

УДК 614.8:504.06:519.87

С. І. Азаров, д. т. н., с. н. с., провід. наук. співр.Інститут ядерних досліджень НАН України
пр. Науки, 47, м. Київ, Україна, 03680**В. Л. Сидоренко**, к. т. н., доц., нач. каф.Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074**О. С. Задунай**, нач. центруДержавний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
вул. Солом'янська, 13, м. Київ, Україна, 03110**АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

У статті розглядається зміст етапів розвитку одного з найбільш важливих розділів безпеки потенційно небезпечних об'єктів – теорії техногенного ризику. Описано стан питання з поясненням техногенної безпеки складних критично важливих потенційно небезпечних об'єктів. Наведено перелік найбільш перспективних математичних методів і моделей кількісної оцінки техногенного ризику. Запропоновано концептуальні підходи до стохастичного виміру техногенних ризиків. Описано сутність рейтингового підходу до моделювання ризиків і запропоновано нові підходи до моделювання їх у сучасній теорії надійності нечітких множин.

Ключові слова: безпека, ризик, техногенний ризик, потенційно небезпечні об'єкти, аварія, катастрофа.

Постановка проблеми. Безпека є однією з найбільш соціально значущих характеристик діяльності виробництв, пов'язаних з ризиком завдання шкоди людям, матеріальним цінностям, природі в ході виконання суспільно корисних робіт. З цього випливає необхідність ретельного вивчення умов виникнення такої шкоди, розробки та реалізації заходів щодо її мінімізації. Причому мова йде не тільки про проведення спеціальних досліджень у цьому питанні, а про формування так званої культури безпеки за рахунок передачі накопичуваних знань широкого кола фахівців, які здійснюють небезпечну діяльність, формують нормативно-правову та методичну основу цієї діяльності, а також створення умов реалізації цих знань, неформальне включення їх в технології небезпечних робіт.

В середині 1960-х і на початку 1970-х років людство зіткнулося з дуже складною проблемою убезпечення потенційно небезпечних об'єктів (ПНО). Питання безпеки людини мають першорядне значення для всіх розвинутих країн. Проте її наукова розробка почалася усього кілька десятиліть тому, а в Україні цьому питанню почали приділяти увагу із середини 1990-х років. З цього часу в промисловості України помітно збільшилося середнє зношення обладнання, а отже, і ризик виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій і постійного забруднення навколишнього середовища. Стало зрозуміло, що займатися безпекою виробництва треба не тільки на рівні відділів техніки безпеки й охорони праці, але і на більш високих рівнях: виробництва, галузі тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою дослідження безпеки ПНО працюють багато вітчизняних і закордонних спеціалістів та науковців. Різні аспекти та окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено у чисельних працях, але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, дослідження тривають.

Постановка завдання та його вирішення. ПНО – об'єкт, виробництво, на якому використовують, виробляють, переробляють, зберігають або транспортують пожежовибухонебезпечні, радіаційно небезпечні та (або) хімічно небезпечні речовини, що створюють реальну загрозу виникнення аварії.

Безпека будь-якої промислової установки, а тим більш складної системи або транспортного засобу, не може бути абсолютною – такою є «технічна» природа безпеки. Будь-які види промислової діяльності й на транспорті характеризуються наявністю ризику виникнення аварій (або катастроф) із серйозними наслідками. Найбільші наслідки аварій і катастроф можливі в хімічній промисловості, ядерній енергетиці та на транспорті. Так, наприклад, у хімічній промисловості – це потенційна небезпека витоку токсичних речовин у навколишнє середовище, небезпека пожеж та вибухів на хімічних заводах. Особливою небезпекою позначені об'єкти ядерної енергетики, основну частину яких складають атомні станції. Важкі аварії та катастрофи на АЕС відбуваються рідко, але їх наслідки при цьому є дуже значними. Це пов'язано з утворенням і накопиченням на АЕС і радіаційно небезпечних об'єктах значної кількості радіоактивних речовин у процесі їх експлуатації та можливим викидом радіонуклідів у навколишнє середовище. Саме з цієї причини з підприємствами хімічної промисловості та АЕС пов'язаний специфічний ризик – потенційна небезпека для персоналу, населення і навколишнього середовища в разі виходу токсичних речовин і радіоактивних продуктів за межі захисних бар'єрів.

При розробці систем управління безпекою на ПНО серйозна увага має приділятися аналізу ризиків. Аналіз ризику або ризик-аналіз (risk analysis) – процес ідентифікації (виявлення) небезпек і оцінки ризику для людей, матеріальних об'єктів, навколишнього природного середовища та ін. При цьому під загрозою розуміється

джерело потенційної шкоди або ситуація з можливістю завдання збитків, а під ідентифікацією небезпеки – її процес виявлення, а також визначення її характеристик. Аналіз ризику – багато в чому суб'єктивний процес, у ході якого враховуються не тільки кількісні показники, а й показники, що не піддаються формалізації: позиції та думки різних суспільних груп, можливість компромісних рішень, експертні оцінки і т.д. Особливість аналізу технологічного ризику полягає в тому, що розглядаються потенційно негативні наслідки, які можуть виникнути внаслідок відмови технічних систем, збоїв у технологічних процесах або помилок з боку експлуатаційного персоналу.

ПНО повинні регулярно інспектуватися як фахівцями самого підприємства або об'єкта, так і окремо інспекторами компетентних органів. Програма інспектування ПНО складається компетентними органами на підставі доповіді про безпеку об'єкта. Важливо зазначити, що персонал, відповідальний за техніку безпеки об'єкта, повинен бути незалежний від виробничої структури управління і мати прямий доступ до адміністрації об'єкта.

Техногенний ризик як критерій безпеки. Відповідно до сучасних поглядів ризик зазвичай розуміється як імовірна міра виникнення небезпечних техногенних або природних явищ, а також характеристика розміру завданих при цьому соціального, економічного, екологічного та інших видів шкоди та втрат. Іншими словами, під ризиком слід розуміти очікувану частоту або ймовірність виникнення небезпек певного класу, або ж розмір можливих збитків (втрат, шкоди) від небажаної події, або ж деяку комбінацію цих величин. Застосування поняття ризику дає змогу переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик фактично є мірою небезпеки. Часто використовується поняття «ступінь ризику» (level of risk), що, по суті, не відрізняється від поняття ризику – лише підкреслює, що йдеться про вимірювану величину. Всі перераховані (або подібні) інтерпретації терміна «ризик» використовуються в наш час при аналізі небезпек і управлінні безпекою (ризиком) технологічних процесів. Виникнення небезпечних ситуацій є результатом прояву певної сукупності факторів ризику, що породжуються тими чи іншими джерелами, обставинами, умовами.

Природні, фінансові, політичні та соціальні ризики завжди були, є і, мабуть, будуть у житті людства. Починаючи з ХХ ст. проявляється ще один небезпечний вид ризику – техногенний. Особливо гостро перед людством проблема техногенного ризику постала у другій половині ХХ ст., коли під впливом науково-технічної революції з'явилися структурно й функціонально складні та високонебезпечні системи, виробництва і технології в галузі транспорту, енергетики, видобутку і переробки природних копалин. В Україні, за даними щорічних доповідей Державної служби України з питань надзвичайних ситуацій (ДСНС) [1, 2], за останній період мали місце понад 1300–1500 надзвичайних ситуацій, з

яких близько 70–75 % – техногенного та 25–30 % – природного характеру. Число техногенних надзвичайних ситуацій на промислових об'єктах становить близько 15–20 %, на цивільних об'єктах – 20–25 %, на транспорті – близько 10–15 %, на магістральних трубопроводах – 3–5 %, на ядерних об'єктах – 1 %, на хімічних об'єктах – 4–6 %, на авіаційному транспорті – 3–5 %, на судах – 2–3 %.

Техногенна надзвичайна ситуація – стан, за якого внаслідок виникнення джерела такої ситуації на об'єкті, визначеній території порушуються нормальні умови життя і, діяльності людей, виникає загроза їх життю і здоров'ю, завдається шкода майну населення, народному господарству та навколишньому природному середовищу.

Упродовж 2011–2015 років в Україні зареєстровано 867 випадків надзвичайних ситуацій (далі – НС), що розподілилися таким чином: техногенного характеру – 466; природного характеру – 343; соціального характеру – 58. Унаслідок цих НС загинули 1436 осіб та 4342 людини постраждало. За масштабами 13 НС набули державного рівня; 45 – регіонального; 351 – місцевого та 458 – об'єктового рівня. Загалом, унаслідок НС техногенного характеру впродовж зазначеного періоду загинули 1076 людей та 1218 осіб постраждало [3, 4].

За даними ООН загальне число природних катастроф зросло з 73 в 1975 році до 740 в 2012. Число ж техногенних аварій і катастроф у цей період збільшилося втричі: з 1230 – з 1978 по 1987 рік до 5430 – з 1998 по 2012 рік. Якщо відносна зміна за роками числа природних катастроф порівняно невелика (відносно зростання до 1,64), то коефіцієнт наростання техногенних аварій і катастроф за останні 5–10 років різко збільшився до 6,0. Темп наростання техногенних аварій і катастроф збільшувався в 3,5 разів швидше, ніж природних [5].

У теорії техногенного ризику можна виділити три етапи його становлення та розвитку.

Перший етап становлення техногенного ризику. У 1967 і 1972 роках з'явилися роботи Ф. Фармера [6] з питань безпеки та ризику в ядерній енергетиці. У цих роботах зазначалося, що при експлуатації АЕС не виключена ймовірність інцидентів і аварій, включаючи важкі, пов'язані з пошкодженням тепловіділяючих елементів (твєлів) і виходом з них радіоактивних речовин. У ці ж роки у СРСР і США було сформовано проектно-конструкторські та наукові організації, що на високому професійному рівні займалися оцінкою надійності та безпеки складних найнебезпечніших систем. Таким чином до 1975 року у світі сформувався науковий напрям, об'єктом дослідження якого стали ризикові ситуації у промисловості та на транспорті. Цю дату можна вважати закінченням першого етапу становлення теорії технічної й техногенної безпеки, коли поняття «ризик» набуло особливого значення в теорії безпеки технічних систем. Причому одним з основних кількісних показників безпеки стає поняття «техногенний ризик».

Терміни «технічний ризик» і «техногенний ризик» стали широко використовуватися в останні

15–20 років. Серйозним поштовхом до дослідження техногенного ризику послужили аварії та катастрофи на АЕС Tree Maile Asland (ТМІ) (США, 1979 р.), вибух і пожежа на хімічному комбінаті у Бхопалі (Індія, 1984 р.) і аварія на Чорнобильській АЕС (Україна, 1986 р.).

Другий етап розвитку техногенного ризику.

У 1980-і роки розпочався другий етап розвитку теорії техногенного ризику. Він характеризується розробкою методології та технології дослідження техногенного ризику. Стало очевидним, що розвиток цивілізації призвів до виникнення особливих умов існування – техносфери. А розвиток техносфери, у свою чергу, сприяє накопиченню великих потенційних небезпек – техногенних факторів. У відповідь потенційним небезпекам техносфери знадобилося відволікання частини ресурсів суспільства на створення технічних систем безпеки. Однак технічні системи безпеки, поряд із соціально-економічними, поки не дають змоги повністю виключити вплив несприятливих техногенних факторів. У цей період було розроблено кілька концепцій побудови технічних систем безпеки: абсолютної безпеки (безаварійної експлуатації), максимальної проектно аварії, прийнятної ризику. Для аналізу ризику використовується ряд концепцій, різних за досліджуваними сферами: технократичною, економічною, психологічною та соціологічною.

Остання декада ХХ ст. і перше десятиліття ХХІ ст. характерні прийняттям низки державних і галузевих законів, розпоряджень та інструкцій, де визначено етапи переходу при оцінці безпеки промислових виробництв і транспорту на використання показників ризику. До початку першого десятиліття ХХІ ст. сформувалися три напрями дослідження техногенного ризику: аналіз, оцінка та прогноз. В рамках зазначених концепцій техногенного ризику стали широко використовуватися різні методи: феноменологічні, детерміністичні, імовірнісні та експертні. Багато проблем організації безпеки систем вирішила концепція, що базується на імовірнісному аналізі безпеки (ІАБ).

В основу ІАБ було покладено той емпіричний факт, що ніяка діяльність не може бути цілком безпечною, тобто неможливо досягти абсолютної безпеки при застосуванні технічної системи. Таким чином відправною точкою аналізу безпеки стає поняття ризику, пов'язаного з даною технологією, і рівня прийнятної ризику, зумовленого економічними і соціальними чинниками.

Третій етап розвитку техногенного ризику. Як часто буває, в розвитку науки після перших років накопичення первинних знань у даній теорії постає лавиноподібний потік інформації. Так сталося і з теорією ризику загалом та теорією техногенного ризику зокрема. Наприкінці ХХ і на початку ХХІ ст. стався справжній інформаційний вибух у розвитку теорії техногенного ризику. В Україні й за кордоном опубліковано велику кількість монографій, наукових статей, навчальної літератури з проблематики техногенного ризику. В нашій країні

виходить друком понад 10 журналів, щорічно проводиться кілька міжнародних і вітчизняних галузевих симпозіумів і конференцій з тематики техногенного ризику. Фундаментальні основи теорії техногенного ризику активно розробляються науковими центрами. Прикладні дослідження і розробки виконуються науковими установами провідних міністерств і відомств України та найбільш плідно організаціями, пов'язаними з НС.

Постановка завдань кількісної оцінки техногенного ризику. Після відомих техногенних катастроф останньої третини ХХ ст. і першого десятиліття ХХІ ст. питання аналізу, оцінки і прогнозування відмов, аварій та катастроф залишаються не тільки надзвичайно актуальними, а й стають однією з головних проблем виживання людства. У цьому плані необхідним є подальший розвиток одного з важливих розділів теорії безпеки складних динамічних високонебезпечних систем – теорії техногенного ризику.

Як відомо [7, 8], кількісне значення ризику визначається за допомогою формули

$$R = H \{Q \times C\}, \quad (1)$$

де R – кількісний показник ризику; H – шуканий оператор; Q – імовірність вихідної події; C – наслідки (збитки) від вихідної події (відмови, аварії, катастрофи).

Недоліками даного підходу є:

- 1) неврахування зміни величин Q і C в часі;
- 2) величини Q і C є або випадковими величинами, або випадковими процесами, що спостерігаються під час реальної експлуатації систем.

Нехай множини: $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}, q_i \in Q, i = \overline{1, n}$ – безліч можливих імовірностей вихідних подій (відмов, аварій, катастроф); $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, c_i \in C, i = \overline{1, n}$ – безліч наслідків (збитків) від настання i -х вихідних подій; $t_i \in T$ – безліч моментів часу; $R_i \in R$ – безліч можливих ризиків

$$R = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (2)$$

Очевидно, що

$$R = H \{Q \times C \times T\}, \quad (3)$$

або у скалярній формі

$$R(q, c, t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) c_i(t), \quad (4)$$

де H – оператор, який реалізує відображення.

$$Q \times C \times T \rightarrow R, \quad (5)$$

або

$$R(q, c, t) = H \{t, t_0, R_0(q_0, c_0, t_0), R(q, c)^t t_0\}, \quad (6)$$

де t – поточний момент часу, в якому визначається ризик; t_0 – початковий момент спостереження за станом системи, $t \geq t_0$; c_0 , R_0 – відповідно ймовірність вихідних станів динамічної системи, збитки і ризик у початковий момент часу спостереження за станом системи.

Оператор H може бути представлений набором більш простих операторів

$$H = \{H_j\}, j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Число m видів оператора H залежить від складності системи, взаємодії підсистем, блоків і елементів у системі (тобто характеру внутрішніх зв'язків), впливу зовнішнього середовища, кількості ланок в ієрархії управління, видів небезпек і загроз та інших різних факторів. Очевидно, що завдання кількісної оцінки значень техногенного ризику полягають у визначенні виду і значень оператора H . Найбільш перспективні напрями розвитку математичних методів і моделей кількісної оцінки техногенного ризику ПНО можна, на наш погляд, класифікувати наступним чином:

- моделі співвідношення ймовірностей вихідних подій аварій та катастроф ПНО і шкоди від них у рамках теорії випадкових величин і процесів;
- методи безперервних і дискретних марківських процесів;
- методи і моделі розривних випадкових процесів;
- методи і моделі немарківських випадкових процесів;
- моделі теорії катастроф;
- моделі теорії фракталів;
- методи і моделі оцінки фактора часу в умовах екстремальних навантажень на обладнання ПНО.

Техногенні ризики являють собою категорію, пов'язану з невизначеністю, що зумовлює використання теорії ймовірності. При цьому ризик моделюється випадковою величиною (ймовірнісним розподілом). Стохастичне моделювання виступає однією з найбільш розвинених областей моделювання техногенних ризиків, яка включає різноманітні інструментарії теорії ймовірності та математичної статистики. Моделювання техногенних ризиків значною мірою ґрунтується на статичних, аналогових і деменантних базах даних.

Логіка стохастичного моделювання техногенних ризиків базується на моделюванні ймовірнісних характеристик окремих ризиків і форми ймовірнісних характеристик всіх ризиків, впровадженні заходів щодо ризиків, їх оптимізації та мінімізації.

Особливістю моделювання ймовірнісних характеристик окремих видів ризиків є дискретність або безперервність різноманітних подій, симетричність або асиметричність, стрибкоподібні зміни в момент НС.

Розподіл подій техногенних ризиків можна описати емпіричною формулою

$$F_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{(x \leq y)}(t(y)), \quad (8)$$

де n – кількість прогнозованих техногенних

ризиків; L – розподіл ризиків у просторі й часі.

Перевірку гіпотез здійснюють на основі критерію узгодження (критерії Колмогорова, Крамера та ін.).

У таблиці 1 наведено функції щільності окремих розподілів. Розподіл події техногенного ризику також добре моделюється відповідним підбором параметрів гамма- та бета-розподілів. Найбільш вірогідною концепцією математичного моделювання взаємозалежних техногенних ризиків (ризик-орієнтований підхід) є концепція кореляції.

Таблиця 1 – Функції щільності окремих розподілів

№	Розподіл	Поведінка функції щільності при $x \rightarrow \infty$	Похибка, %
1.	Парето	x^{-N}	25–30
2.	Пірсона	$x^3 \exp(-ax)$	10
3.	Вейбулла	$x^{N-1} \exp(-ax^N)$	10–15
4.	Нормальний	$\exp(-x^2/2)$	5–10
5.	Показовий	$\exp(-ax)$	15

На рисунку 1 наведено розраховані залежності техногенних ризиків $F(x)$ від різних розподілів подій (δ – середня арифметична похибка).

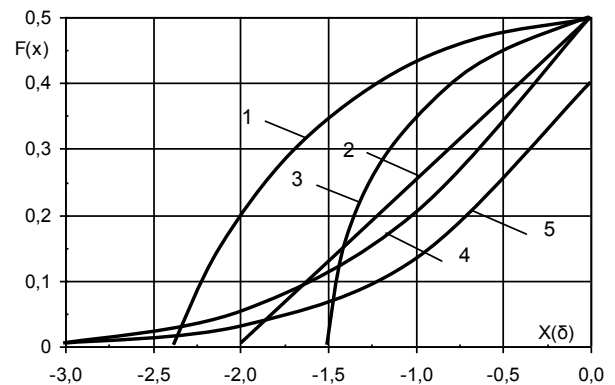


Рисунок 1 – Залежності техногенних ризиків $F(x)$ від різних розподілів подій

Примітка. Позначення ліній збігається з нумерацією першої колонки таблиці.

Висновки. Таким чином, вищевикладене свідчить про актуальність даної розробки теоретико-методологічних положень математичного моделювання екологічних ризиків існуючим інструментарієм, їх аналізу та кількісного оцінювання, побудови і дослідження управління техногенним ризиком. Підлягають подальшому дослідженню логіка та інструментарії стохастичного моделювання різних видів ризиків; розгляд топології, класифікації та картографування, питання моделювання асиметрії й концептуальних підходів до величин ризиків і витрат для покриття непередбачених збитків у несприятливих аварійних ситуаціях і НС.

Література

1. Національна доповідь ДСНС України про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.dsns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf.
2. Дані офіційного сайту ДСНС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mns.gov.ua>.
3. Український Союз пожежної та техногенної безпеки [Електронний ресурс] : – Електронні дані. – Програма діяльності. – Режим доступу : <http://www.usptb.org>.
4. Тиждень УА [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Техногенні катастрофи в Україні: пожежі, вибухи газу, аварії на залізниці. – Режим доступу : <http://tyzhden.ua>.
5. Генеральная Ассамблея ООН от 25.07.2012 г. (66-я сессия. Пункт 19 повестки дня). Устойчивое развитие. 12-43690(R) 250712. 20–22 июня 2012 г., Бразилия.
6. Farmer F. // Nuclear Safety. – 1967. – Vol. 13. – № 5. – P. 362–364.
7. Надёжность и безопасность сложных систем / [сост. И. А. Рябинин]. – СПб. : Политехника, 2000. – 248 с.
8. Сидоренко В. Л. Моделювання пожежних і техногенних ризиків при надзвичайних ситуаціях / В. Л. Сидоренко, С. І. Азаров, С. А. Єременко : матеріали науково-технічної конференції «Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України : – 19 грудня 2007 року. – МНС України, УЦЗУ, м. Харків. – С. 55–56.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2017

С. И. Азаров, В. Л. Сидоренко, А. С. Задунай

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматривается содержание этапов развития одного из наиболее важных разделов безопасности потенциально опасных объектов – теории техногенного риска. Описано состояние вопроса с объяснением техногенной безопасности сложных критически важных потенциально опасных объектов. Приведен перечень наиболее перспективных математических методов и моделей количественной оценки техногенного риска. Предложены концептуальные подходы к стохастическому измерению техногенных рисков. Описана сущность рейтингового подхода к моделированию рисков и предложены новые подходы к моделированию их в современной теории надежности нечетких множеств.

Ключевые слова: безопасность, риск, техногенный риск, потенциально опасные объекты, авария, катастрофа.

S. Azarov, V. Sydorenko, O. Zadunay

SAFETY ASSESSMENT OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

The article deals with the contents of steps in development of one of the most significant sections in the theory of complicated technical system's safety, the theory of technogenic risk. There is a description of the question's state with the explanation of technogenic safety in difficult critical of important technical systems. The list of more perspective methods in mathematics and its models of quantity estimation of technogenic risk are proposed.

Keywords: safety, risk, technogenic risk, potentially dangerous objects, accident, catastrophe.