

УДК 303.732.4:504.064

Досліджені питання оцінювання ризиків проєктованих промислових об'єктів. Запропоновано системний підхід до оцінювання ризиків проєктованих промислових об'єктів. Розроблено математичну модель оцінювання ризиків проєктованих промислових об'єктів

Ключові слова: математична модель, ризик

Исследованы вопросы оценивания рисков проектируемых промышленных объектов. Предложен системный подход к оцениванию рисков проектируемых промышленных объектов. Разработана математическая модель оценивания рисков проектированных промышленных объектов

Ключевые слова: математическая модель, риск

The questions of evaluation of designed risks of industrial objects are investigated. Approach of the systems is offered to the evaluation of designed risks of industrial objects. The mathematical model of evaluation of designed risks of industrial objects is developed

Keywords: mathematical model, risk

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

Г.О. Статюха

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедру*

Контактний тел.: (044) 454-91-37

E-mail: gen.statyukha@mail.ru

Т.В. Бойко

Кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача кафедру*

Контактний тел.: (044) 454-91-37

E-mail: tvbojko@gmail.com

А.О. Абрамова

Асистент*

Контактний тел.: (044) 454-91-37, 097-926-26-88

E-mail: alla_abramova@ukr.net

*Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги 37, м. Київ, 03056

1. Вступ

Існування сучасного людського суспільства без ризику представити досить складно, а в деяких ситуаціях – практично неможливо. Будь-яка діяльність людини як природної складової несе в собі певну небезпеку, хоча й на досить низькому рівні, чого не можна сказати про техніко-техногенну діяльність людини.

2. Системний підхід до вирішення проблеми оцінювання ризиків проєктованих промислових об'єктів

При оцінюванні й аналізі ризиків найбільш раціональним є системний підхід, що дозволить встановити основні принципи організації, формування, прояву всіх видів і підвидів ризиків (ризиків взаємодії промислового об'єкту із екологічною системою), надасть можливість розчленовувати екологічну систему на складові для спрощення математичної обробки параметрів цієї системи й подальшого прогнозування змін у ній. У зв'язку із цим, можна запропонувати ланцюг при оцінюванні ризиків проєктованих промислових об'єктів “розуміння (1) → аналіз (2) → пояснення (3) → оцінка (4) → характеристика (5) → рівень (6)”, як було з'ясовано четверта складова до останнього часу практично реалізовувалася із застосуванням методів математичної статистики, теорій імовірності й випадкових чисел, але

такі методи не можливо застосувати при розрахунку ризиків при проєктуванні. Також особливу увагу варто приділити й існуючим градаціям видів (підвидів) ризиків при проєктуванні. Можна запропонувати таку структуру ризиків проєктованого промислового об'єкту, що включає екологічний ризик, ризик щодо здоров'я людини та соціальний ризик (рис. 1). Такі ризики є взаємозалежними та розподіленими в часі.

Із врахуванням вже накопиченого досвіду, розроблених методик й умов мінімальної необхідності можна запропонувати наступну процедуру оцінювання екологічного ризику проєктованого промислового об'єкту та ухвалення рішення про прийнятність проєкту й управління безпекою:

- на основі передпроектних досліджень, технологічного проєкту відповідно до діючих нормативних документів розраховуються кількісні показники впливу на складові навколишнього природного середовища (НПС) (атмосфери, гідросфери, ґрунту й т.д.);

- значення кількісних показників складових навколишнього природного середовища формують у індекси (цей етап обумовлений “різномірністю” кількісних показників та їхньою залежністю від методики розрахунку), по значенню індексу приймається рішення про прийнятність проєктного рішення по даній складовій НПС, або його доробці (наприклад, удосконаленню системи очищення стічних вод і т.д.), або відхиленню даного проєкту;

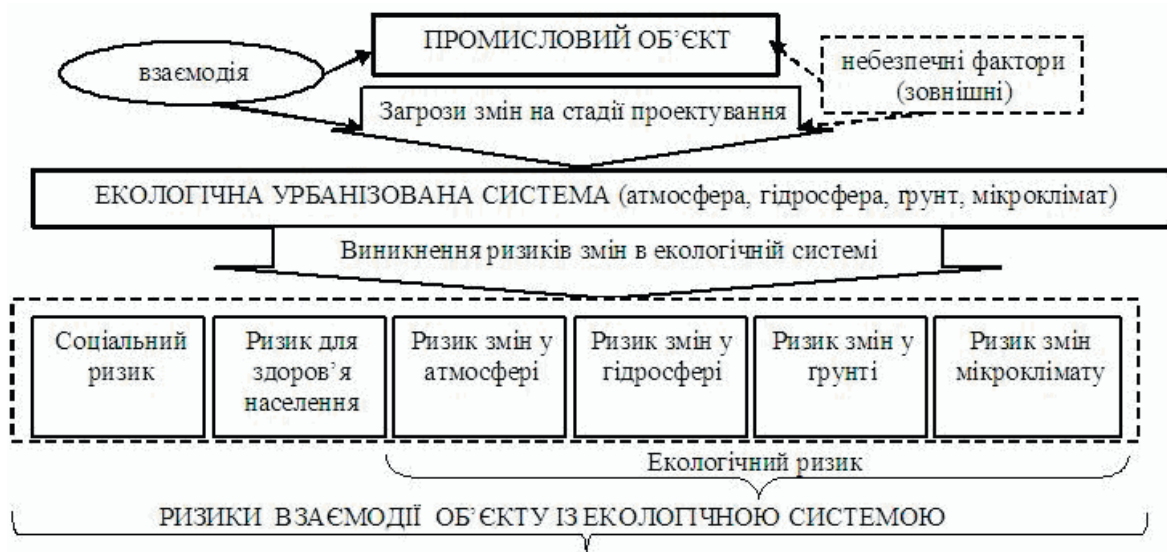


Рис. 1. Схема взаємодії проєктованого промислового об'єкту з урбанізованою екологічною системою

- за умови прийнятності проєкту для кожної складової НПС розраховуються ризики та встановлюються їх рівень.

3. Розроблення математичної моделі оцінювання ризиків проєктованого промислового об'єкту

Згідно із концепцією оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС), що є основоположною при проєктуванні промислових об'єктів та специфікою прояву небезпек на стадії проєктування промислового об'єкту, розроблено математичну модель оцінювання ризиків проєктованого промислового об'єкту (1):

$$\begin{cases} R_s = CRa \cdot V_u \cdot \frac{N}{T} (1 - N_p) \\ R_A = CRa = \sum_{k=1}^n ICR_k = \sum_{i=1}^k C_i \cdot UR_i \text{ або } R_A = \sum_{k=1}^n HQ_k = \sum_{i=1}^k C_i / RfC_i \\ R_E = \sum_{i=1}^m p_i \cdot Z_i \end{cases} \quad (1)$$

де R_s – соціальний ризик планованої діяльності, визначається як ризик групи людей, на яку може вплинути впровадження об'єкта з урахуванням природно-техногенної системи, тис.чол./рік.; CRa – канцерогенний ризик комбінованої дії декількох канцерогенних речовин, забруднюючих атмосферу (у випадку відсутності канцерогенних впливів (при розрахунку соціального ризику) приймається $CRa=1 \cdot 10^{-6}$, безрозмірний); V_u – уразливість території від прояву забруднення атмосферного повітря, відношення площі віднесеної під об'єкт господарської діяльності до площини об'єкта з санітарно-захисною зоною, частки одиниці; N – чисельність населення населеного пункту, тис.чол.; T – середня тривалість життя, рік; N_p – коефіцієнт, що визначається як відношення кількості додаткових робочих місць до загальної кількості робочих місць; R_A – ризик для здоров'я населення від забруднення

атмосферного повітря; ICR_i – ризик розвитку індивідуальних канцерогенних ефектів; C_i – розрахункова середньорічна концентрація i -ої речовини, mg/m^3 ; UR_i – одиничний канцерогенний ризик i -ої речовини, m^3/mg ; HQ_i – коефіцієнти небезпеки для окремих речовин; RfC_i – референтна (безпечна) концентрація i -ої речовини, mg/m^3 ; R_E – екологічний ризик промислового об'єкту (ризик змін у НПС); p_i – ймовірність виникнення негативних наслідків (незворотних змін в урбанізованій екологічній системі) від впровадження промислового об'єкту; Z_i – збитки від забруднення i -ої складової НПС (атмосфера ($i=1$), гідросфера ($i=2$), ґрунт ($i=3$)), що заподіяні внаслідок впровадження промислового об'єкту, грн.

Для знаходження ймовірнісної складової екологічного ризику проведено модифікацію існуючого методу «індекс-ризик» [1] в напрямку знаходження функціональної залежності значень ймовірностей екологічного ризику (ризиків змін в складовій НПС від впровадження промислового об'єкта) і значень індексу кожної складової НПС. Ймовірнісну складову екологічного ризику можна розрахувати згідно із розробленими залежностями (2)–(4) на трьох рівнях ієрархічної схеми:

$$p^{(1)} = \sum_{i=1}^m p_i^{(2)}; \quad (2)$$

$$p_i^{(2)} = a_i \cdot e^{b_i \cdot I_i^{(2)}} \quad (3)$$

$$p_{i,k}^{(3)} = c \cdot e^{d_{i,k} \cdot I_{i,k}^{(3)}} \quad (4)$$

де $p^{(1)}$ – ймовірнісна складова екологічного ризику НПС першого рівня; $p_i^{(2)}$ – ймовірнісна складова екологічного ризику i -ої складової НПС другого рівня; a, b – розрахункові константи, що пов'язані із специфікою складової НПС: $a_1 = 5,17 \cdot 10^{-9}$, $b_1 = 11,29$ (для атмосфери); $a_2 = 6,29 \cdot 10^{-10}$, $b_2 = 17,28$ (для гідросфери); $a_3 = 6,083 \cdot 10^{-8}$, $b_3 = 5,48$ (для ґрунту); $a_4 = 1 \cdot 10^{-6}$, $b_4 = -37,05$ (для шумів);

$a_5 = 8 \cdot 10^{-10}$, $b_5 = 7,67$ (для інфразвуку); $a_6 = 1 \cdot 10^{-8}$, $b_6 = 6,89$ (для ультразвуку); $a_{7-14} = 1 \cdot 10^{-8}$, $b_{7-14} = 4,95$ (для електромагнетизму, вібрацій); $a_{15} = 2,47 \cdot 10^{-9}$, $b_{15} = 8,93$ (для радіоактивності); e – експоненціальна функція; $I_i^{(2)}$ – індекс впливу на i -ту складову НПС; $p_{i,k}^{(3)}$ – ймовірнісна складова екологічного ризику k -ої речовини i -ої складової НПС третього рівня; c, d – розрахункові константи, що пов'язані із специфікою речовини складової НПС: $c = 1 \cdot 10^{-8}$, $d = 4,931$; $I_{i,k}^{(3)}$ – індекс впливу k -ої речовини i -тої складової НПС [2 – 4].

Проведення оцінювання рівня ймовірнісної складової екологічного ризику здійснюється відповідно до запропонованої шкали (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація рівнів ймовірнісної складової екологічного ризику

Рівень	Значення ймовірнісної складової
Неприйнятний	$> 10^{-6}$
Умовно прийнятний	$10^{-6} - 10^{-7}$
Прийнятний	$10^{-7} - 10^{-8}$
Безумовно прийнятний	$< 10^{-8}$

На основі отриманого значення приймається рішення про прийнятність промислового об'єкту по кожній специфічній забруднюючій речовині відповідної складової НПС на третьому рівні, для складової навколишнього середовища на другому рівні та для промислового об'єкту в цілому на першому рівні.

Розрахунок збитків від забруднення складових НПС, що заподіяні внаслідок впровадження проєктованого промислового об'єкту здійснюється згідно залежностей (5)–(7):

$$Z_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot \sum_{i=1}^k Z_{p_i} \cdot \sum_{i=1}^k M_{a_i}, \text{ або } Z_1 = m_i \cdot 1,1\Pi \cdot A_i \cdot K_T \cdot K_{si} \cdot K_{инд}, \quad (5)$$

$$Z_2 = 1,5 \cdot k_{инф} \cdot K_{кат} \cdot K_p \cdot \sum_{i=1}^m M_i \cdot \gamma_i \cdot K_{ни}, \quad (6)$$

$$Z_3 = A \cdot \Gamma_{оз} \cdot \Pi_d \cdot K_3 \cdot K_H \cdot K_{ег} \quad (7)$$

де Z_1 – збитки від забруднення атмосфери промисловим об'єктом, грн.; k_1 – коефіцієнт, що враховує розташування джерела викиду; k_2 – коефіцієнт, що враховує висоту викиду; Z_{p_i} – питомий збиток від викиду 1 тони i -го забруднювача в атмосферу, грн/т; M_{a_i} – маса викиду i -ого забруднювача в атмосферу, т/рік; Z_1 – збитки від забруднення атмосфери промисловим об'єктом, грн.; m_i – маса i -тої забруднюючої речовини, що викинута в атмосферне повітря понад-нормативно, т; $1,1\Pi$ – базова ставка компенсації збитків в частках мінімальної заробітної плати (Π), на момент виявлення порушення, за одну тону умовної забруднюючої речовини грн./т; A_i – безрозмірний показник відносної небезпечності i -тої забруднюючої речовини; K_T – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості; K_{si} – коефіцієнт, що

залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту i -тою забруднюючою речовиною; $K_{инд}$ – коефіцієнт індексації, що враховує інфляційні процеси; Z_2 – збитки у разі та несанкціонованих скидів забруднюючих речовин у поверхневі води; $k_{инф}$ – коефіцієнт інфляції на дату (рік) розрахунку збитків; $K_{кат}$ – коефіцієнт, що враховує категорію водного об'єкту; K_p – регіональний коефіцієнт дефіцитності водних ресурсів; M_i – маса скинутої i -ої забруднюючої речовини, т; γ_i – питомий, економічний збиток забруднення i -ою забруднюючою речовиною, грн./т; $K_{ни}$ – коефіцієнт, що враховує зменшення питомих витрат на ліквідацію забруднення із зростанням масштабу забруднення; Z_3 – розмір збитків від забруднення ґрунту, грн.; A – питомі витрати на ліквідацію наслідків забруднення земельної ділянки, значення якого дорівнює 0,5; $\Gamma_{оз}$ – нормативна грошова оцінка земельної ділянки, що зазнала забруднення (засмічення), грн./м²; Π_d – площа забрудненої земельної ділянки, м²; K_3 – коефіцієнт, що характеризує вміст забруднюючих речовин (м³) в об'ємі забрудненої землі (м³) залежно від глибини просочування; K_H – коефіцієнт небезпечності забруднюючих речовин; $K_{ег}$ – коефіцієнт еколого-господарського значення земель.

Розроблений спосіб визначення такого ризику як екологічний вже на етапі проєктування промислових об'єктів, що базується на системі індексів урбанізованих екосистем, дозволяє отримати оцінки та здійснювати контроль за якістю та екологічною безпекою НПС та орієнтуватися не тільки на шкоду здоров'ю людини, але й на інші «відповідні реакції» НПС.

4. Оцінювання ризиків проєкту реконструкції Алчевського металургійного комбінату

Метою реконструкції Алчевського металургійного комбінату – будівництво нової промислової площадки, при цьому виявлено несприятливі впливи на НПС, що пов'язані з виникненням різних по масштабу та часу негативних порушень стану та чистоти атмосферного повітря, поверхневих вод, ґрунту та ін. При оцінюванні ризиків проведено ідентифікацію небезпек (джерел забруднення), здійснено оцінювання простих властивостей (визначення концентрацій забруднюючих речовин та їх граничних значень) для кожної складової НПС. Вибіркові показники оцінювання екологічного ризику проєкту реконструкції Алчевського металургійного комбінату представлені в табл. 2.

Загальне оцінювання екологічної безпеки показало, що досліджуваний об'єкт є небезпечними, тому рекомендовано провести доопрацювання проєкту у таких напрямках: застосування додаткових методів очистки викидних газів у атмосферу, проведення очищення виробничих стоків та ґрунтів задля зменшення концентрацій відповідних речовин, вміст котрих перевищують гранично-допустимі концентрації; проведення контролю за вмістом цих речовин в динаміці.

Вибіркові показники оцінювання екологічного ризику після доопрацювання проєкту представлені в табл. 3.

Таблиця 2

Вибіркові показники оцінювання екологічної безпеки Алчевського металургійного комбінату

Складова НПС	Якісний склад	Показники оцінювання екологічного ризику			
		Індекси	Ймовірності	Збитки, тис. грн.	Екологічний ризик
Атмосфера	CH ₄ , NO ₂ , CO	I ₁ ⁽²⁾ = 0,75 Недопустимий	p ₁ ⁽¹⁾ = 2,5 · 10 ⁻⁶ Неприйнятний	З ₁ = 90,55	R ₁ = 2,26
Гідросфера	pH, O ₂ , ХСК, БСК5, сухий залишок, хлориди, сульфати нітрати, нітриги, фосфати, залізо	I ₂ ⁽²⁾ = 0,38 Умовно-допустимий	p ₂ ⁽²⁾ = 4,4 · 10 ⁻⁷ Умовно-прийнятний	З ₂ = 6,111	R ₂ = 0,002
Ґрунт	Pb, Zn, Cu, Cr, Mn, Ba, Sr та ін.	I ₃ ⁽²⁾ = 1 Недопустимий	p ₃ ⁽³⁾ = 1,5 · 10 ⁻⁵ Неприйнятний	З ₃ = 160,965	R ₃ = 0,13
Загальні оцінки		I ⁽¹⁾ = 1 Недопустимий	p ⁽¹⁾ = 1,75 · 10 ⁻⁵ Неприйнятний	З _{заг} = 257,132	R _E = 2,4

Таблиця 3

Показники оцінювання екологічного ризику після доопрацювання проекту

Складова НПС	Забруднювачі, що потребують контролю в точках відбору	Показники екологічної безпеки після доопрацювання проекту			
		Індекси	Ймовірності	Збитки, тис.грн.	Екологічні ризики
Атмосфера	Діоксид азоту NO ₂ , оксид вуглецю CO	I ₁ ⁽²⁾ = 0,36 Умовно-допустимий	p ₁ ⁽²⁾ = 2,7 · 10 ⁻⁷ Умовно-прийнятний	31 = 18,011	R1 = 0,005
Гідросфера	Сухий залишок, сульфати, нітриги	I ₂ ⁽²⁾ = 0,35 Умовно-допустимий	p ₂ ⁽²⁾ = 2,7 · 10 ⁻⁷ Умовно-прийнятний	32 = 21,644	R2 = 0,003
Ґрунт	Hg, Pb, Cu, Cr, Cd	I ₃ ⁽²⁾ = 0,37 Умовно-допустимий	p ₃ ⁽²⁾ = 3,8 · 10 ⁻⁷ Умовно-прийнятний	33 = 5,667	R3 = 0,001
Загальні оцінки		I ⁽¹⁾ = 0,37 Умовно-допустимий	p ⁽¹⁾ = 9,84 · 10 ⁻⁷ Умовно-прийнятний	33 _{заг} = 45,342	RE = 0,009

Таблиця 4

Оцінювання ризику для здоров'я населення

Забруднююча речовина	Розрахунок коефіцієнту небезпеки	Значення коефіцієнту небезпеки	Ризик розвитку неканцерогенних ефектів HQ
Діоксид азоту NO ₂	$HQ_{NO_2} = \frac{C_{NO_2}}{RfC_{NO_2}} = \frac{0,62}{0,04}$	15,385	16,6 Ймовірність розвитку шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню значення коефіцієнту небезпеки
Оксид вуглецю CO	$HQ_{CO} = \frac{C_{CO}}{ГДК_{CO}} = \frac{6,325}{5,0}$	1,265	
Метан CH ₄	$HQ_{CH_4} = \frac{C_{CH_4}}{ОБРД_{CH_4}} = \frac{0,86}{50}$	0,0172	

Розраховані інші ризики при проектуванні: ризик для здоров'я населення та соціальний ризик (табл. 4, табл. 5).

Рівень соціального ризику металургійного комбінату є прийнятним для професійних контингентів і не прийнятним для населення.

Таблиця 5

Оцінювання соціального ризику

Параметри оцінювання соціального ризику	Значення
Канцерогенний ризик комбінованої дії канцерогенів CR_a	$1 \cdot 10^{-6}$
Уразливість території $V_{\text{ц}}$, част.одиниці	0,01
Чисельність населення населеного пункту, N, тис.чол	113
Середня тривалість життя, T, років	70
Коефіцієнт залежності кількості додаткових від робочих місць N_p	0,31
Розраховане значення соціального ризику R_s , тис.чол/рік	$5 \cdot 10^{-8}$

Висновок

Перехід від аналітичного мислення до системного дозволяє визначати взаємозв'язок виникаючих явищ і подій, описувати й аналізувати в комплексі фактори, що є головними при формуванні ризиків, знаходити логіко-математичні залежності, які могли б з достатнім ступенем вірогідності описувати події, що відбуваються, чітко визначити місце ризиків в ієрархічній структурі екологічної безпеки.

Сформований системний підхід до оцінювання ризиків дозволив розробити математичну модель оцінювання ризиків проєктованих промислових об'єктів.

Література

1. Бойко Т.В. К вопросу определения рисков при оценке воздействий техногенных объектов на окружающую среду [Текст] / Т.В. Бойко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – №4/6 (34): Технология неорганических и органических веществ и экология. – С.37–41.
2. До питання розробки методики з оцінки ризику планової діяльності на навколишнє природне середовище [Текст] / Г.О. Статюха, В.А. Соколов, І.Б. Абрамов, Т.В. Бойко, А.О. Іщишина (Абрамова) // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: Зб. матеріалів I Міжнародного конгресу.– Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка» . – 2010. - №667.– С.231–234.
3. До питання кількісної оцінки екологічної безпеки при ОВНС [Текст] / Г.О. Статюха, В.А.Соколов, І.Б. Абрамов, Т.В. Бойко, А.О. Абрамова // Східно – Європейський журнал передових технологій. – 2010. – №6/6 (48). – С.44–46.
4. Статюха Г.А. Системне оцінювання екологічної безпеки проєктованих промислових об'єктів [Текст] / Г.О. Статюха, Т.В. Бойко, А.О. Абрамова //Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» - 2011. - №58. – С.70-76.