



УДК 504.06 : 656.08

А.В. ГРИЦЕНКО, докт. геогр. наук, професор, завідувач кафедри, **В.В. СОЛОВЕЙ**, докт. техн. наук, професор, **Н.В. ВНУКОВА**, канд. геогр. наук, доцент, заступник завідувача кафедри
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків

РИЗИКИ ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Розглядається методика оцінки ризиків, що виникають при експлуатації небезпечних складних технічних об'єктів, до яких належить система «автомобіль-дорога-середовище». Запропоновано спеціалізований об'єктно-орієнтований підхід щодо вирішення проблеми розрахунку ймовірності аварій в системах, які містять велику кількість одиниць взаємодіючих елементів.

Ключові слова: ризик, техногенно-екологічна безпека, автотранспортна інфраструктура.

На цей час важливою складовою проблеми управління техногенно-екологічною безпекою об'єкта є особливий вид систем складних як за різноманітністю можливої поведінки, так і за системоутворюючими факторами. Такі системи включають визначену територіально обмежену частину техносфери, в якій природні, соціальні та виробничі структури і процеси пов'язані між собою потоками речовини, енергії та інформації, що підтримують один одного.

Так, при аналізі джерел виникнення, поширення та накопичення небезпеки, а також стосовно вибору моделі оцінки безпеки системи «автомобіль-дорога-середовище» (АДС) необхідно враховувати три різновиди підсистем, які включають технологічну, геоекологічну та соціально-економічну складові, що об'єднані в рамках досліджуваного територіально-промислового комплексу. Територіально геоекосистема кореспондується з простором, що відповідає соціально-економічній системі та має у своєму складі певну кількість технологічних систем та сприймає їх антропогенне навантаження.

Розвиток автотранспортної галузі призвів до формування специфічної виробничо-соціально-екологічної інфраструктури територіально-промислових комплексів транспортного призначення, для яких характерна концентрація значних матеріальних потоків і енергетичних ресурсів, що мають підвищену небезпеку для людини і навколишнього природного середовища не тільки в разі виникнення надзвичайних ситуацій, але й при експлуатації у так званому штатному режимі.

У теоретичному плані [1] проблема управління техногенно-екологічною безпекою має вирішуватись на базі комп'ютерно-математичного моделювання процесу зміни стану досліджуваної системи, виходячи з двох основних питань:

1) цілісного уявлення техногенно-екологічної ситуації як результату господарської діяльності безлічі різноманітних об'єктів на значній площі неоднорідної за природними умовами території;

2) взаємозв'язку техногенно-екологічної ситуації і методів економічного управління для конкретного територіального утворення (територіально-промислового комплексу).

Ключовим фактором успішного вирішення зазначеної проблеми є розкриття структури безпеки. Саме категорія безпеки, яку можна визначити як певний нормативний стан функціонування досліджуваних систем (з їх здатністю активно протистояти негативним змінам цього стану в контексті управління техногенно-екологічною безпекою), вимагає введення поняття ризику, що характеризує можливість відхилення від норми внаслідок впливу зовнішніх або внутрішніх факторів. Якщо, з позицій управління, безпека – це нормативний стан об'єкта управління (небезпека – відхилення від такого стану), то ризик – це вплив (зовнішній та/або внутрішній), який зумовлює або може зумовлювати відхилення від норми.

Для розробки попереджувальних організаційних, технічних і технологічних заходів, які спрямовані на запобігання або мінімізацію негативних наслідків техногенної діяльності, доцільно мати інструментарій, що забезпечить апріорні оцінки ймовірності виникнення позаштатних ситуацій і масштабів їх наслідків [2, 3]. Наявність такого інструментарію надає можливість передбачити потенційні загрози (ризик) і розробити варіанти ефективного запобігання їм у конкретних умовах управління техногенно-екологічною безпекою системи АДС [4, 5].

Ризик є комплексною характеристикою та припускає оцінку можливих негативних наслідків для об'єкта управ-

ління та ймовірність їх настання. Цей показник синтезує ряд різних за змістом елементів втрат – у грошовому та натуральному вимірах. Оскільки безпека і ризик співіснують як обернені категорії, то пряме управління безпекою є опосередкованим управлінням ризиком, і навпаки. З позицій конкретної управлінської технології використання категорії безпеки доцільне на макрорівні управління – територіально-промислового комплексу, а категорії ризику – на мікрорівні управління для потенційно небезпечних об'єктів.

Ризик техногенних аварій не виникає сам по собі, а ініціюється відмовами технічної системи, діями людей або зовнішніми чинниками – вихідними подіями. Авторами пропонується розглядати обмеження кінцевих чисел вихідних подій – h_1, h_2, \dots, h_N , що породжуються відмовами елементів, які складають аналізовану технічну систему. Позначимо ймовірності виникнення таких подій $P(h_1), P(h_2), \dots, P(h_N)$, отримання яких базується на дослідженнях законів надійності елементів технічної системи.

У свою чергу будь-яка з вихідних подій h може викликати декілька і наслідків $V(h, i)$ різних масштабів для людей, які обслуговують технічну систему і/або проживають у безпосередній близькості від джерела потенційної небезпеки, для суспільства в цілому і навколишнього природного середовища. Масштаби наслідків залежать від ступеня підготовленості функціональної структури складної технічної системи до відбиття подій, які ініціюються, та від шляхів протікання аварії і способів компенсації наслідків.

Величина одиничного ризику, який ініційовано подією h , може бути визначеною як добуток [6]

$$R(h, i) = \bar{P}(h, i) \cdot V(h, i), \tag{1}$$

де $R(h, i)$ – одиничний ризик, який створюється і-наслідком події h ;

$\bar{P}(h, i)$ – ймовірність (частота) появи наслідку виду i ;

$V(h, i)$ – масштаб і-того наслідку, виражений в кількісній формі.

Число і наслідків для складної технічної системи може бути значним. На практиці серед масштабів і-наслідків існує домінуючий за масштабом наслідок. Керуючись позицією крайнього песимізму, прийmemo цей домінуючий наслідок як єдиний наслідок, який ініціює подію h . Тоді формула (1) спроститься і набуде вигляду

$$R(h) = P(h) \cdot V(h), \tag{2}$$

де $R(h)$ – одиничний ризик, який створюється домінуючим наслідком події h ;

$\bar{P}(h)$ – ймовірність (частота) появи домінуючого наслідку;

$V(h)$ – масштаб домінуючого наслідку, виражений в кількісній формі.

Припустимо, що сталася подія h . Обраний консервативний шлях відображення h призведе до виникнення домінуючого наслідку величини $V(h)$. Здійснення наміченого в проекті технічної системи способу парирування h є складною подією, яка залежить від технічного стану системи. Позначимо цю подію символом S , а ймовірність її здійснення – $P(S)$. Зазначимо, що подія S може відбутися тільки разом з подією h . Вважаючи ці події незалежними, ймовірність $\bar{P}(h)$ появи домінуючого наслідку можна записати як добуток ймовірності подій

$$\bar{P}(h) = P(h) \cdot P(S), \tag{3}$$

де $P(h)$ – ймовірність виникнення події h .

Підставляючи (3) у (2), отримаємо оцінку одиничного ризику

$$R(h) = P(h) \cdot P(S) \cdot V(h). \tag{4}$$

Тоді, приймаючи події h_1, h_2, \dots, h_N як несумісні події (саме такі зазвичай відбуваються на практиці), отримаємо оцінку загального або агрегованого ризику експлуатації складної технічної системи

$$R_{\text{общ}} = \sum_{k=1}^N P(h_k) \cdot P(S_k) \cdot V(h_k). \tag{5}$$

Обчислення одиничних ризиків (4) або загального ризику (5) пов'язане зі значними труднощами, що стосуються необхідності обробки великих обсягів інформації для визначення ймовірностей вихідних подій $P(h_1), P(h_2), \dots, P(h_N)$, відмов елементів технічної системи на шляху протікання домінуючих аварій, щоб отримати $P(S_k)$, та масштабів наслідків $V(h_k)$. Крім того, складна система є безліччю взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів і підсистем, які складають нероздільне ціле і забезпечують виконання системою певної складної функції. Розрахунки показників надійності таких великих структур – це як теоретична, так і практична проблема.

Показники надійності складних технічних систем можливо розрахувати:

- за допомогою основних теорем теорії ймовірностей;
- шляхом складання та вирішення систем диференціальних рівнянь, що описують марковський процес переходу системи з одного стану в інший;
- шляхом еквівалентних перетворень розрахункової схеми з використанням формул теорії ймовірностей та марковських моделей;
- на основі топологічного аналізу технологічної схеми на зв'язаність;
- на основі формування логічної функції відмови за допомогою діаграми («дерево» відмов);



- шляхом статистичного моделювання випадкового процесу переходу системи від стану до стану (метод Монте-Карло).

На вибір методу розрахунку надійності складних систем впливають:

- закони розподілу часу безвідмовної роботи елементів;
- режими роботи об'єкта в цілому і елементів;
- відновлюваність і невідновлюваність елементів;
- способи резервування.

В інженерній практиці оцінювання надійності складних систем найбільше поширення набули логіко-ймовірнісні методи. Практичне застосування логіко-ймовірнісного методу (як і вищеперелічених) навіть для систем, що складаються з не більш як 20 елементів, виявляється складною процедурою. Складна технічна система налічує тисячі елементів, тому, незважаючи на те, що вищенаведені основні методи розрахунку складних систем мають високий рівень універсальності, їх пряме застосування на практиці ускладнено. Внаслідок цього для розрахунку показників надійності складних систем певного типу на практиці поєднують різні підходи і створюють спеціалізоване програмне забезпечення. Один із таких спеціалізованих підходів обчислення ймовірностей відмов систем запропоновано [7] і полягає в тому, що логічна модель безвідмовної роботи системи постає у вигляді структурної схеми, що складається з обмеженої кількості типових базисних геометричних образів. Розглядаються класи моделей безвідмовної роботи систем, що утворюють структурні схеми певного виду [8]. Ці види базисних конфігурацій подано на рис. 1.

Як базові елементи структурної схеми допускається використовувати прості й складні елементи, які є специфічними за надійністю підсистемами. Розрахункові формули, що відповідають базисним структурам, мають такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 Q(g_1) &= 1 - (1 - q_1)(1 - q_2); & Q(g_2) &= q_1 q_2; \\
 Q(g_3) &= 1 - (1 - q_2 q_3)(1 - q_1)(1 - q_4); \\
 Q(g_4) &= (1 - q_1) q_4 q_5 + q_1 [1 - (1 - q_4)(1 - q_2)] \cdot \\
 &\quad \cdot [1 - (1 - q_3)(1 - q_5)]; \\
 Q(g_5) &= (1 - q_1) \cdot q_5 q_6 q_7 + q_1 [1 - (1 - q_5)(1 - q_2)] \cdot \\
 &\quad \cdot [1 - (1 - q_6)(1 - q_3)] \cdot [1 - (1 - q_7) \times (1 - q_4)]; \\
 Q(g_6) &= (1 - q_1) q_6 q_7 q_8 + q_1 [1 - (1 - q_6)(1 - q_2)] \cdot \\
 &\quad \cdot [1 - (1 - q_7)(1 - q_3)] \times [1 - (1 - q_8) \cdot (1 - q_4)] \cdot \\
 &\quad [1 - (1 - q_9)(1 - q_5)]; & Q(g_7) &= \\
 &= (1 - q_1) [1 - (1 - q_6)(1 - q_2 q_3)] \times \\
 &\quad \times [1 - (1 - q_7)(1 - q_5 q_4)] + q_1 [1 - (1 - q_6)(1 - q_2)] \cdot \\
 &\quad \cdot [1 - (1 - q_7)(1 - q_5)].
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

де $q_i, (i = 1, 2, \dots, 9)$ – ймовірність відмови i - елемента;
 $Q(g_k), (k = 1, 2, \dots, 7)$ – ймовірність відмови k базисної конфігурації.

Привабливість цього підходу обумовлена тим, що і з сукупності базисних елементів і конфігурацій, які володіють певними властивостями, можна створювати структурні схеми, які моделюють безвідмовну роботу систем.

ВИСНОВКИ

Слід зазначити, що принципові труднощі розрахунку ймовірності відмови об'єкта наданої структурної схеми полягають у розпізнаванні базисних конфігурацій на ЕОМ і виключенні їх зі структурної схеми шляхом заміни на один простий елемент із власним значенням ймовірності відмови. Після виключення всіх базисних конфігурацій у схемі залишиться єдиний елемент із власним значенням ймовірності відмови, що і визначає результат розрахунку ймовірності відмови об'єкта.

Така організація структурних моделей і способу розрахунку їх ймовірностей відмов дозволяє розглядати структурні схеми з десятками тисяч елементів. Крім того, поповнення безлічі базисних топологій (рис. 1) дозволить адаптувати підхід до розрахунку ризиків конкретних блоків системи АДС, з яких формується складна соціально-економічна структура.

Однак пряме застосування цього об'єктно-орієнтованого топологічного методу до розрахунку ймовірності виникнення аварій має труднощі через те, що розглянута технічна система складається з функціонально

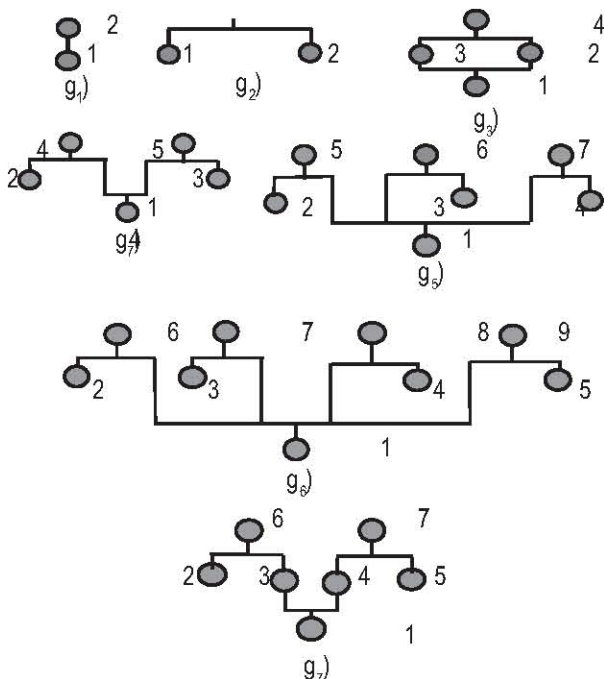


Рисунок 1 – Базисні конфігурації структурних схем $g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7$ (1–9 – ідентифікатори елементів)

відокремлених блоків, кожен з яких характеризується своїм набором критеріїв відмов, унаслідок чого звести їх до одного показника відразу для всіх елементів функціонуючої системи не є можливим. Тому досліджувану систему попередньо необхідно декомпонувати на функціонально відокремлені блоки, для кожного з яких скласти відповідні структурні схеми розрахунку ймовірності відмови. Крім того, необхідно також скласти логічну модель всіх домінуючих шляхів розвитку техногенно-екологічних аварій.

Таким чином, створення об'єктно-орієнтованого інструментарію обчислення загального та одиничного ризиків від експлуатації небезпечних об'єктів є надто трудомістким як відносно збору, зберігання і обробки статистичної інформації, так і розрахунку показників надійності складних систем. Кількісне визначення масштабів домінуючих наслідків у багатьох випадках також є трудомісткою процедурою, яка часом вимагає проведення спеціальних досліджень. Тим не менш, досить актуальним є створення інформаційно-аналітичних систем для вирішення завдань ризикового техногенно-екологічного менеджменту при організації процесу ефективного і сталого функціонування як окремих об'єктів транспортної інфраструктури, так і всього автотранспортного комплексу, що мають істотний вплив на соціальну сферу та навколишнє природне середовище.

2. **Маршалл, В.** Основные опасности химических производств / пер. с англ. В. Маршалл. – М. : Мир, 1989. – 672 с.
3. **Брушлинский, Н.Н.** Системный анализ и проблема пожарной безопасности народного хозяйства / Н.Н. Брушлинский, В.В. Кафидов, В.И. Козлачков ; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М. : Стройиздат, 1988. – 412 с.
4. **Сергиенко, И.В.** Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. – К. : Наук. думка, 1985. – 323 с.
5. **Воробьев, Ю.Л.** Теория риска и технологии обеспечения безопасности: Подход с позиций нелинейной динамики / Ю.Л. Воробьев, Г.Г. Малинецкий, Н.А. Махутов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Ч. 1. – 1998. – Вып. 11. – С. 26–41; Ч. 2. – 1999. – Вып. 1. – С. 18–41.
6. **Кук, Д.** Компьютерная математика / Д. Кук, Г. Бейз. – М. : Наука, 1990. – 270 с.
7. **Моисеев, Н.Н.** Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М. : Наука, 1975. – 180 с.
8. **Соловей, В.В.** Методика анализа рисков при оценке безопасности сложных технических систем применительно к объектам химико-технологического комплекса / В.В. Соловей, Л.И. Зевин, А.В. Кошельник, В.Л. Бессонный // 36. наук. праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Х. : НТУ «ХПІ», 2007. – № 32. – С. 33–39.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

Поступила в редакцию 24.06.2011

1. **Дорогунцов, С.И.** Управление техногенно-экологической безопасностью / С.И. Дорогунцов, А. Ральчук. – К. : Наук. думка, 2002. – 198 с.

Рассматривается методика оценки рисков, возникающих при эксплуатации опасных сложных технических объектов, к которым относится система «автомобиль-дорога-среда». Предлагается специализированный объектно-ориентированный подход к решению проблемы расчета вероятностей аварий в системах, содержащих большое количество единиц взаимодействующих элементов.

The method of risks assessment that occur at exploiting unsafe complex technical objects such as the system «vehicle-road-environment» is considered in the given article. A specialized object-oriented approach to solving the problem of road accident probability calculation in the systems comprising a big quantity of units of interacting elements is offered.