

## МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНОК РИЗИКІВ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕХНОГЕННОГО ТА ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

In the article mathematical models are represented for determination of estimations of risks of technogenic and natural extraordinary situations.

### *1. Загальні положення*

Аналіз сучасних теорій та методів оцінки ризику і прийняття рішень в умовах невизначеності показав, що різні автори розглядають термін „ризик” по різному. Згідно із класичним визначенням Френка Найта [1] ситуації, пов’язані з ризиком, характеризуються відомими ймовірностями подій. Це виділяє їх із більш загального класу ситуацій невизначеності. Ф. Найт вважав, що ризик — це ймовірність небажаної події, при цьому розрізняв два типи ймовірностей: 1) математичну або апіорну і 2) статистичну. Тобто, за Ф. Найтом, ризик — це оцінена лобим способом імовірність, а невизначеність — це те, що не піддається оцінці. Це вирізняє ризик із усієї множини невизначеностей. Хоча такий підхід до визначення ризику не відображає всю складність проблеми вибору в умовах невизначеності, він допомагає підійти до її розуміння.

За визначенням В. Маршалла „ризик — це частота реалізації загрози”, а *загроза* — природне чи техногенне явище, при якому можлива поява явищ або процесів, здатних уражати людей, завдавати матеріальних збитків, руйнувати довкілля [2]. Саме це тлумачення ризику набрало найбільшого поширення у науково-технічній літературі.

У роботі А.Б. Качинського [3] наведене 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”*. Така форма визначення ризику дозволяє отримувати оцінки ризику від негативних процесів різного характеру.

Таким чином, спільним у всіх визначеннях терміну ризик є невизначеність: чи відбудеться небажана подія, чи ні; та чи виникне при цьому небажаний (небезпечний) стан системи, чи ні. Така недостатня кількість інформації при дослідженні явищ, процесів та ситуацій споріднює поняття „ризик” із процедурою „прийняття рішень” за умови не детермінованих параметрів.

Прояв будь-якого геодинамічного процесу природного походження можна охарактеризувати параметром „природний ризик”, тоді як реалізацію аварії на вибухонебезпечному або іншому технічному об’єкті характеризують терміном «техногенний ризик».

Спектр природних ризиків досить широкий. Сюди слід віднести ризики, пов'язані з проявом стихійних сил природи: землетрусів, виверження вулканів, тайфуни, урагани, смерчі, повені, підтоплення, зсуви, карст, зливи, град, засухи, заморозки, епідемії, епізоотії, епіфітотії тощо. Рівень техногенного ризику є наслідком антропогенної діяльності і залежить від технічного потенціалу окремої країни. Спектр техногенних ризиків теж надзвичайно широкий. Це, зокрема, аварії на потенційно-небезпечних об'єктах, а саме, об'єктах, пов'язаних із виробництвом, поводженням і зберіганням радіоактивних речовин та радіоактивних відходів, аварії з виливом (вилівом) небезпечних хімічних речовин, аварії з розливанням паливно-мастильних матеріалів, пожежі, вибухи на шахтах, аварії на нафтопроводах і газопроводах, аварії на залізницях і метрополітені, авіаційні катастрофи, прориви гребель та катастрофічні затоплення. Крім того, скидання стічних вод, викиди твердих та газоподібних речовин в атмосферу, складування відходів тощо [4].

Як природні, так і техногенні надзвичайні ситуації спричиняють страждання й загибель людей, забруднення навколишнього природного середовища. В загальному випадку наслідки реалізації негативних подій можна розділити на 3 групи збитку: спричинення збитку життю та здоров'ю людей; економічні збитки; збитки і негативні наслідки для навколишнього природного середовища і культурних цінностей. Результати кількісного аналізу ризику дозволяють оцінювати і порівнювати між собою різні види безпеки за єдиними показниками.

## 2. Математичні моделі оцінки ризиків

У сучасній вітчизняній та закордонній практиці для формалізації ризику  $R$  широко використовується модель, що пов'язує між собою ймовірність виникнення негативної події  $P$  (аварії, катастрофи) і величину можливих наслідків  $W$  у результаті реалізації цієї події, а саме:

$$R = P W \quad (1)$$

Присутня у цій моделі ймовірність  $P$  чисельно виражає міру можливості здійснення тієї чи іншої негативної події  $A$ , пов'язаної з невизначеною ситуацією, а величина очікуваних наслідків  $W$  внаслідок реалізації негативної події  $A$  залежить не тільки від можливих втрат (кількості загиблих, поранених, матеріальних втрат), а й від ступеня уразливості об'єкта, території для події  $A$ , тобто

$$W(A) = V(A) \times U(A), \quad (2)$$

де  $W(A)$  – величина можливих наслідків реалізації події  $A$ ;  $V(A)$  – ступінь уразливості об'єкта для події  $A$ ;  $U(A)$  – повний збиток внаслідок реалізації події  $A$ .

Таким чином, підставляючи вираз (2) у формулу (1), отримаємо наступну модель для визначення рівня ризику:

$$R(A) = P(A) \times V(A) \times U(A), \quad (3)$$

де  $R(A)$  — ризик (негативної події  $A$ );  $P(A)$  — ймовірність реалізації негативної події  $A$ ;  $V(A)$  — ступінь уразливості об'єкта до події  $A$ ;  $U(A)$  — умовний повний збиток при реалізації події  $A$ .

Отже, формула (3) є загальною для всіх типів ризиків, які характеризуються своїми масштабами прояву. Але при її практичному використанні у кожному конкретному випадку може виникнути необхідність внесення відповідних уточнень.

Зазначимо, що під уразливістю потенційно небезпечного об'єкта  $V$  ми розуміємо рівень можливих втрат об'єкта або його окремих елементів, обумовлених впливом на нього уражальних факторів певної інтенсивності. Уразливість об'єкта є проявом його властивостей (інженерно-технічних, організаційних, соціально-психологічних), здатності протистояти відповідному впливу. Що стосується природних явищ, то уразливість – це властивість певної системи в більшій чи меншій мірі піддаватися впливам, спрямованим на руйнування нормального функціонування даної системи.

У науковій літературі часто використовується вираз для оцінки ризику у вигляді інтеграла:

$$R = \int F(W)p(W)dW, \quad (4)$$

де:  $F(W)$  — вагова функція втрат, за допомогою якої наслідки різної природи зводяться до єдиної (наприклад вартісної) оцінки збитку,  $p(W)$  — щільність розподілу випадкової величини  $W$ . У такому формулюванні ризик – міра небезпеки, яка фактично визначається як математичне сподівання збитку.

При більш складних структурах подій наведені вище моделі обчислення ризику можуть бути ускладнені. Так, при визначенні комплексного ризику для населення від надзвичайних ситуацій природного і техногенного походження використовують формулу:

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

де:  $R$  — ризик для населення в результаті реалізації негативних подій – визначається як математичне сподівання загибелі людей  $M(N)$  в межах деякої території;  $P$  — імовірність аварії або надзвичайної ситуації, в результаті якої виникає вражаючий фактор, який характеризується параметром  $I$  (наприклад, токсодоза, інтенсивність землетрусу в балах, надлишковий тиск на фронті ударної хвилі тощо);  $S$  — площа населеного пункту (область інтегрування);  $p(I)$  — імовірність ураження людей в залежності від  $I$  як параметра;  $\psi(x,y)$  — щільність населення в межах майданчика  $(x,y)$ , що розглядається;  $I_{\min}, I_{\max}$  — відповідно мінімальне і максимальне значення параметра вражаючого фактора;  $f(x,y,I)$  — щільність розподілу інтенсивності параметра  $I$  в межах майданчика з координатами  $(x,y)$  [5].

Цікавий підхід щодо оцінки ризику від природних небезпек запропонував Рагозін А.Л. у праці [6], в якій для оцінки ризику життєдіяльності населення в окремому регіоні пропонує скористатися наступною моделлю:

$$R_{is}(F) = \sum_i \frac{S_i}{T_i} r_{SI} V_{ti} V_{SI} \frac{1}{N_S}, \quad (6)$$

де  $R_{is}$  – ризик життєдіяльності внаслідок дії уражального фактора  $F_i$ ;  $S_i$  – площа (зона), що зазнала ураження  $i$ -тим уражальним фактором  $F_i$ ;  $T_i$  – час, протягом якого відбувалося ураження фактором  $F_i$ ;  $r_{SI} = N_{si}/S_i$  – щільність населення зони ураження  $S_i$ ;  $N_{si}$  – кількість населення зони ураження;  $V_{ti}$  – уразливість населення в часі;  $V_{SI}$  – уразливість населення по території;  $N_s$  – кількість населення регіону, щодо якого розраховується ризик.

Оцінювання ризиків життєдіяльності (імовірності втрати здоров'я, чи загибелі людей) в загальному випадку базується на наступних співвідношеннях.

*Індивідуальні ризики життєдіяльності* населення за видами загроз визначають за допомогою моделі:

$$R_{is}(W_j) = P_s(W_j) V_{sf}(W_j) V_{nt}(W_j) V_{ns}(W_j), \quad (7)$$

де  $R_{is}$  – індивідуальний ризик загибелі на території  $S$  внаслідок дії уражального фактора  $W_j$  ( $1/pik$ );  $P_s(W_j)$  – ймовірність прояву на території  $S$  уражальних впливів фактором  $W_j$ ;  $V_{sf}(W_j)$  – фізична уразливість території  $S$  від уражувальних впливів фактора  $W_j$ , що визначається співвідношенням площі ураженої частини території  $S(W_j)$  до її загальної площі  $S$ ;  $V_{nt}(W_j)$  – часова уразливість населення, що визначається ймовірністю опинитися на території  $S$  під час прояву вражаючих впливів  $W_j$ ;  $V_{ns}(W_j)$  – просторова уразливість населення зони ураження;  $V_{ti}$  – уразливість населення в часі;  $V_{SI}$  – уразливість населення, що визначається ймовірністю опинитися на ураженій частині території  $S$  ( $W_j$ ) (частки одиниці) [7].

*Колективні ризики життєдіяльності* за видами загроз визначають так:

$$R_{Ns}(W_j) = R_{is}(W_j) N_{swj}, \quad (8)$$

де  $R_{Ns}$  – колективний ризик загибелі чи втрати здоров'я на території  $S$  від уражальних впливів фактора  $W_j$  ( $чол./pik$ );  $R_{is}$  – індивідуальний ризик загибелі на території  $S$  внаслідок дії уражального фактора  $W_j$  ( $1/pik$ );  $N_{swj}$  – загальна кількість населення у межах території  $S$  (чоловік).

На практиці у багатьох випадках необхідно визначити інтегральний ризик – узагальнений показник, який включає комплекс загроз, що можуть реалізуватися при певних умовах і спричинити надзвичайні ситуації на заданій території. Тоді ймовірність прояву комплексу загроз визначається за допомогою суми ймовірностей сумісних подій, а збитки від реалізації цих подій визначаються за допомогою результатів детальних досліджень для відносно обмежених територій.

Так, інтегральний ризик життєдіяльності при одночасній реалізації техногенної та природної надзвичайних ситуацій визначають за формулою:

$$R_{Ns}(W) = \sum k_j R_{Ns}(W_j), \quad (9)$$

де  $R_{Ns}(W)$  – інтегральний ризик загибелі чи втрати здоров'я на території  $S$  від уражальних впливів факторів  $W_j$  (чол./рік);  $k_j$  – нормуючий ваговий коефіцієнт для кожного  $j$ -го типу уражальних впливів  $W_j$ .

### 3. Висновки

Отже, вибір конкретної математичної моделі оцінки ризику залежить від окремої ситуації. Як наслідок — існує значна кількість як самих моделей, так і підходів щодо визначення оцінок ризику техногенних і природних надзвичайних ситуацій.

Визначення оцінок ризиків має ґрунтуватися на результатах контролю технічного стану потенційно небезпечних об'єктів, статистичних даних про аварії і надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру, комплексного моніторингу небезпечних геологічних і гідрометеорологічних процесів, стану природних комплексів, а також на результатах моделювання відповідних небезпечних подій та ситуацій, їхнього впливу на здоров'я населення.

Застосування показника ризику дозволяє порівнювати дію небезпечних чинників різної природи і різного виду, визначати, з урахуванням внеску кожного окремого чинника, інтегральний ступінь небезпеки будь-якого об'єкту, району, області, регіону, держави.

1. Knight F. Risk, Uncertainty and Profit. Boston: Houghton Mifflin Co. 1921, p. 210–235.
2. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
3. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. - К.: НІСД, 2001. – 312 с.
4. Постанова Кабінету Міністрів України від 27.07.1995 р. №554 зі змінами від 14.02.2001р. №142 „Про перелік видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку”.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. – К.: Наукова думка, 2008.–543 с.
6. Рагозин А.Л. Основные модели и методы оценки природных рисков./Оценка и управление природными рисками. Тематический том. //Под ред. А.Л. Рагозина — М.: «Крук», 2003.—С.131 —142.
7. Биченок М.М., Іванюка С.П., Яковлев Є.О. Про комплексне оцінювання ризиків життєдіяльності у потенційно небезпечних регіонах // Екологія і ресурси: Зб. наук. праць Інституту проблем національної безпеки, –К.: ІПНБ, 2007. – Вип.17. –С.33-41.

Поступила 19.01.2009р.