

УДК 65.011.3+330.131.7+338.14]:332.872.4 (075.8)

**І.С. ЄРЕМЕЄВ**, д-р техн.наук, професор

*Національний Таврійський університет ім. В.І. Вернадського, м. Київ*

**О.І. ЄЩЕНКО**, канд. техн.наук, доцент

*Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКУ В ОХОРОНІ ПРАЦІ**

*Розглянуто чинники, що впливають на оцінку ризиків в охороні праці, моделі поведінки об'єктів, які дозволяють мінімізувати ризики та евристики для визначення рамок надійної експлуатації таких об'єктів.*

**Ключові слова:** людський чинник, показник ризику, метод оцінки, евристика .

*Рассмотрены факторы, влияющие на оценивание рисков в охране труда, модели поведения объектов, позволяющие минимизировать риски, и эвристики, определяющие рамки надежной эксплуатации таких объектов.*

**Ключевые слова:** человеческий фактор, показатель риска, метод оценки, эвристика.

*Factors influencing the assessment of risks in labor protection, models of the behavior of objects that allow to minimize risks, and heuristics that determine the framework for reliable operation of such facilities are considered.*

**Keywords:** heat supply system, index, estimation technique, heuristic

**Актуальність дослідження.** Проблема охорони праці має справу з декількома аспектами, причому евентологічний аспект ризику та ефект синергізму під час оцінювання професійних ризиків практично не враховуються. Зазвичай, ризик розглядається як імовірність наслідку реалізації несприятливого впливу на людину, який може бути вирахований. Але ризик – це характеристика ситуації, яка має невизначеність щодо реального виходу при обов'язковій наявності несприятливих наслідків і яка передбачає невпевненість або неможливість отримання достовірних знань про позитивний вихід у зовнішніх обставинах, що задані. У складній ситуації, коли діє декілька чинників і кожний з них змінюється у певних межах під зовнішнім впливом, і, крім того, чинники ще впливають один на одного, проблема оцінювання інтегрального ризику стає нетривіальною.

**Метою дослідження** є саме «людський» чинник. Він спричиняє створенню умов, коли події розгортаються у незворотному напрямку, викликаючи численні негативні наслідки. І тому цей чинник необхідно враховувати у першу чергу. Але евентологічний аспект сприйняття ризику важко сформулювати у вигляді алгоритму (хоча залежність реакції людини та її адекватність ситуації залежать від втоми, настрою, наявності та кількості алкоголю у крові, минулого досвіду тощо). Тут, скоріше, може статися у нагоді евристика, яка б скоригувала оцінку ризику за допомогою методів теорії нечітких множин та теорії можливостей. Метою дослідження є вивчення реальних ситуацій, коли

«людський» чинник відіграє суттєву чи вирішальну роль, і створення процедур опрацювання оцінки ризику.

**Основні результати дослідження** можуть бути зведені до наступних.

В загальному вигляді Процедура опрацювання тієї чи іншої Оцінки Ризику (ПОР) може бути охарактеризована наступним кортежем:

$$\text{ПОР} \rightarrow K < A, T_A, E, P_A, R >,$$

де  $A$  - множина альтернативних оцінок, тобто варіантів, які враховують можливі комбінації чинників, а також притаманні їм множини "дрібниць"  $T_A$ , які можуть за певними умовами ініціювати той чи інший небажаний розвиток подій;  $E$  - середовище задачі ПОР, тобто умови, за якими відбувається ПОР, у тому числі й умови функціонування даного конкретного об'єкта чи системи, і які треба враховувати при формалізації й вирішенні задачі;  $P_A$  - система переваг у конкретній ПОР (тобто сукупність вимог щодо критеріїв досягнення мети, переваги та недоліки окремих варіантів, що розглядаються, з точки зору реалій конкретного підприємства, а також з точки зору можливості урахування тих чи інших "дрібниць"), яка дозволяє виконувати цілеспрямований вибір елементів з множини  $A$  відповідно з певною процедурою  $R$  над множиною альтернатив  $A$ , причому  $R$  характеризує тип задачі ПОР (пошук найбільш привабливої альтернативи, відокремлення множини альтернатив, які не є домінуючими, лінійне упорядкування множини альтернатив, які є припустимі тощо). При цьому оптимальною оцінкою ризику  $VaR(\text{opt})$  буде диз'юнктивна оцінка, яку характеризує максимальне значення ризику, тобто така, яка відповідає наступній умові:

$$VaR(\text{opt}) = \max\{VaR_1, \dots, VaR_n\}$$

Після цього необхідно визначити коефіцієнт коригування ( $\mu \geq 1$ ), який враховує додатковий вплив, що не піддається формалізації (або точному визначенню). Для цього використовують елементи теорії нечітких множин і такий спрощений підхід. Будь-який вплив може бути охарактеризований як відсутній ( $k = 0$ ), незначний ( $k = 0,1$ ), малий ( $k = 0,25$ ), середній ( $k = 0,50$ ), значний ( $k = 0,75$ ), переважний ( $k = 0,9$ ), причому усі впливи представляються у однаковому масштабі. Коефіцієнт коригування при цьому може бути представлений у вигляді

$$\mu = 1 + \{(r-1)/2r\} \sum_{i=1}^r k_i,$$

а інтегральна оцінка  $j$ -го ризику (якщо відсутні дані щодо закону розподілу) – відповідно як

$$VaR_j = \mu \{2,33 V \sigma \sqrt{T}\},$$

де  $V$  – максимальні можливі втрати (здоров'я, функціональних можливостей тощо) у разі реалізації ризику, або постійного негативного впливу на працюючого,  $\sigma$  - стандартне відхилення,  $T$  – термін, впродовж дії якого визначається ризик, у тижнях, місяцях, або роках, 2,33 – коефіцієнт, що відповідає довірчому інтервалу 99%.

Одним із шляхів зменшення евентологічного ризику є перевірка здібностей людини, що обирає собі певний вид діяльності, або претендує на вакантне місце, з точки зору її відповідності вимогам до того чи іншого роду професійних занять (для водіїв транспортних засобів, операторів енергетичних систем тощо). Звичайно, не може бути абсолютно однакових «робочих характеристик»: усі ті, що знаходяться в

межах припустимих, є насправді різними і ризики повинні оцінюватися за диз'юнктивною схемою оцінки.

Під час оцінювання виробничих ризиків необхідно враховувати ефекти синергізму, а також ефекти «ланцюгових» реакцій, коли один хибний крок може викликати лавину незворотних за своєю природою реакцій, які можуть підсилювати наслідки першого кроку до катастрофічних масштабів, і передбачати превентивні заходи, які б унеможливили подібні ситуації.

Плануючи будь-яку діяльність необхідно уникати (наскільки це можливо) ситуацій, коли можливе взаємне підсилення ризиків і переведення ризику у площину, в якій імовірність перетворюється на майже детерміновану подію. Найбільш трагічними прикладами перетворення надзвичайно малої імовірності ризику аварії (10<sup>-6</sup> - 10<sup>-7</sup>) є Чорнобильська катастрофа (коли намагання чим скоріше взяти навантаження на Блок №4 призвели до ігнорування операторами сталої часу «розгону» реактора і спроби витягнути аварійні стрижні захисту з наслідками у вигляді старту неконтрольованої ланцюгової реакції).

Іншим чинником, що створює «проблеми», є процеси старіння, які можуть призвести до виходу з ладу технічних систем і тим самим створити умови для погіршення умов праці. На відміну від «людського» чинника ці процеси достатньо детерміновані.

У системах житлово-комунального господарства катастрофічні явища спостерігаються частіше за усе у сфері комунальної енергетики, газопостачання, водопостачання та водовідведення: прориви теплотрас, газових магістралей і мереж водопостачання та водовідведення – повсякденні проблеми життя сучасних мегаполісів. Відомо, скільки коштів поглинають роботи по відбудові аварійних ділянок теплотрас і мереж. Але мало хто звертає увагу на те, як відбувається у часі, а також за яких якісних та кількісних варіацій змінних і чинників відбувається процес поступового переходу від режиму нормальної експлуатації до режиму розвитку аварії. Більше того, прийнято вважати, що аварія виникає «миттєво», «зненацька», «невідворотно». Якщо відкинути такі чинники як тероризм, диверсії або природні катастрофи (землетрус, повінь, торнадо тощо) усяка техногенна аварія розвивається у надрах нормально працюючої системи як результат недбалості і непрофесіоналізму, тому що такі чинники, як процеси старіння, зносу, дрейфу параметрів тощо повинні враховуватися на усіх етапах експлуатації будь-яких систем. Інакше кажучи, поряд з виконанням своїх безпосередніх функцій автоматизовані системи і персонал повинні забезпечувати сталий моніторинг стану як кожної з систем у цілому, так і усіх її головних складових.

Нажаль, VaR не є панацеєю методології оцінювання ризику. Справа у тому, що не усі VaR, що визначаються, є адитивними, тобто  $VaR(A+B) > VaR(A) + VaR(B)$ . Оцінювання когерентного (сполученого) ризику є більш складним завданням, яке виходить за межі даної роботи.

На завершення необхідно відзначити, що визначення ймовірностей подій, які зустрічаються, на щастя, досить рідко, вимагає велику кількість даних. Так, для визначення імовірності того, що випадок може статися протягом року, необхідно вивчити дані за інтервал 4-5 років. Крім того, для визначення VaR припускають нормальний розподіл, у той час, як частота подій є невизначеною. Але лише

використання моделей поведінки об'єктів ЖКГ та оцінювання ризиків є шляхом попередження техногенних катастроф та мінімізації їхніх можливих наслідків. Вони моделюються з урахуванням дії зовнішніх чинників і, таким чином, дозволяють передбачити віртуальну аварію і своєчасно прийняти відповідні профілактичні заходи, хоча і тут часто приходится користуватися евристичними та методами правдоподібних міркувань.

Врахування ризиків, які обумовлені «людським» чинником, а також процесами старіння може суттєво підвищити рівень охорони праці.

Для предметності можна розглянути проблематику пов'язану з питаннями надійності та енергозбереження при транспортуванні теплової енергії в централізованому тепlopостачанні. Сьогоднішня ситуація характеризується не просто як складна, а скоріше ближче до кризової, адже замінюється не більше 0,5 – 1,0 % від протяжності мереж замість 4-5% за нормативами. Внаслідок цього, плановий ремонт практично замінюється аварійно-відновлювальним, який в 3-4 рази дорожче і гірше за якість. Аварії ліквідуються за рахунок коштів, призначених на виконання планових робіт. Як наслідок, зношеність різко зростає, що потребує вже заміни 10-12% протяжності мереж на рік. Слід обов'язково відмітити, що ризики травмування серед ремонтних бригад при аварійних роботах згідно наявної статистики набагато більші ніж для чергового експлуатаційного персоналу.

На початку 90-х років зношеність основних фондів централізованого тепlopостачання становила до 50% і аварійність мереж була на рівні 0,1 - 0,2 аварії та пошкоджень на 1км теплопроводу. В теперішній час через 20 років зношеність теплотрас доходить до 70%, а кількості аварій 2-3 на 1км. Тобто при збільшенні зношеності на 20% аварійність зросла в 10-15 разів. Отже маємо нелінійну залежність між динамікою зношеності і надійністю систем тепlopостачання. Збитки від зростання аварійності в 15-20 разів перевищують витрати на її упередження. Тому при аналізі і плануванні робіт по заміні основних фондів більшої уваги потребує не фінансова сторона, а характеристика надійності, яка оцінюється аварійністю, інформація про яку є в диспетчерських службах теплових мереж.

Щодо теплових мереж, які є найважливішим після теплогенерції елементом теплової системи, слушно зазначити наступне. На сьогодні загальне зношення магістральних і розподільчих теплових мереж, як зазначено вище, доходить до 70% і наведені за офіційними статистичними даними протяжності теплових мереж, які очікують заміни (4141,1 км) – є тільки їх частиною, яка натомість потребує в даному випадку негайної заміни. Незадовільний стан теплових мереж призводить до значних втрат теплоти, які складають від 8 до 20% від загального відпуску теплоти всіма теплогенеруючими підприємствами (величина втрат теплоти складає 34 – 35 млн. Гкал на рік). Для порівняння: втрати теплоти в теплових мережах розвинутих держав Європи знаходяться в межах 4 – 6% і не перевищують 8%.

Обмежене фінансування комунального тепlopостачання не дозволяє проводити заміну теплових мереж в необхідній кількості. Щоб призупинити процес старіння теплових мереж та вивести їх з аварійного стану, необхідно проводити заміну трубопроводів в межах 4,5 – 5 % від загальної протяжності щорічно. Це дозволить за 10

- 15 років знизити втрати теплоти на 5 млн. Гкал на рік і до 2030 року вийти на рівень втрат до 6 – 7%.

Технологія каналної прокладки теплових мереж з використанням ізоляції з мінеральної вати є застарілою і малоефективною. Ця ізоляція за короткий термін експлуатації втрачає 50% теплоізоляційної здатності через відокремлення від труби і намокання. В сучасних умовах технічно і економічно доцільним є застосування безканалної прокладки теплопроводів з пінополіуретановою ізоляцією та полімерною оболонкою з повною заводською готовністю. Попередньо ізольовані труби в експлуатаційних умовах дозволяють дотримуватись таких робочих параметрів:

- Максимальна робоча температура 140 – 150 °C;
- Умовний тиск 16 МПа.

Впровадження в практику будівництва та ремонту таких труб забезпечує:

- Зниження теплових втрат через ізоляцію в середньому у 3 рази
- Зниження експлуатаційних витрат у 9 разів;
- Зниження капітальних витрат в 1,3 рази;
- Зниження витрат на ремонт у 3 рази.

Дана технологія дає можливість досягти терміну безаварійної експлуатації 30 - 40 років в інтервалі робочих температур від 95 до 150 °C. ККД теплової ізоляції становить 97 – 99%, тобто питомі втрати тепла через ізоляцію підтримуються на рівні 3 -1%.

Що стосується ефективного менеджменту, то тут важливе місце займає, як це не дивно, усунення так званого людського чинника. Досвід свідчить про те, що ретельне виконання експлуатаційних інструкцій, додержання нормативів та стандартів забезпечують суттєву економію коштів, покращують рівень обслуговування, гарантують безпеку і суттєве зниження аварійності. Для управління і регулювання системами тепlopостачання необхідно використовувати поєднання економічних механізмів та державного регулювання. Такий підхід повинен включати в себе:

- систему штрафів за неякісне надання послуг;
- методи планування та контролю;
- диспетчерське управління на основі комплексної автоматизації;
- домінування пріоритету надійності тепlopостачання над прибутковістю;
- оптимальне завантаження теплогенеруючих джерел.

Окремо слід зупинитися на проблемі ефективного споживання енергії. Тут перше місце займає стратегія економічного використання тепла. Сьогодні вже існують так звані інтелектуальні будинки, які дозволяють суттєво економити енергію як за рахунок спеціальних графіків подавання тепла (з урахуванням поточних потреб і конкретних умов), так і шляхом глобальної утилізації тепла повітря, яке видаляється системами вентиляції, комплексного використання сонячної енергії та енергії вітру, а також градієнту температур між навколишнім середовищем та підземними структурами або шаром води в океані або морі. Такі будинки обладнані системами автоматичного регулювання і моніторингу і здаються на перший погляд досить складними та невиправдано дорогими. Але перші результати їхньої експлуатації доводять, що окупність даного рішення цілком реальна.

Врахування усього зазначеного вище дозволить забезпечити нормальну стабільну роботу систем тепlopостачання, підвищити рівень обслуговування споживачів, зменшить втрати тепла, сприятиме зниженню собівартості послуг.

## **ЛІТЕРАТУРА**

1. U.S. EPA's General Risk Management Program Guidance (April 2004)
2. McNeil Alexander, Frey Rüdiger, Embrechts Paul. "Quantitative Risk Management: Concepts Techniques and Tools", Princeton University Press, Princeton, 2005, 538 pages.