

УДК 625.032

О.С. Задунай<sup>1</sup>, С.І. Азаров<sup>2</sup><sup>1</sup> Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, Київ<sup>2</sup> Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

## РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ АНАЛІЗУ СИСТЕМНИХ РИЗИКІВ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

*Розглянуто сучасний стан розробки методології аналізу системних ризиків при експлуатації об'єктів підвищеної екологічної небезпеки.*

**Ключові слова:** об'єкти підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН), аварійна ситуація, екологічний ризик.

### Вступ

Враховуючи високу важливість проблеми підвищення безпеки в процесі експлуатації об'єктів підвищеної екологічної небезпеки (ОПЕН), на даний час велике значення набуває вирішення завдань пов'язаних з попередженням можливих аварійних ситуацій та мінімізацією технологічних і екологічних ризиків.

Існуючі на цей час методики оцінки та декларування промислової безпеки ОПЕН мають більше декларативний характер, а наявний досвід використання методології аналізу екологічних небезпек та їх оцінки, не завжди дозволяє враховувати його під час прийняття оптимальних рішень з попередження аварійних ситуацій через відсутність належного організаційного та інформаційного забезпечення з прогнозування і оперативного передчасного розпізнавання небезпечних ситуацій [1 – 3].

Технології моніторингу управління ризиками, що застосовуються під час експлуатації ОПЕН як статичних об'єктів мають значну методичну похибку, а прийняття рішень з попередження аварійних ситуацій не враховує випадковий нестационарний характер розвитку аварійних процесів. Крім того, вирішення проблеми попередження аварійних ситуацій ускладнюється значними об'ємами вхідної діагностичної та технологічної інформації через відсутність системного підходу до рішення багатofакторних завдань безпеки, відсутності належних комп'ютеризованих інформаційно-керуючих систем моніторингу ризику, а також відповідного спеціального методичного та програмного забезпечення системи обробки даних, що ускладнює прийняття оптимальних керуючих рішень зі своєчасного прогнозування та запобігання виникнення аварійних ситуацій. Вітчизняні дослідження в галузі забезпечення безпеки ОПЕН розпочато відносно нещодавно - на початку 90-х років, та, в основному, були зосереджені в галузі теоретичних основ розробки нормативно-методичної документації з питань промислової безпеки з урахуванням ризику виникнення природних та техногенних катастроф [1]. Слід зазначити, що практична діяльність щодо реалізації концепції «абсолютної надійності» на основі абсолютних показників безпеки ОПЕН в багатьох випадках виявилась неефективною при ранньому

прогнозуванні та запобіганні надзвичайних ситуацій як у випадках виникнення великомасштабних катастроф так і при локальних аварійних ситуаціях.

Запропоновані останнім часом критерії оцінки «інтегрального» та «інтегрованого» ризиків, що відображують остаточні очікувані втрати (у вартісному відображенні), також є проблемними з точки зору раннього розпізнавання та попередження перед аварійних та аварійних ситуацій, а також відсутності експериментальних даних щодо нестационарності технологічних процесів. Крім того, негативним фактором у вирішенні проблеми екологічної безпеки на даний момент є недостатнє приділення уваги дослідників та розробників систем безпеки превентивному організаційному, технічному та інформаційному забезпеченню під час створення інженерного і технологічного протиаварійного захисту від аварійних ситуацій на ОПЕН.

### Результати досліджень

Лише останнім часом в Україні розпочато розробку концепції припустимого ризику, яка заснована на застосуванні профілактичних заходів організаційного і технічного характеру та базується на розробці теоретичних положень адаптивного управління екологічною безпекою ОПЕН.

В цілому можна зробити висновок, що за результатами проведених досліджень виявлено що основними причинами низької ефективності управління екологічною безпекою та низької достовірності даних отриманих за результатами кількісного аналізу ризиків є: недостатня повнота статистичних даних щодо аналізу ризиків; висока методична похибка при екстраполяції вхідних даних, що призводить до низького ступеню оцінки небезпечних ситуацій; висока методична похибка, що обумовлена низькою якістю побудови «дерев подій та відмов» з використанням експертної оцінки небезпечних ситуацій; недостатній збір вхідної інформації; декларування безпеки ОПЕН як статистичних систем; не врахування чисельних факторів динамічної зміни інформаційних параметрів та навколишнього середовища в часовому відображенні; відсутність належного контролю за суб'єктивною експертною оцінкою ризиків, що в багатьох випадках обумовлює низьку достовірність інформації що не відповідає дійсності; неврахування нестационарності технологічних

процесів у часі; неврахування взаємозв'язку залежних і незалежних випадкових процесів при експлуатації обладнання та транспортуванні вибухопожеженобезпечних середовищ; неможливість оцінки впливу нестационарних режимів експлуатації на реальних ОПЕН експериментальним шляхом.

Методологічні заходи кількісної оцінки показників ризиків в процесі експлуатації ОПЕН знаходяться в стадії розробки і на даний момент не впроваджені в систему нормативно-правових та методичних основ екологічної безпеки. За останні роки відмічається велика кількість досліджень в зазначеному напрямку, в тому числі виконаних авторами на протязі 2010 – 2015 років. На підставі виконаного аналізу нами запропонована така функціональна схема методології аналізу ризику (рис. 1).

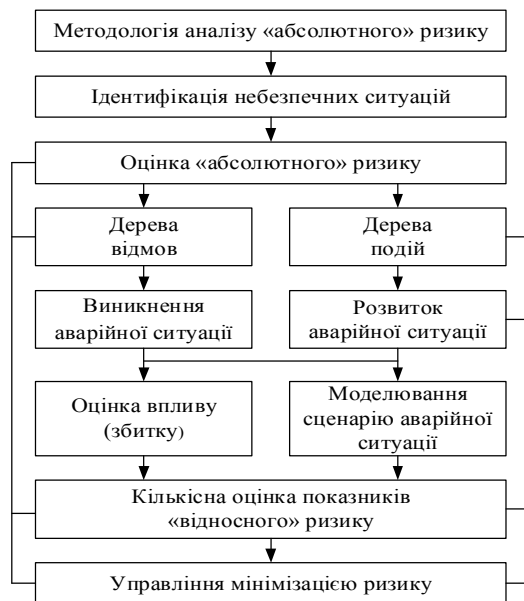


Рис. 1. Функціональна схема побудови системи аналізу ризику

В наведеній функціональній схемі методології аналізу ризику відмінною рисою (в порівнянні з вже відомими схемами) є наявність запропонованого авторами модуля визначення показника відносного ризику. Розглянемо основні положення та обґрунтування сучасних принципів побудови концептуальних засад методології аналізу ризиків.

**Потенційний колективний ризик.** При розмежуванні території по рівню потенційного ризику імовірність ураження людей внаслідок впливу фактору ураження можна визначити за формулою [2]:

$$P = 1/N_L \times \iint_S \int_0^{2\pi} \int_0^{L_{max}} P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot f(L) \phi(\beta) dL d\beta dx dy, \quad (1)$$

де  $N_L$  – кількість людей на елементарному майданчику;  $P[\Phi(x, y)]$  – вірогідність ураження людей в точці з координатами  $(x, y)$  під впливом вражаючого фактору  $\Phi$ ;  $\Psi(x, y)$  – щільність людей в межах майданчику;  $f(L)$  та  $\phi(\beta)$  – функції щільності розподілу вірогідності відповідно дрейфу хмари паливно повітряної суміші та повторюваність напрямку вітру за рік;  $S$  – площа території.

Щільності вірогідності  $f(L)$  і  $\phi(\beta)$  не залежать від  $x$  та  $y$ , також  $L$  не залежить функціонально від  $\beta$ , і навпаки. В цьому випадку формула (1) буде мати такий вигляд:

$$P = \frac{1}{N_L} \left[ \iint_S [\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot dx dy \right] \times \left[ \int_0^{2\pi} \phi(\beta) d\beta \right] \cdot \left[ \int_0^{L_{max}} f(L) dL \right]. \quad (2)$$

Інтеграл від щільності розподілу вірогідності в межах всього діапазону змінювання випадкової величини дорівнює одиниці

$$\int_0^{2\pi} \phi(\beta) d\beta = 1; \quad \int_0^{L_{max}} f(L) dL = 1, \quad (3)$$

отже, вираз (1) буде мати такий вигляд:

$$P = \frac{1}{N_L} \left[ \iint_S P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot dx dy \right], \quad (4)$$

де  $\iint_S P[\Phi(x, y)] \cdot \Psi(x, y) \cdot dx dy$  – очікувана кількість смертельних випадків або колективний ризик (смертей/рік) в межах території площею  $S$ , що розглядається. Відношення числа очікуваних летальних випадків в межах території що розглядається (колективного ризику) до загального числа людей що ризикують  $N_L$  на цій території є середнім показником індивідуального ризику  $R_{ind}^{cp}$ .

**Соціально-економічний ризик  $R_{ce}$**  можна вважати загальну кількість смертей за рік з розрахунку на одну тисячу людей, що обумовлена недостатнім рівнем розвитку економіки, рівнем харчування, рівнем життя. Величину  $R_{ce}$  можна представити як функцію, залежну головним чином від річного доходу людини:

$$R_{ce} = A/\sqrt[3]{L}, \quad (5)$$

де  $A = 280$ ;  $L$  – річний дохід людини.

**Індивідуальний ризик** визначається частотою загибелі людей від факторів ураження (або їх сукупності) визначеній у точці простору та розраховується так:

$$R_{in}(x, y) = \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} P_{Q_l}(x, y) F(A_m), \quad (6)$$

де  $P_{Q_l}(x, y)$  – вірогідність впливу на людину в точці з координатами  $(x, y)$   $Q_l$ -го фактору ураження з інтенсивністю, що відповідає загибелі (ураженню) людини за умов реалізації  $A_m$ -ої події (аварії, небезпечного природного явища);  $F(A_m)$  – частота виникнення  $A_m$ -ої події в рік;  $M$  – множина індексів, яка відповідає подіям, що розглядаються;  $L$  – множина індексів, яка відповідає переліку всіх факторів ураження.

**Соціальний ризик** визначається залежністю частоти виникнення подій, що викликають ураження певної кількості людей, яка розраховується таким чином:

$$R_c(N) = \sum_{m \in M} \sum_{l \in L} P(N/Q_l) P(Q_l/A_m) F(A_m), \quad (7)$$

де  $P(N/Q_l)$  – вірогідність загибелі  $N$  людей від  $Q_l$ -го фактору ураження;  $P(Q_l/A_m)$  – вірогідність виникнення  $Q_l$ -го фактору ураження при реалізації  $A_m$ -ої події;  $F(A_m)$  – частота виникнення  $A_m$ -ої події. Середній за певний час ризик від події  $A$  дорівнює

$$R(A) = P(A) \cdot Y(A), \quad (8)$$

де  $P(A)$  – повторюваність події  $A$ , що має зворотну часу розмірність;  $Y(A)$  – можливий разовий збиток від події  $A$ , що має розмірність втрат.

Повторюваність в формулі (8) чисельно дорівнює частоті або статистичній вірогідності події А та відображається числом аварійних випадків за одиницю часу (відмов/місяць, аварій/рік та ін.). Ризик визначений за формулою (8), пропонується називати комбінованим, або приведеним (до одиниці часу) згідно з класифікатором ризику [3].

**Подійний ризик** є однією з характеристик небезпеки негативної події. На відміну від нього, вартісний ризик є показником уразливості об'єкту системи при впливі небезпеки певної інтенсивності. **Вартісний ризик**, або розміри збитків, в кожному конкретному випадку залежать від інтенсивності негативної події та від уразливості об'єкту що знаходиться під впливом. **Уразливість** – це ступінь можливих втрат об'єкту, або його окремих елементів, під дією факторів ураження певної інтенсивності. Ступінь уразливості визначають, як правило, окремо для кожного об'єкту по емпіричним залежностям втрат в соціальній, економічній чи екологічній сферах від інтенсивності цих процесів, отриманих за результатами статистичної обробки фактичних даних, або за даними моделювання негативних подій. З урахуванням ступеня уразливості об'єкту формула (8) для комбінованого ризику приймає вигляд:

$$R(A) = P(A)C_y(A)Y_n(A), \quad (9)$$

де  $C_y(A)$  – ступінь уразливості об'єкту при події А певної інтенсивності;  $Y_n(A)$  – умовні повні втрати від події А, що дорівнюють по кількості населення, кількості, або вартості всіх об'єктів у зоні ураження.

Соціальний ризик являє собою кількість загинув (уражених і т.ін.) людей люд./рік. Цей показник можна розрахувати за допомогою наступної модифікованої відомої формули:

$$R_c = P(A)P(H)C_y(A)N, \quad (10)$$

де  $P(H)$  – вірогідність знаходження групи людей (населення, працівників галузі, туристів та ін.) в зоні ураження;  $C_y$  – ступінь соціальної уразливості цієї групи;  $N$  – чисельність групи відповідно (9). Як було зазначено раніше, індивідуальний ризик являє собою імовірнісну характеристику можливої загибелі поранення та(або) втрати здоров'я однієї людини з певної групи в певний проміжок часу з природних причин чи за результатами негативного впливу:

$$R_i(A) = P(A)P(H_1)P(I)C_y(A)N, \quad (11)$$

де  $P(H_1)$  – імовірність знаходження конкретного або типового індивідуума в зоні ураження, що відповідає фактору зайнятості;  $P(I)$  – імовірність негативної події, що оцінюється для індивіда із певної групи. додатково вводиться поняття питомий економічний ризик від події А:

$$R_y(A) = R_m(A)/S, \quad (12)$$

де  $R_m(A)$  – економічний (матеріальний) ризик від події А;  $S$  – площа зони ураження при цій події.

Дана характеристика особливо цікава для реалізації об'ємного відображення результатів аналізу ризиків з метою виявлення просторових закономірностей зміни економічного ризику. Подібна питома та індивідуальна характеристики можуть бути використані і при аналізі ризику ОПЕН нафтогазового комплексу. Ризик від негативної події по-різному проявляється в соціальній, економічній та екологічній областях.

**Повний соціально-еколого-економічний ризик** від події А дорівнює сумі ризиків від цієї події в зазначених областях [4]:

$$R_n(A) = R_c(A) + R_m(A) + R_e(A). \quad (13)$$

Повний ризик визначається за результатами детальних досліджень для окремих об'єктів у випадку виявлення всіх отриманих для різних факторів показників ризику в єдиних вартісних показниках.

## Висновки

На підставі проведеного аналізу в цілому слід зазначити, що система оцінки системних ризиків, також як і оцінка впливів (збитку), представляє складну ієрархічну систему з нестационарними технологічними процесами, що відбуваються на різних стадіях реалізації проектних рішень в різних часових інтервалах. Отже дана методологія дозволяє врахувати зміну в часі умов виникнення і розвитку аварійних ситуацій, а також керувати мінімізацією ризику, тобто управляти прийнятною величиною ризику за кількісним критерієм раннього розпізнавання перед аварійної ситуації.

## Список літератури

1. Лисанов, М.В. *Методическое обеспечение декларирования промышленной безопасности [Текст] / М.В. Лисанов, А.С. Печеркин, В.И. Сидоров // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 7. – С. 12–16.*
2. *Методология риска в надзорной деятельности. Проблемы и перспективы [Текст] / М.В. Лисанов и др. // Риск: наука, обучение, рынок труда: мат. межд. НПЖ, М. 13–17 окт. 1996 г. – М.: ВНИИПО, 1996. – С. 336–339.*
3. Суворова, В.В. *О выборе допустимого индивидуального риска [Текст] / В.В. Суворова, В.Ф. Мартынюк, С.А. Грудина // Безопасность жизнедеятельности. – 2005. – № 6. – С. 36–39.*
4. *Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика [Текст] / Под ред. Г.Г. Малинецкого. – М.: Наука, 2000. – 431 с.*

Надійшла до редколегії 22.12.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ АНАЛИЗА СИСТЕМНЫХ РИСКОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

А.С. Задунай, С.И. Азаров

*Рассмотрено современное состояние разработки методологии анализа системных рисков при эксплуатации объектов повышенной опасности.*

**Ключевые слова:** объекты повышенной экологической опасности, аварийная ситуация, экологический риск.

## DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR ANALYSIS OF SYSTEMIC RISKS IN THE OPERATION OF HIGH-RISK

O.S. Zadunaj, S.I. Azarov

*The current state of development of systemic risk analysis methodology in the operation of high-risk.*

**Keywords:** objects of high environmental hazard, emergency, environmental risk.