

Посилання на статтю

Скакун В.О. Методи та моделі управління ризиком в проектах модернізації потенційно небезпечних об'єктів / В.О. Скакун, Ю.П. Рак // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2009. – № 1(29). – С. 11-17. – Режим доступу: <http://www.pmdp.org.ua/images/Journal/29/09svopno.pdf>

УДК 005.8:681.3:331.45

В.О. Скакун, Ю.П. Рак

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РИЗИКОМ В ПРОЕКТАХ МОДЕРНІЗАЦІЇ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Проведено аналіз існуючих моделей та методів оцінки ризику виникнення надзвичайних ситуацій (НС). Запропоновано математичну модель оцінки та управління ризиком виникнення НС у проектах модернізації потенційно небезпечних об'єктів. Дж. 10.

Ключові слова: ризик, моделювання, проект, потенційно небезпечний об'єкт.

В.О. Скакун, Ю.П. Рак

МЕТОДЫ И МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ПРОЕКТАХ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Проведен анализ существующих моделей и методов оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС). Предложена математическая модель оценки и управления риском возникновения ЧС в проектах модернизации потенциально опасных объектов.

V.O. Skakun, Y.P. Rak

METHODS AND MODELS OF THE RISK MANAGEMENT IN PROJECTS OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS MODERNIZATION

The analysis of existent models and methods of estimation the extraordinary situations origin risks is conducted. The mathematical model of extraordinary situation origin risk estimation and management in projects of potentially dangerous objects modernization is offered.

Вступ. Досвід ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій свідчить, що незважаючи на удосконалення технічних та організаційних заходів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, зусилля в цьому напрямку з метою підвищення безпеки стають усе менш ефективними. Економіка навіть високорозвинених країн не в змозі збільшувати фінансування робіт з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та компенсувати втрати від них. У зв'язку з цим у вісімдесяті роки 20 століття у високорозвинених країнах була усвідомлена необхідність зміни акценту політики у бік вирішення задач по запобіганню надзвичайним ситуаціям.

На сьогодні наукові дослідження з теорії управління проектами модернізації потенційно небезпечних об'єктів на стадії розвитку. Вимагає подальшого розвитку розробка методології створення методів і моделей стосовно управління ризиком у проектах модернізації потенційно-небезпечних об'єктів.

Необхідність науково-методологічного забезпечення реалізації превентивної політики щодо виникнення надзвичайних ситуацій на потенційно небезпечних об'єктах вимагає інтенсивного розвитку окремої галузі – управління і оцінки ризиком в проектах цивільного захисту.

Вибір концепції управління ризиком може бути зроблений, виходячи з наявних і найбільш популярних сьогодні принципів, а саме [1]:

- принцип ALARA – зменшувати ризик настільки, наскільки це можливо;
- принцип ALARP – зменшувати ризик настільки, наскільки це прийнятно;
- принцип – вживати всі необхідні запобіжні заходи;
- принцип – застосовувати найбезпечніші технології системи БЖД.

Моделювання ризиків і прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій та ймовірних сценаріїв їх розвитку, оцінка ризиків НС відповідно до різних сценаріїв їх розвитку є основою системи управління безпекою в проектах цивільного захисту щодо попередження і пом'якшення наслідків аварій і катастроф на потенційно небезпечних об'єктах.

Аварії, техногенні і природні надзвичайні ситуації, як правило, призводять до наслідків різного характеру. Щоб їх порівнювати, необхідно мати єдину міру цих наслідків, наприклад у вартісному вираженні, або критеріїв, які зводять різні надзвичайні ситуації до єдиного базису.

Аналіз ризику полягає у визначенні типів небезпеки, ідентифікації джерел небезпеки (загроз), подій, ініціюючих виникнення аварій, отриманні кількісних оцінок ймовірностей виникнення аварій та їх наслідків. Кількісне значення ймовірності реалізації загрози визначається або на основі статистичних даних, або на основі математичних моделей. Оцінка наслідків включає аналіз можливого впливу на людей, майно та довкілля. Підхід на основі оцінки ризиків є найбільш складним із застосовуваних на даний час методів аналізу безпеки у проектах з цивільного захисту.

Огляд публікацій. Згідно із науковим визначенням ризик – це кількісна міра загрози виникнення надзвичайної ситуації та її наслідків. А. Качинський [2] дає таке визначення ризику: “Ризик – прогнозована векторна величина збитку, що може виникнути внаслідок ухвалення рішень в умовах невизначеності та реалізації загрози. Він є кількісною мірою безпеки, що дорівнює добутку ймовірності реалізації даної загрози на ймовірність величини (величину) можливого збитку від неї”.

Переважає більшість фахівців з теорії ризику визначають ризик, використовуючи розробки У. Роуї [1], а саме: “ризик – це добуток ймовірності небажаної події на величину можливого збитку від неї”. Таким визначенням користуємося і ми у своїх дослідженнях.

Кожне із цих визначень має право на життя. Зауважимо, що ризик – величина прогнозована і коли ми говоримо про оцінку ризику, маємо на увазі прогнозування величини, яка містить співвідношення ймовірності настання події і збитків від неї.

Оцінка ризику – ключова ланка визначення загального рівня безпеки. Існуючі методи оцінки ризику у науковій літературі можна поділити на феноменологічні, детерміністичні, ймовірнісні та методи нелінійної динаміки й синергетики [3, 4, 5].

Стандартний **феноменологічний** метод базується на визначенні можливості протікання аварійних процесів, виходячи з результатів аналізу необхідних і достатніх умов, пов'язаних з реалізацією тих або інших законів природи. Цей метод простий у застосуванні і дає надійні результати, якщо робочі стани і процеси такі, що можна з достатнім запасом визначити реальний стан компонентів розглянутої системи, і ненадійний поблизу границь різкої зміни стану речовин і систем. Характерним прикладом використання такого методу є

методика прогнозування наслідків виливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті [6]. В її основі лежать знання про хімічні та фізичні особливості небезпечних хімічних речовин, які зберігаються у виробничих потоках, та реальні метеорологічні умови.

Феноменологічний метод кращий при порівнянні запасів безпеки різних типів потенційно небезпечних об'єктів, але мало придатний для аналізу розгалужених аварійних процесів, розвиток яких залежить від надійності тих або інших частин об'єкта або (і) його засобів захисту.

Детерміністичний метод передбачає аналіз послідовності етапів розвитку аварій, починаючи від вихідної події через послідовність передбачуваних стадій відмовлень, деформацій і руйнування компонентів до сталого кінцевого стану системи. Хід аварійного процесу вивчається і прогнозується за допомогою математичного моделювання, побудови імітаційних моделей і проведення складних розрахунків. Детерміністичний підхід забезпечує наочність і психологічну прийнятність, тому що дає можливість виявити основні фактори, які визначають хід процесу. Характерною його ознакою є побудова "дерева відмов" [7]. У ядерній енергетиці цей підхід довгий час був основним при визначенні ступеня безпеки реакторів. На сьогодні цей метод активно застосовується при визначенні безпеки польотів.

Недоліки методу полягають в тому, що існує потенційна можливість не зафіксувати важливі, але рідкісні, ланцюжки подій при розвитку аварії. Побудова достатньо адекватних математичних моделей є дуже складним завданням навіть при сучасному розвитку обчислювальної техніки.

Імовірнісний метод аналізу ризику вимагає як оцінки імовірності виникнення аварії, так і розрахунку можливого збитку від неї. Оцінюються імовірності того або іншого шляху розвитку процесів. Імовірнісний метод передбачає аналіз послідовності етапів розвитку аварій, починаючи від вихідної події через послідовність стадій відмов устаткування, поломки, деформації і руйнування компонентів системи, можливі технологічні причини, обумовлені порушенням режимів роботи функціонально пов'язаних систем. Якщо імовірність виникнення аварії є неприйнятною величиною, то приймаються заходи для її зниження.

Хід аварійного процесу вивчається і передбачається за допомогою математичного моделювання. Характерною його ознакою є побудова "дерева подій" та "дерева відмов" [7]. Ці методи одержали широку популярність при аналізі складних систем. Дерево відмов являє собою логіко-графічне представлення складних систем з послідовним і паралельним з'єднаннями підсистем і дозволяє сформулювати задачу аналізу безпеки системи в термінах подій теорії імовірності або алгебри логіки. По побудованому на основі аналізу системи дереву відмов можна установити причини відмовлень системи і використовувати алгоритми для обчислення мінімальних шляхів і мінімальних перетинів, обчислювати імовірність відмови системи.

Для оцінки ризику виникнення аварій для кожної ініціюючої аварію події на потенційному джерелі аварії виконується оцінка імовірності її реалізації протягом одного року. Під час розгляду можливих відхилень параметрів процесу можуть використовуватися наступні методи: „дерево відмов“; аналіз видів і наслідків відмов; обробка статистичних даних про аварійність технологічної системи, що відповідають специфіці потенційно небезпечних об'єктів чи виду діяльності; експертні оцінки імовірності виникнення подій, що розглядаються. Розрахункові математичні моделі в цьому підході, як правило, можна значно спростити в порівнянні з детерміністичними схемами розрахунку. Основні обмеження імовірнісного аналізу безпеки пов'язані з недостатністю відомостей про функції

розподілу параметрів, а також недостатньою статистикою по відмовах устаткування і виникненню рідких подій.

Імовірнісний метод у даний час дуже поширений при аналізі безпеки атомних електростанцій і вважається одним з найбільш перспективних для аналізу безпеки в інших сферах. На основі імовірнісного методу можуть бути побудовані різні методики оцінки техногенного і природного ризиків для населення і територій, що у залежності від наявної (використовуваної) вихідної інформації поділяються на:

- статистичні, коли для визначення імовірності використовується апостеріорно-частотний підхід, у якому емпіричним аналогом об'єктивно існуючої імовірності $P(A)$ будь-якої події A є відносна частота реалізації цієї події в ряду із n незалежних випробувань. Характерними для цього виду методик є методики прогнозування гідрометеорологічних процесів;

- теоретико-імовірнісні, що використовуються для оцінки ризиків від рідкісних подій, коли статистика практично відсутня;

- евристичні, засновані на використанні експертних оцінок, що використовуються при оцінці комплексних ризиків від сукупності небезпек, коли відсутні не тільки статистичні дані, але і математичні моделі (або моделі занадто грубі, тобто їхня точність низька). Практично евристичними є методики оцінки виникнення несприятливих геологічних процесів.

Очевидно, що складність розробки теоретичних основ загальної теорії безпеки систем потребує конструктивного поєднання імовірнісних і детермінованих методів.

Методи *нелінійної динаміки й синергетики* в моделюванні надзвичайних ситуацій роблять перші кроки. Катастрофічні процеси – найбільш складні з досліджуваних динамічних процесів. Глибоке проникнення в природу процесів НС, що відбуваються в системах різної природи, стало можливим завдяки теорії біфуркацій, яка виникла після того, як А. Пуанкаре ввів в математичний аналіз потужні топологічні і групові методи [8]. Метод січних гіперповерхонь Пуанкаре дав дослідникам досить універсальний інструмент для вивчення багатомірних нелінійних об'єктів та їх дивної, на перший погляд, хаотичної поведінки.

У разі дослідження складних систем безпеки важливо відповісти на головне питання: коли система втрачає стан рівноваги і переходить з одного якісного стану в інший. Відповідь на це важливе питання можна отримати за допомогою теорії катастроф. Основи теорії катастроф були закладені Пуанкаре А., Ляпуновим А., Андроном А., Понтрягіним Л., Арнольдом В. та іншими вченими, а в сучасному вигляді були сформульовані Морсом М, Уїтні Х. та Томом Р., які врешті й дали їй таку яскраву назву [9]. Застосування методів теорії катастроф, на думку окремих фахівців, є досить ефективним підходом до вивчення глобального відгуку динамічної системи на зміну керуючих параметрів та інших збурень. Теорія катастроф дуже близька до теорії біфуркацій. Предметом вивчення теорії катастроф є знаходження числа, типів і властивостей стійкості рішень систем диференціальних рівнянь, що описують динамічну систему (такою системою може бути будь-яка система безпеки), знаходження біфуркаційної множини, де ці числа та типи рішень змінюються. При цьому передбачається також вивчення властивостей фазових переходів системи з одного стану в інший.

Хаотична система – це детермінована система, що поводить себе випадковим чином. Вивченням поведінки хаотичних систем займається так звана теорія детермінованого хаосу, що є одним з розділів нелінійної динаміки й синергетики. Знайшло строге обґрунтування положення про те, що складна просторово-часова поведінка систем із попередньо-невідомим числом ступенів свободи може бути адекватно описана нелінійними системами невеликої

розмірності. І, що важливо, для її практичного використання було встановлено, що число сценаріїв процесу хаотизації систем зовсім незначне. Крім того, деякі з них мають універсальний характер, тобто одні й ті самі шляхи розвитку властиві різним фізичним, хімічним, біологічним, екологічним об'єктам.

В останні роки хаос став одним з основних об'єктів наукових досліджень. У першу чергу це пов'язано з можливістю прогнозування динаміки систем, еволюція яких відома тільки із спостережень. Так, вміння обчислювати ймовірності тих чи інших небажаних подій дозволяє прийняти превентивні заходи з попередження переходу систем в стан, що ототожнюється з аварією чи катастрофою на таких небезпечних об'єктах, як АЕС. В цих системах як енергетичний контур з надзвичайно високою щільністю енергії, так і спряжений з ним контур автоматизованого управління є дисипативними стохастичними динамічними системами. При цьому, коли йдеться про прогнозування поведінки систем на мові класичної математики, мається на увазі знаходження рівняння або системи рівнянь, що дозволяють обчислити інваріантний розподіл, тобто імовірнісну міру. Для широкого класу дисипативних динамічних систем Боголюбовим М. і Криловим М. було доведено існування інваріантної міри, зосередженої на аттракторі, тобто на множині точок, що складають траєкторію у фазовій площині [10].

Таким чином комплекс проблем, що сюди відносяться, вимагає застосування усіх вищевказаних математичних методів аналізу цих процесів, їх комбінацій і комп'ютерного моделювання

Постановка задачі. Аналіз існуючих математичних моделей, методів та методик оцінки ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру показав, що, не дивлячись на інтенсивний розвиток в останнє десятиліття методів аналізу ризику, в Україні ще й досі існує значна невизначеність щодо поняття терміна "ризик". Відсутня загально визнана система термінів у сфері теорії ризику, що й відображено у деяких нормативних актах.

Головною проблемою наукового визначення поняття "ризик" є його комплексний характер, що вимагає врахування усіх факторів, що сприяють виникненню надзвичайних ситуацій і аналізу всіх наслідків, до яких вони можуть призвести.

Загально визнаним поняттям терміна "ризик" серед учених природничих наук є потенційна загроза реалізації техногенних або природних надзвичайних ситуацій із наслідками у вигляді заподіяння шкоди здоров'ю людини й навколишньому середовищу, або у вигляді завдання матеріальних збитків суспільству й державі.

Вирішення задачі. Невизначеність та імовірнісний характер виникнення НС займає центральне місце в системі управління проектами з цивільного захисту. Виявлення причин ризику та ідентифікація виникнення НС у проектах досягається методом математичного моделювання, що дозволяє розробити заходи стосовно реакції на них.

Коефіцієнт ризику R широко використовується адитивно-мультиплікативна модель, що пов'язує між собою ймовірність виникнення подій P_i (загроз) і відповідних їм небажаних наслідків W_i :

$$R = \sum_i P_i W_i \cdot \quad (1)$$

У випадку, коли $i=1$, маємо $R=PW$.

За допомогою формули (1) можна пояснити як невизначеність щодо можливої появи події, що призводить до небажаних наслідків, так і масштаби цих наслідків.

Оцінка ризику повинна передбачати розвиток несприятливих подій, які розвиваються за різними сценаріями, що потребує узагальнення формули (1):

$$R = \sum_{ij} P_{ij} W_{ij}, \quad (2)$$

де індекс i відноситься до події, а j – до відповідного сценарію.

Згідно з логікою визначення ризику за формулою (1), можна записати вираз для оцінки ризику у вигляді інтеграла:

$$R = \int p(W) F(W) dW, \quad (3)$$

де $p(W)$ – щільність розподілу випадкової величини W ;

$F(W)$ – вагова функція втрат, з допомогою якої наслідки різної природи зводяться до єдиної, наприклад вартісної, оцінки збитку.

У такому формулюванні ризик – міра загрози, яка визначається як математичне сподівання збитку чи втрат.

В загальному випадку при врахуванні фактору часу ризик у відповідності з (3) являється функціоналом, що залежить від реалізації випадкового процесу, який описує протікання або сценарій небажаної події.

Загальний збиток W (або його складові W_i) визначаються через узагальнений функціонал збитків, що наносяться населенню N , об'єктам техносфери T і навколишньому середовищу S :

$$W = F_D \{D_N, D_T, D_S\}, \quad (4)$$

де D – відповідні збитки (пошкодження) для населення, техносфери і навколишнього середовища.

При визначенні ризику для населення від надзвичайних ситуацій під ризиком розуміють математичне сподівання втрати людей $M(N)$ в межах деякої території [3]:

$$R = M(N) = P \iint_S \int_{I_{min}}^{I_{max}} p(I) f(x, y, I) \psi(x, y) dI dx dy, \quad (5)$$

де P – імовірність аварії або надзвичайної ситуації, в результаті якої виникає вражаючий фактор, який характеризується параметром I (наприклад, інтенсивність землетрусу в балах, токсодоза тощо);

S – площа населеного пункту (область інтегрування);

I_{min}, I_{max} – відповідно мінімальне і максимальне значення параметра вражаючого фактора для населеного пункту;

$p(I)$ – імовірність ураження людей в залежності від I як параметра (часто задається у вигляді функції нормального розподілу від пробіт-функції параметра I);

$f(x, y, I)$ – функція щільності розподілу інтенсивності параметра I в межах майданчика з координатами (x, y) ;

$\psi(x, y)$ – щільність населення в межах майданчика (x, y) , що розглядається.

Вибір конкретної математичної моделі оцінки ризику у проектах з цивільного захисту належить від кожної окремої ситуації. Як наслідок - існує значна кількість як самих моделей, так і підходів щодо визначення оцінок ризику.

Висновок. Проведено аналіз існуючих методів та моделей оцінки управління ризиком у проектах модернізації потенційно небезпечних об'єктів. Запропонована математична модель управління ризиком виникнення НС, яка враховує системні зв'язки, які виникають при протіканні аварійних процесів, аналізу і оцінки ризику виникнення аварії, що є об'єктивними складовими проектів модернізації потенційно небезпечних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rowe W. An anatomy of risk. – N.Y.: John Wiley, 1997. – 488 p.
2. Качинський А. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи. – К.: „Поліграфконсалтинг”, 2004. – 472 с.
3. Качинський А., Пирожков С, Хміль Г. Оцінка й аналіз фонового ризику смертності населення в Україні. – К.: НІСД, 1998. – 67 с.
4. Василькова В. Порядок и хаос в развитии социальных систем: синергетика и теория социальной самоорганизации. – СПб. : Лань, 1999. – 480 с.
5. Капица С., Курдюмов С., Малинецкий Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.
6. Алымов В., Тарасова Н. Техногенный риск. Анализ и оценка. – М.: Академкнига, 2004. – 75с.
7. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
8. Ласло Э. Век бифуркации. Постигание меняющегося мира. // Путь, 1995. – №7. – С. 3-129.
9. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф: в 2-х книгах. Кн.1. – М.: Мир, 1984. – 350 с.; Кн.2. – М.: Мир, 1984. – 285 с.
10. Хаос, структуры, вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 101 с.

Стаття надійшла до редакції 02.02.2009 р.