, 1 – повний успіх;
- 2) 0, 1, 1, 1, 1 – не працює тільки перша підсистема;
- 3) ...
- 4) 0, 0, 0, 0, 0 – повна відмова; (5)
- 5) ...
- 6) 1, 0, 0, 0, 0 – працює тільки перша підсистема;
- 7) ... – всього 32 варіанти.

Ясно, що чим більше питань у чек-лісті за темою, тим більше варіантів, математично це число становить ступінь 2^n (n – число питань). Кожне питання чек-листа має свою «вагу», яка оцінюється можливим збитком u_i , від можливої відмови елемента, який перевіряється, $i=1, 2, \dots, 5$. Така оцінка справедлива, оскільки визначення ризику як потенційного збитку – це одне зі стандартних поширених у світовій практиці визначень поняття «ризик». Тобто, кожне питання чек-листа попередньо розміщується у своїй кольоровій зоні (стовпці матриці) відповідно до прийнятих оцінок збитку, який визначається або розрахунком (можливі втрати матеріальних фондів та ін., або експертним методом).

Розглянемо приклад. Нехай можливі втрати за розглянутою темою перевірки (чек-листа) по п'яти питаннях будуть $u_1 = 0,2$ млн, $u_2 = 0,3$ млн, $u_3 = 0,5$ млн, $u_4 = 1,0$ млн, $u_5 = 3$ млн. Максимально можливий збиток дорівнює сумі можливих втрат:

$$u = \sum u_i = 0,2 + 0,3 + 0,5 + 1,0 + 3,0 = 5,0 \text{ млн.}$$

Для розрахунку (згортки) за наведеною формулою (1) визначаємо відносний збиток:

$$u_i = u_i \sum u_i, \quad (6)$$

тобто

$$u_1 = 0,2/5=0,04; \quad u_2 = 0,3/5=0,06; \quad u_3 = 0,5/5=0,1; \quad u_4 = 1/5=0,2; \quad u_5 = 3/5=0,6.$$

Фактично отримуємо числа S_i для формули (1).

Тепер за варіантом відповіді чек-листа знаходимо відносний збиток, для чого формуємо рядок збитку як інверсію рядка відповіді. Наприклад, для варіанта 2 буде 1, 0, 0, 0, 0 – відповідно відносний ризик R_1' (1 відмова)

$$R_2' = 1*0,04+0*0,06+0*0,1 +0*0,2+0*0,6=0,04.$$

Для варіанта 6 рядок відмови 0, 1, 1, 1, 1. Відповідно відносний ризик (збиток) буде

$$R_6' = 0*0,04+1*0,06+1*0,1+1*0,2+1*0,6=0,96.$$

Тобто, у такий спосіб отримуємо відносний ризик R_i' відповідного варіанта відповіді чек-листа.

Абсолютний ризик як можливий збиток за результатами відповідей відповідно буде

$$R_i = u_i * u. \quad (7)$$

Для розглянутих прикладів: $R_2 = 0,04*5$ млн=0,2 млн, $R_6 = 0,96*5$ млн=4,8 млн.

Тобто, у такий спосіб визначаються відносний і абсолютний ризики з усіх питань і теми перевірки для ОПН підрозділу.

7. Алгоритм згортки для підрозділів (об'єкта)

Оскільки можливо всього 12 тем (напрямів) перевірок ($n \leq 12$) об'єкта і максимально можливий збиток за кожною темою u_n , для подальших обчислень загального ризику при перевірці підрозділу необхідно визначити відносну значимість теми. Аналогічно попереднім обчисленням визначаємо максимальний можливий збиток з усіх напрямів підрозділів, що перевіряються:

$$u_\Sigma = \sum u_n, \quad (8)$$

де u_n – абсолютна «вага» відповідної теми, $n \in [0,12]$ – кількість чек-листів по ОПН підрозділу. Тоді відносна «вага» теми буде

$$w_n = u_n / u_\Sigma. \quad (9)$$

Сумарний (загальний) відносний ризик для одного ОПН за підсумками перевірки за всіма темами відповідно до формули (1) буде

$$R_{ОПН}' = \sum w_n * R_n'. \quad (10)$$

Перехід на значення абсолютного збитку для підрозділу робиться аналогічно вищевказаному (за формулою (7)):

$$R_{i ОПН}' = R_{ОПН}' * u_\Sigma \text{ (млн грн)}.$$

При наявності в підрозділі кількох ОПН загальний ризик для підрозділу обчислюється аналогічно.

8. Оцінювання збитку

Як бачимо, у процесі якісної оцінки ризику вирішальне значення має визначення можливого збитку по кожному питанню, оскільки виявлені в ході перевірки недоліки вже є подіями, які реалізувалися, ймовірність їх відома: 1 або 0 (якщо не реалізувалися). При цьому для кожного підприємства поняття збитку має своє значення: для великих підприємств значення великого ризику (збитку) має значення мільйонів грн, для невеликих – тисячі грн. Для металургійної галузі прийняті такі значення базисних інтервалів збитку (табл. 2).

Таблиця 2 – Базисні кольори інтервалів збитку

A	U ₅ більше 20 млн – катастрофічний (недопустимий)
B	U ₄ в інтервалі (10–20 млн) – великий (червоний)
C	U ₃ в інтервалі (5–10 млн) – допустимий (помаранчевий)
D	U ₂ в інтервалі (1,5–5 млн) – припустимий (жовтий)
D	U ₁ менше 1,5 млн – малий (зелена зона)

Вартість ризику при невиконанні вимог НТД, які можуть призвести до аварій, рекомендується оцінювати з урахуванням факторів і обставин, наведених в НТД [8]: зниження обсягу виробництва продукції, упущена комерційна вигода та ін. Зауважимо, що можливі збитки при ймовірних аваріях вже оцінені в наявних на підприємствах документах: ПЛАСах, деклараціях із безпеки, інструкціях із ліквідації аварій. Якщо названі документи розроблені відповідно до діючих НТД, оцінки збитку (наслідків аварій) можна брати з них як першу ітерацію. Але оскільки ці оцінки часто дуже консервативні, в подальшому це може призвести до завищення загальних оцінок пожежного ризику і, відповідно, завищення витрат підприємства на захисні заходи або навпаки – до заниження небезпеки. Хоча за даною методикою необхідно було б знати інтервал можливих збитків, але таке завдання не ставиться в даній роботі. Передбачається, що оцінки можливого збитку виконані попередньо, відповідно до рекомендацій НТД, і відомі на момент перевірки (прописані в чек-листах).

Урахування рекомендацій НТД [8] представляє досить великий обсяг роботи, але оскільки дана робота виконується при підготовці чек-листів, тобто, заздалегідь, на тривалість проведення перевірки це не впливає.

9. Деякі особливості оцінок імовірностей реалізації ризику

Якщо при виконанні операцій оцінювання ризику за чек-листом відповідь не однозначна або подія не визначається як явно реалізована, необхідно проводити уточнення ймовірності його реалізації відповідно до наведених нижче рекомендацій. Наприклад, система пожежогасіння існує відповідно до вимог НТД, але бувають порушені терміни її перевірки чи обслуговуючий персонал має недостатню кваліфікацію та ін. Ці недоліки необхідно враховувати як такі, що підвищують ризик, оскільки вважати систему несправною буде не зовсім правильно. Більш правильним буде врахування недоліків при здатності системи виконувати свої функції. Показником оцінки рівня забезпечення пожежної безпеки людей на об'єктах є також імовірність запобігання впливу небезпечних факторів пожежі, перелік яких визначається стандартом [9].

10. Уточнені оцінки ймовірності подій, пов'язаних із відмовами систем

До основних показників надійності устаткування об'єкта, які найбільш часто використовуються у розрахунках надійності, відносять інтенсивність відмов і ймовірність відмов на вимогу елементів систем (або цілої системи). Для якісних оцінок використовується припущення, що інтенсивність відмов постійна. Тоді час наробітку до відмови має експоненційний розподіл. При цьому приймається припущення, що після ремонту об'єкт повністю відновлюється.

Розрахунок даних ведеться для діючих об'єктів. Надалі такі дані будуть називатися експлуатаційні дані. Для розрахунку методом точкових оцінок використовуються формули (11)–(17).

Інтенсивність відмов $\lambda(t) = \lambda$ за визначенням

$$\lambda = \frac{n}{T}, \quad (11)$$

де n – кількість відмов (подій);

T – сумарний час роботи, годин (років) 1 рік=8760 год.

Сумарний час роботи устаткування визначається як час роботи всіх однотипних об'єктів, за який є статистика відмов, тобто, не обов'язково тільки на власному підприємстві. При цьому дуже важливо в розрахунках дотримуватися однієї одиниці виміру часу: година або рік.

Імовірність відмови на вимогу за даними експлуатації

$$P_{\text{вим}} = \frac{d}{D}, \quad (12)$$

де d – кількість відмов на вимогу;

D – повна кількість вимог. Ці дані беруться за статистикою усієї галузі.

Довірчий інтервал інтенсивності відмов у наближенні, що λ розподілене за гамма-розподілом із параметрами (n , T), [7]:

нижня довірча границя:

$$\lambda_{0,05} = \frac{\chi_{0,05}^2(2n)}{2T}, \quad (13)$$

верхня довірча границя:

$$\lambda_{0,95} = \frac{\chi_{0,95}^2(2n)}{2T}, \quad (14)$$

де функції $\chi_{0,05}^2(\nu)$ $\chi_{0,95}^2(\nu)$ є квантилями χ^2 -розподілу з ν ступенями свободи. Числові значення цих функцій знаходять із довідників [10] чи розраховують у математичних редакторах типу Mathcad чи MATLAB.

Довірчий інтервал імовірності відмови на вимогу у наближенні, що P розподілене за бета-розподілом із параметрами (d , $D-d$), [7]:

нижня довірча границя:

$$P_{0,05} = \frac{d \cdot F_{0,05}(2 \cdot d, 2 \cdot D - 2 \cdot d)}{D - d + d \cdot F_{0,05}(2 \cdot d, 2 \cdot D - 2 \cdot d)}, \quad (15)$$

верхня довірча границя:

$$P_{0,95} = \frac{d \cdot F_{0,95}(2 \cdot d, 2 \cdot D - 2 \cdot d)}{D - d + d \cdot F_{0,95}(2 \cdot d, 2 \cdot D - 2 \cdot d)}, \quad (16)$$

де функції $F_{0,05}(\nu_1, \nu_2)$ та $F_{0,95}(\nu_1, \nu_2)$ є квантилями F-розподілу зі ступенями свободи ν_1 і ν_2 . Числові значення цих функцій знаходять із довідників [10] чи розраховують у математичних редакторах типу Mathcad чи MATLAB.

11. Висновок

За цією методикою оцінки пожежного ризику на ОПН запропоновано алгоритм значно простіший, ніж кількісні оцінки ризику на основі визначення ймовірності небажаних подій (пожеж, аварій) шляхом побудови ймовірнісної структурно-логічної моделі. Алгоритм може бути реалізований на основі методу FMEA на будь-якому комп'ютерному пристрої,

смартфонах тощо. В такому випадку є можливість проведення оцінки значень ризику більш простими якісними методами без залучення у процесі оцінювання кваліфікованих експертів, що має велике значення для умов України. Алгоритм вже реалізовано в системі Android у програмному продукті «Google-опросник», «Excel».

Проведені тестові перевірки в підрозділах металургічної галузі. Дуже важливо, що результати мають невизначеності на тому ж рівні, що й за участю експертів, оскільки чек-листи розроблені заздалегідь. Разом із тим питання невизначеності потребує більш детального дослідження.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. В мировом рейтинге благоденствия Украину опередили Молдова, Кыргызстан и Намибия. URL: <https://lenta.ua/v-mirovom-reytinge-blagodenstviya-ukrainu-operedili-moldova-kyrgyzstan-i-namibiya-76804/>.
2. Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC (Text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2012. Vol. L197. P. 1–37.
3. Бегун В.В. Моніторинг безпеки на основі аналізу ймовірнісних структурно-логічних моделей виробництва. *Моделювання та інформаційні технології*: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України. К., 2009. Вип. 52. С. 17–26.
4. Бегун В.В. Методологічні основи інформаційної технології управління безпекою на основі ризик-орієнтованого підходу: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06. Київ, 2020. 553 с.
5. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-27-310-95>.
6. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategic Framework on Health and Safety at Work 2014-2020. COM(2014) 332 final. Brussels: European Commission, 2014. 15 p.
7. Бегун В.В., Широков С.В., Бегун С.В., Письменный С.М., Литвинов В.В., Казачков І.В. Культура безпеки в ядерній енергетиці: підручник. К., 2012. 539 с.
8. Постанова Кабміну від 15 лютого 2002 р. N 175. Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/175-2002-%D0%BF#Text>.
9. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением N 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-004-91-ssbt>.
10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. 832 с.

Стаття надійшла до редакції 09.10.2020