

І. Казимира, С. Стасевич, Р. Біловус (Львів, УКРАЇНА)

МОДЕЛЮВАННЯ ВРАЗЛИВОСТІ ДОВКІЛЛЯ: ОДИН З ПІДХОДІВ

Інститут сталого розвитку ім. В. Чорновола, Національний університет –Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, i_kazymyra@ukr.net

Стан навколишнього середовища – це, без сумніву, одна з головних проблем, з якими доводиться стикатися людству у третьому тисячолітті. Десятки років проблема незадовільного стану довкілля нехтувалась багатьма країнами, з кожним днем все складніше знайти на планеті незабруднене і не знищене людьми середовище. Це стало підґрунтям для виникнення концепції сталого розвитку – встановлення балансу між задоволенням сучасних потреб людства і захистом інтересів майбутніх поколінь, включаючи їх потребу в безпечному і здоровому довкіллі. Розроблено стратегію сталого розвитку, сформовано цілі і завдання, серед яких власне проблема збереження довкілля є водночас і надважливою, і надскладною.

З точки зору моделювання і аналізу навколишнє середовище є дуже складною системою. В інженерній практиці, коли розробники стикаються з проблемою у складній системі, вони повинні мати формальну математичну модель поведінки цієї системи або створюють таку модель для полегшення вирішення задач, що виникають. Для вирішення проблем захисту навколишнього середовища теж потрібна така модель.

Отже, розглядатимемо навколишнє середовище як складну (надскладну) систему з тисячами вхідних x^+ і вихідних x^- параметрів. Якщо матимемо математичну модель $X^- = F(X^+)$, навколишнього середовища, яка пов'язує вхідні та вихідні параметри, то зможемо: 1) сформулювати обґрунтовані вимоги до вхідних параметрів, 2) прийняти оптимальне для охорони навколишнього середовища рішення; 3) уникнути серйозного порушення екологічної рівноваги.

Для аналізу і розв'язання проблем захисту довкілля застосовують системний підхід аналогічний використовуваному при аналізі і моделюванні складних технічних систем. У інженерній практиці системний підхід передбачає розробку моделі складної системи, для чого виділяють множину вхідних параметрів X^+ , множину вихідних параметрів X^- , множину постійних внутрішніх параметрів системи A та множину змінних внутрішніх параметрів системи Y , підмножину чутливих вхідних параметрів U , які обираються для управління системою, множину параметрів процесів T , множину критеріальних функцій Q та множину обмежень G .

$$\Sigma^{Au}: \{x^+, x^-, q_x, g_x, a, u, t, y, S^u, V, V^u\}$$

$$x^+ \in X^+, x^- \in X^-, a \in A, u \in U, t \in T, y \in Y, q_x \in Q, g_x \in G$$

$$y = S\{x^+, a, t\} \quad x^- = V(x^+, a, t, y) \quad x^- = \bar{V}(x^+)$$

Таке виділення різних множин параметрів та їх класифікація полегшують розробку формальних моделей систем з різним рівнем складності функцій S, V, \bar{V} .

Для особливо складних систем корисною і широко застосовуваною на практиці є математична модель системи у вигляді «чорної скриньки», що поєднує вхідні параметри з вихідними, не враховуючи внутрішньої структури системи. Тому для

моделювання навколишнього середовища доцільно використовувати власне модель у вигляді «чорної скриньки».

При проектуванні складних технічних систем склалася парадигма, відповідно до якої виділяють різні рівні проектування: системний, структурний, рівень компонентів та інші. Лише на першому рівні (системному) аналізується вплив проектного об'єкта на навколишнє середовище. Відповідно до існуючої парадигми, на жаль, визначається вплив лише одного (проектного) об'єкта. Взаємний вплив різних технічних систем чи промислових об'єктів на навколишнє середовище не враховується (див. рис. 1).

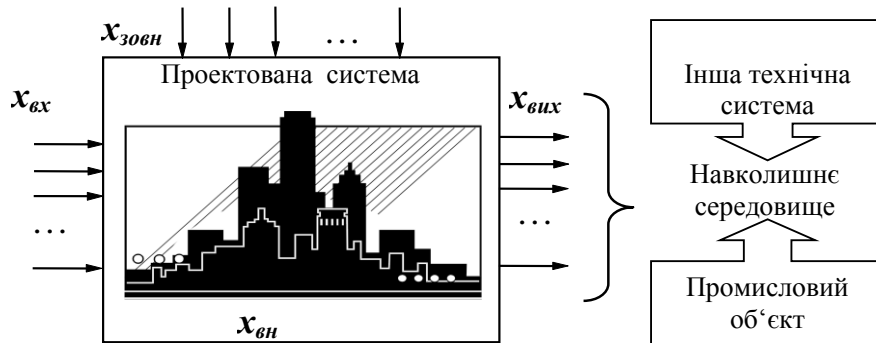


Рис. 1. Ілюстрація системного рівня проектування технічної системи.

Таке упущення може спричинити непередбачувані порушення екологічної рівноваги, чи навіть екологічні катастрофи. Пояснюється це тим, що вплив одного індустриального об'єкта на навколишнє середовище може бути незначним сам по собі, але буде суттєво залежати від впливів інших технічних систем. Тобто необхідно розглядати взаємний одночасний вплив на навколишнє середовище існуючих індустриальних систем і тих, які розробляються. Саме тому пропонуємо дещо змінити парадигму, яка склалася, і зробити власне навколишнє середовище центральним пунктом (рис. 2).



Рис. 2. Зміна підходу – навколишнє середовище у центрі.

Коли навколишнє середовище будемо вважати головною системою, то зможемо враховувати комплексний вплив усіх промислових об'єктів (існуючих і тих, що розробляються). Тоді технічні системи та їх вплив на навколишнє середовище будуть розглядатись як вхідні параметри основної системи, тобто середовища. У

такому випадку негативні впливи промислових об'єктів (систем) будуть враховані включно зі спільним (одночасним) впливом різних об'єктів.

Очевидно, що такі впливи спричинять погіршення кількісних параметрів навколишнього середовища. Проте, коли аналізується така надскладна система як навколишнє середовище, дуже складно правильно визначити що є причиною і що є наслідком. Це перша проблема. Друга проблема полягає в тому, як оцінити ступінь впливу певних негативних зовнішніх факторів. Таке точне оцінювання було б надзвичайно корисним для вирішення задач охорони довкілля.

Отже, основні проблеми – як визначити причинно-наслідковий зв'язок і як виконати кількісну оцінку. Ми зможемо вирішити ці задачі, якщо побудуємо математичну модель, що пов'язує причину і наслідок. Щоб спростити формалізацію задачі розглядатимемо навколишнє середовище як «чорну скриньку». У такому випадку ми спостерігатимемо, контролюватимемо і вимірюватимемо лише вхідні параметри (негативні впливи технічних об'єктів і систем) та вихідні параметри (показники якості навколишнього середовища) системи, не беручи до уваги того, що є всередині «чорної скриньки». Маючи на меті розробку моделі навколишнього середовища, слід обрати найвагоміші (найбільш чутливі) вхідні параметри з множини тисяч різних параметрів та адекватні вихідні параметри (відгуки).

Наприклад. Множина факторів X : x_1 – кількість промислових підприємств, x_2 – кількість населення, x_3 – кількість транспортних засобів, тощо. Множина відгуків Y : y_1 – якість повітря, y_2 – якість води, y_3 – якість ґрунту, тощо.

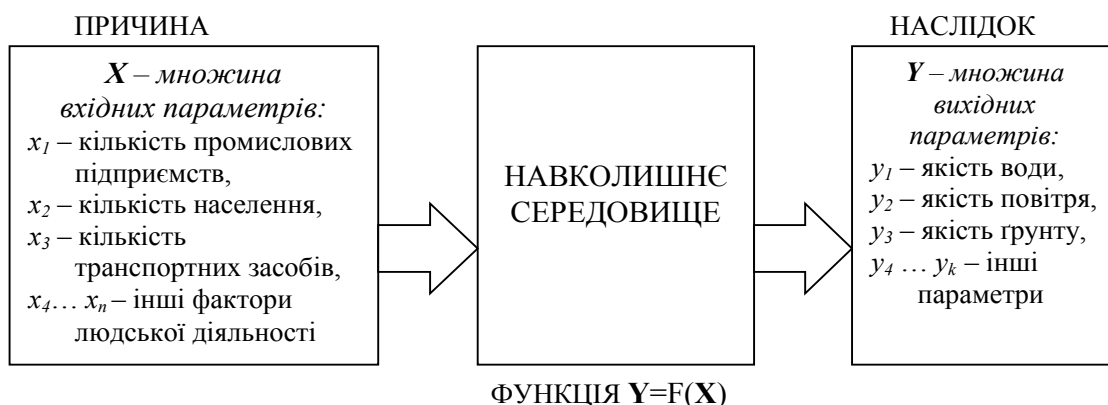


Рис. 3. Причина – наслідок => математична модель.

Статистичну інформацію стосовно обраних параметрів (спостерігати, контролювати, вимірювати) збирають впродовж заданого тривалого проміжку часу, включно з тими періодами, що вже минули (а статистичні дані збереглися). Такі дані є основою для розробки моделі.

В інженерній практиці теорія планування багатофакторного експерименту широко використовується для розробки математичних моделей складних систем, котрі важко піддаються формалізації. Пропонуємо використати цю теорію для побудови моделі вразливості навколишнього середовища. Таку модель можна розробити на основі дво- або тривірневого факторного експерименту.

Слід зауважити, що активний експеримент не буде проводитись, ми використаємо лише пасивний експеримент: спостереження і збирання інформації (рис.

4). Активний експеримент з такою складною системою як навколишнє середовище ми не можемо проводити з таких причин. По-перше, активний експеримент занадто коштовний, по-друге, експериментування з довкіллям занадто небезпечне, під час активного експерименту можна спричинити серйозні порушення екологічної рівноваги.

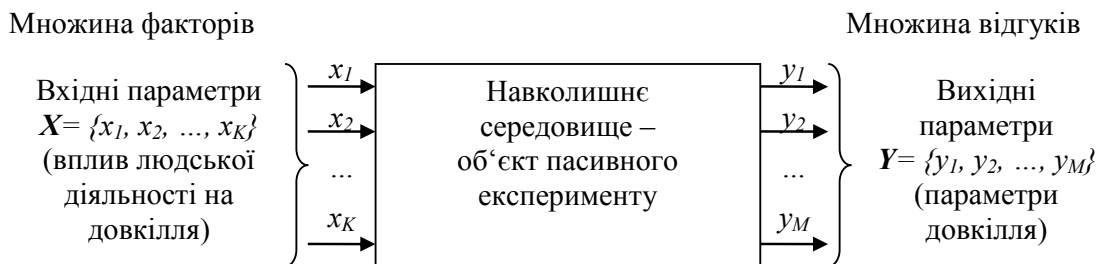


Рис. 4. Навколишнє середовище як об'єкт пасивного експерименту.

Необхідну для побудови моделі інформацію про обрані фактори та відгуки навколишнього середовища можна отримати з різноманітних статистичних звітів про роботу промислових та інших технічних об'єктів. Головне, щоб було бажання відповідних інституцій надати статистично значиму інформацію про обрані фактори, які є результатами людської діяльності і мають значний вплив на навколишнє середовище. Все це дозволить розробити модель вразливості довкілля.

Отримана на основі пасивного експерименту білінійна поліноміальна модель вразливості навколишнього середовища матиме вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \neq j \neq g} b_{ijg} x_i x_j x_g + \dots + b_{ijq \dots k} x_i x_j x_q \dots x_k$$

Вектор b -коефіцієнтів міститиме інформацію про вразливість навколишнього середовища до факторів людської діяльності.

Особливості моделі вразливості навколишнього середовища, побудованої на основі пасивного факторного експерименту, такі:

- лінійні коефіцієнти $b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_k$ показують чутливість середовища до зміни значення одного фактора x_i в усьому діапазоні зміни цього фактора;
- коефіцієнти $b_{12}, b_{13}, \dots, b_{ij}, \dots, b_{qk}$ є коефіцієнтами взаємодій першого порядку і визначають вразливість середовища до одночасної зміни факторів x_i та x_j ;
- коефіцієнт b_{ijq} демонструє вплив відмінності значень факторів x_i, x_j та x_q на вихідні параметри.

Аналіз b -коефіцієнтів моделі допомагає визначити ступінь вразливості довкілля до факторів людської діяльності. Такий кількісний аналіз дозволить виявити найбільш небезпечні негативні чинники людської діяльності (результати роботи промислових об'єктів), і, що особливо важливо, виявить небезпечні одночасні впливи різних факторів.

Розглянемо приклад моделі вразливості навколишнього середовища:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3.$$

У даному випадку Y – це якість повітря у деякому регіоні, обраний нами відгук системи (основний вихідний параметр), якою є навколишнє середовище. У ролі факторів у пасивному експерименті виступають такі параметри як кількість

промислових підприємств x_1 , кількість населення x_2 , кількість транспортних засобів x_3 . Обробка отриманих статистичних даних дозволяє побудувати поліноміальну модель, що відображатиме вплив обраних факторів на якість повітря в деякому регіоні. Кількісний аналіз b -коефіцієнтів такої моделі дасть змогу визначити ступінь небезпеки одного негативного фактора чи спільного впливу одночасної зміни двох (трьох) факторів. Інакше кажучи, це дозволить визначити ступінь вразливості навколишнього середовища до змін цілої множини факторів (як кожного окремо, так і взаємодій факторів). Так, коефіцієнти b_1, b_2, b_3 покажуть наскільки впливає на якість повітря зміна одного з факторів (відповідно x_1, x_2 , чи x_3), коефіцієнти b_{12}, b_{13}, b_{23} дозволять оцінити результат одночасного впливу двох факторів (відповідно x_1 та x_2 , чи x_1 та x_3 , чи x_2 та x_3), і нарешті коефіцієнт b_{123} виявить наскільки небезпечною є взаємодія всіх трьох факторів.

Як оцінити ступінь вразливості навколишнього середовища? На основі нашого досвіду аналізування аналогічних моделей технічних систем можемо сформулювати деякі рекомендації для кількісного та якісного аналізу моделі вразливості навколишнього середовища.

Якщо навколишнє середовище не є вразливим до факторів людської діяльності, то: взаємодії 1-го порядку є менш вагомими, ніж лінійні ефекти; взаємодії 2-го порядку є менш вагомими, ніж 1-го порядку. Фактами, котрі вказують на вразливість довкілля до зовнішніх впливів, є такі: взаємодії 2-го порядку є більшими, ніж 1-го порядку; взаємодії 1-го порядку є більшими, ніж лінійні ефекти (спільний вплив факторів є небезпечнішим, ніж вплив одного фактора); в окремих випадках навіть взаємодії 2-го порядку є більшими, ніж лінійні ефекти (одночасна зміна трьох факторів є надзвичайно небезпечною).

Висновки. Моделювання та прогнозування вразливості довкілля до факторів людської діяльності, яке базується на аналізі розроблених моделей, дозволяє: проводити моделювання причин та знаходити реальні причинно-наслідкові зв'язки; уникати ситуацій, коли кореляція між ефектами помилково сприймається як причинно-наслідковий зв'язок; формувати обґрунтовані вимоги до проекрованої технічної чи промислової системи; прогнозувати вплив факторів людської діяльності, що можуть порушувати екологічну рівновагу; приймати оптимальні з точки зору захисту довкілля рішення – ефективно розв'язувати оптимізаційну задачу знаходження таких значень негативних чи шкідливих факторів, які б забезпечили стійкість навколишнього середовища та збереження його для майбутніх поколінь.

Література

1. Кларк Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 544с.
2. Егоров А.Е., Азаров Г.Н., Коваль А.В. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента. – Харьков: Вища школа, изд-во при Харьковском ун-те, 1986. – 240 с.
3. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента: Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 520 с.