

УДК: 504.064.2

МЕТОДИКА ЗОНУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ

кандидат технічних наук, Гордійко Н. О.,

кандидат технічних наук, Томашевська Т. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, Київ, Національна Академія статистики, обліку та аудиту, Україна, Київ

В статті розглядається методика побудови зон кризивості для різних техногенних об'єктів. Для всієї сукупності об'єктів пропонується виділити три основні зони, які визначають ступінь небезпечності екологічної ситуації, а саме нормальний стан; передкризовий стан; кризовий стан. Для кожної зони, в свою чергу, визначаються підзони, які дають можливість уточнити рівень екологічної безпеки на об'єкті. Запропонована методика використовує для класифікації об'єктів кластерний аналіз, а для визначення підзон кризивості – дискримінантний аналіз. Розроблена методика може застосовуватися до визначення стану об'єктів різної природи, а отже, може бути занесена до бази моделей інформаційної системи екологічного моніторингу.

Ключові слова: екологічний стан, класифікація техногенних об'єктів, кластерний аналіз, дискримінантний аналіз, зони кризивості.

кандидат технических наук, Гордийко Н. А., кандидат технических наук, Томашевская Т. В. Методика зонирования техногенных объектов / Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Национальная Академия статистики, учета и аудита, Украина, Киев.

В статье рассматривается методика построения зон кризисности для различных техногенных объектов. Для всей совокупности объектов предлагается выделить три основные зоны, определяющие степень опасности экологической ситуации, а именно, нормальное состояние, предкризисное, состояние, кризисное состояние. Для каждой зоны, в свою очередь, определяются подзоны, которые позволяют уточнить уровень экологической безопасности объекта. Предложенная методика использует для классификации объектов кластерный анализ, а для определения подзон кризисности – дискриминантный анализ. Разработанная методика может использоваться для определения состояния объектов различной природы, а, следовательно, может быть занесена в базу моделей информационной системы экологического мониторинга.

Ключевые слова: экологическое состояние, классификация техногенных объектов, кластерный анализ, дискриминантный анализ, зоны кризисности.

PhD in Technical Sciences Gordiiko N. A., PhD in Technical Sciences Tomashevskaya T. V. Methods of zoning industrial objects / National Technical

University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», The National Academy of Statistics, Accounting and Auditing, Ukraine, Kyiv.

The article discusses the technique of construction of crisis zones for various man-made objects. It is offered three main areas for the set of objects. These zones define the severity of the environmental situation, namely, normal, pre-crisis, crisis. For each zone sub-areas are determined. They allow to specify the level of environmental safety of the object. The proposed method is used to classify objects of cluster analysis, and to determine the sub-zones of crisis - discriminant analysis. The developed method can be used to determine the status of objects of different nature and, therefore, can be entered in the base models of information systems for environmental monitoring.

Вступ. Вирішення кардинальних проблем у екологічній безпеці тісно пов'язане із здійсненням низки завдань з охорони довкілля. Серед них важливе місце займає створення служби моніторингу, яка на основі зібраних даних дає рекомендації щодо розробки раціональних способів використання природного середовища. Він здійснюється, передусім, за антропогенними змінами, адже в сучасну епоху власне вплив людини на природне середовище несе небезпечні зміни природних комплексів.

Одним з головних етапів діагностики екологічної безпеки є класифікація станів. Мета класифікації станів екологічної безпеки полягає у встановленні рівнів безпеки для кожного об'єкта з подальшим віднесенням до певного класу в залежності від ступеня важкості ситуації.

Типізацією та оцінюванням екологічних ситуацій займалися Б. І. Кочуров, В. М. Котляков, А. Г. Ісаченко, Г. А. Ісаченко, А. С. Шестаков, Л. Г. Руденко, І. О. Горленко та інші [1, с.45-48]. В роботі М. О. Клименко, В. О. Люльчика пропонується використовувати інтегральний показник, який базується на згортанні показників від нижчого рівня до вищого [2, с.21-25]. Однак запропоновані підходи орієнтовані на певну природу техногенних об'єктів та на встановлення суттєвих зв'язків між показниками.

Постановка завдання. Метою даної статті є розробка універсальної методики зонування техногенних об'єктів, яка не залежить від характеру об'єктів та дає можливість проаналізувати окремий вплив різних показників на загальний екологічний стан.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки рівня екологічної безпеки використовуються результати спостережень за об'єктом. Основною особливістю даних про навколишнє середовище, що визначає вимоги до алгоритмів їх обробки, є надзвичайна різноманітність цих даних за джерелами інформації [3, с.221-225].

Нехай вихідні дані подаються у вигляді матриці, кожен рядок якої є результатом виміру n розглянутих ознак на одному з обстежуваних об'єктів, а стовпці є індикативними показниками. Як міру відстані між об'єктами застосуємо евклідову відстань. Нехай вектор індикативних показників для i -го об'єкта задається набором $X_i=(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip})$ а для j -го об'єкта – набором

$X_j=(X_{j1}, X_{j2}, \dots, X_{jp})$. Квадрат евклідової відстані між X_i та X_j в матриці спостережень визначається за формулою:

$$d_{ij}=(X_i-X_j)^T (X_i-X_j)=\sum_{k=1}^p(x_{ik}-x_{jk})^2, \quad (1)$$

де x_{ik} – значення k -ї ознаки для i -го об'єкта.

Для усунення впливу на процедуру класифікації різнорідності вхідних даних вся інформація повинна бути пронормована відносно середніх показників.

Розроблена методика складається з 4 етапів, які опишемо нижче.

Етап 1. На даному етапі проводиться аналіз кризовості ситуації. Розподіл ситуації за ступенями кризовості на класи – нормальний (Н); передкризовий (ПК); кризовий (К) – проводиться на основі класифікації об'єктів за окремими групами [4, с.33-34]. Для цього використовується формальна багатомірна статистична процедура – кластерний аналіз. Необхідність застосування методів кластерного аналізу викликана тим, що вони допомагають виявити внутрішні зв'язки між одиницями сукупності спостережень.

Для процедури класифікації пропонується застосувати метод Уорда, який має такий вигляд [5, 531-537]:

1. Вважається, що кожний об'єкт утворює свій власний клас. Складається матриця евклідових відстаней $D = \{d_{ij}^2, i = 1, \dots, p; j = 1, \dots, p\}$.

D =

	I_1	I_2	...	I_p
I_1	0	d_{12}^2	...	d_{1p}^2
I_2		0	...	d_{2p}^2
...
I_p				0

2. Визначається $d_{ML}^2 = \min\{d_{ij}^2\}$, $i = 1, \dots, j-1; j = 2, \dots, p$.

3. Збільшення ВСК при об'єднанні двох кластерів I_M та I_L розраховується за формулою

$$W_{ML} = \frac{n_M \cdot n_L}{n_M + n_L} d_{ML}^2, \quad (2)$$

4. I_M змінюється на I_M' ; рядок $\{d_{iM}^2\}$ та стовпець $\{d_{Mj}^2\}$ матриці D перераховується за формулою (3)

$$d_{iM}^2 = 2W_{iM} = \frac{2}{n_i + n_M} [W_{iM}(n_i + n_M) + W_{iL}(n_i + n_L) - W_{ML}n_i] =$$

$$= \frac{1}{n_i + n_M} [d_{iM}^2(n_i + n_M) + d_{iL}^2(n_i + n_L) - d_{ML}^2 n_i]$$

$i=1,2, \dots, M-1; n_i > 0; j=M+1, \dots, p; j \neq L; n_j > 0.$

5. Припустимо $n_M = n_M + n_L$ і $n_L = 0$, тоді кластер I_L перетворюється на недейсну множину.

6. Записуємо елементи кластера I_L в кластер I_M' .

7. Повертаємось до пункту 2 і повторюємо процедуру $k-2$ рази, де k – кількість кластерів, на яку потрібно поділити групу об'єктів.

Етап 2. На другому етапі за допомогою процедури дискримінантного аналізу визначаємо граничні значення між основними рівнями кризовості – класами нормальних і передкризових станів та між класами передкризових і кризових станів. Визначення цих граничних значень надасть можливість у подальшому провести поверхні, що відокремлюють основні рівні кризовості один від одного.

Суть дискримінантного аналізу полягає у визначенні правила, яке дає змогу відрізнити один клас об'єктів від іншого, тобто провести розпізнавання належності об'єкта до певного класу. Зазвичай це правило є функцією від результатів спостережень над об'єктом. У залежності від значення цієї функції і відбувається класифікація конкретного об'єкта.

При визначенні граничних значень в дискримінантному аналізі вважається, що показники є випадковими величинами з нормальним законом розподілу.

Зазвичай припускають, що вартість правильних рішень щодо розпізнавання ситуації дорівнює нулю, а ціни збитків від неправильної класифікації та апіорні ймовірності появи об'єкта того чи іншого класу в задачі, що розв'язується, є рівними. Тоді у відповідності з критерієм Байєса граничне значення, що відокремлює один клас від іншого (наприклад, клас нормальних станів від класу передкризових станів), може бути визначене за допомогою співвідношення, яке визначає, що два класи є рівноцінними.

Тобто граничне значення є розв'язком рівняння:

$$\exp\left\{-\sum_{i,j} b_{ij}^H (x_i - a_i^H)(x_j - a_j^H)\right\} = \exp\left\{-\sum_{i,j} b_{ij}^{PK} (x_i - a_i^{PK})(x_j - a_j^{PK})\right\}$$

де $X=(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – об'єкт аналізу (вектор значень випадкової величини);

a_i – математичне сподівання i -ї ознаки для об'єктів з вибірки;

b_{ij} – елементи оберненої до коваріаційної (S) матриці ;

$S=\{\sigma_{ij}\}$ – коваріаційна матриця: σ_{ii} – дисперсія i -ї ознаки, σ_{ij} ($i \neq j$) – коваріація i -ї та j -ї ознак;

m – розмір багатовимірного простору (кількість індикаторних показників)

Якщо рівні значення експонент, то дорівнюють і значення їхніх ступенів, тобто

$$\sum_{i,j} b_{ij}^H (x_i - a_i^H)(x_j - a_j^H) = \sum_{i,j} b_{ij}^{PK} (x_i - a_i^{PK})(x_j - a_j^{PK}) \quad (4)$$

Дане рівняння є рівнянням поверхні U , яка розділяє два класи в багатовимірному просторі.

Для лінійного простору пряма, що проходить через центри класів збігається з лінією максимального зростання класових ознак і граничні значення визначаються як координати точки A – точки перетину роздільної поверхні U з прямою, яка проходить через центри класів з координатами A_H (для класу нормального стану) та $A_{ПК}$ (для класу передкризового стану).

У відповідності з канонічним рівнянням прямої у параметричному вигляді, яка проходить через дві точки у просторі, отримаємо

$$X = r(A_{ПК} - A_H) + A_H. \quad (5)$$

Для визначення граничної точки необхідно знайти коефіцієнт прямої r .

Оскільки точка $X_{ПК}^0$, що визначає граничне значення між нормальним та передкризовим станами, належить одночасно і поверхні U і прямій, то підставивши вираз (5) у вираз (4), отримаємо квадратне рівняння для визначення коефіцієнту r

$$b^2(N_H - N_{ПК}) + 2bN_{ПК} - N_{ПК} = 0, \quad (6)$$

$$\text{де } N_H = \sum_{ij} b_{ij}^H (a_i^{ПК} - a_i^H)(a_j^{ПК} - a_j^H),$$

$$N_{ПК} = \sum_{ij} b_{ij}^{ПК} (a_i^{ПК} - a_i^H)(a_j^{ПК} - a_j^H).$$

Корінь, що задовольняє умові $0 \leq r_0 \leq 1$, відповідає точці перетину прямої і розподільної поверхні. Тоді граничне значення визначається за формулою

$$X_{ПК}^0 = r_0(A_{ПК} - A_H) + A_H. \quad (7)$$

Для визначення координат граничного значення, що розділяє класи передкризових та кризових станів, X_K^0 , використовується аналогічна процедура.

Етап 3. Розподіл на зони та підзони кризовості виконується з використанням методу січних поверхонь. В нашому випадку в якості січної поверхні, що розділяє зони та підзони, розглядається гіпершар, тобто сукупність точок багатовимірного простору, що рівновіддалені від початку координат. Радіус такого гіпершару в p -мірному просторі визначається за формулою

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_p^2 = R^2, \quad (8)$$

де x_i – координати точки в p -мірному просторі.

Отже радіуси гіпершарів, що відрізняють основні зони кризовості визначаються за такими формулами:

$$(x_{1ПК}^0)^2 + (x_{2ПК}^0)^2 + \dots + (x_{pПК}^0)^2 = R_{ПК}^2, \quad (9)$$

$$(x_{1К}^0)^2 + (x_{2К}^0)^2 + \dots + (x_{pК}^0)^2 = R_K^2, \quad (10)$$

де $x_{iПК}^0$ – i -а координата граничної точки $x_{ПК}^0$,

$x_{iК}^0$ – i -а координата граничної точки x_K^0 .

Етап 4. На цьому етапі проводиться розподіл основних зон на підзони. Визначення кількості підзон залежить від мети та кількості об'єктів дослідження. Для детальнішого аналізу можна зону передкризового стану розподілити на три підзони:

- 1) початкова (припустима) передкриза (ПП);
- 2) передкриза, що розвивається (РП);
- 3) критична передкриза (КП).

Кризовий стан також можна розподілити на три підзони:

- 1) нестабільна криза (НК);
- 2) загрозна криза (ЗК);
- 3) критична (катастрофічна) криза (КК).

При розподілі зони на підзони вважається, що всі підзони мають рівні значення. Тому радіуси відповідних підзон розраховуються за такими формулами:

$$R_{ПП} = R_{ПК}, \quad (11)$$

$$R_{РП} = (R_K - R_{ПК})/3 + R_{ПК}, \quad (12)$$

$$R_{КП} = 2(R_K - R_{ПК})/3 + R_{ПК}, \quad (13)$$

$$R_{НК} = R_K, \quad (14)$$

$$R_{ЗК} = (\sqrt{p} - R_K)/3 + R_K, \quad (15)$$

$$R_{КК} = 2(\sqrt{p} - R_K)/3 + R_{ПК}, \quad (16)$$

де p – кількість індикаторів.

Етап 5. На цьому етапі проводиться визначення відстані до об'єкта через модуль його радіус-вектора за формулою:

$$r_j = \sqrt{x_{1j}^2 + x_{2j}^2 + \dots + x_{pj}^2}, \quad (17)$$

де x_{ij} – координати i -го об'єкта в p -вимірному просторі.

Етап 6. На даному етапі проводиться класифікація об'єктів на основі правил, наведених у таблиці 1. У випадку, якщо два об'єкти мають однакову оцінку ситуації, їх ранжування проводиться на основі відстані, отриманої за формулою (17): чим менша відстань, тим у кращій ситуації перебуває об'єкт.

Таблиця 1

Правила класифікації станів об'єктів

№ п/п	Співвідношення значень радіус-вектора та граничних значень	Характер ситуації
1	$0 \leq r_j < R_{ПП}$	Нормальний (Н)
2	$R_{ПП} \leq r_j < R_{РП}$	Початкова передкриза (ПП)
3	$R_{РП} \leq r_j < R_{КП}$	Передкриза, що розвивається (РП)
4	$R_{КП} \leq r_j < R_{НК}$	Критична передкриза (КП)
5	$R_{НК} \leq r_j < R_{ЗК}$	Нестабільна криза (НК)
6	$R_{ЗК} \leq r_j < R_{КК}$	Загрозна криза (ЗК)
7	$R_{КК} \leq r_j$	Критична криза (КК)

Запропоновану методику можна застосувати для визначення стану екологічної безпеки в регіонах України. Об'єктами дослідження можуть виступити області України, показниками, що розглядаються під час оцінки ситуації, можуть виступити обсяги рідких стоків, твердих відходів та викидів в атмосферу, площа земель лісового фонду у розрахунку на один га, кількість випадків аварійних забруднень та надзвичайних екологічних ситуацій, кількість населення, кількість підприємств з небезпечним виробництвом тощо.

Висновок. Побудовані за допомогою запропонованої методики зони кризисності дають змогу визначити стан екологічної безпеки об'єкта в порівнянні з іншими подібними об'єктами, що уможливорює оптимізацію планування першочергових природоохоронних заходів. Запропонована методика має універсальний характер і може бути застосовані для аналізу не тільки між різними видами техногенних об'єктів. Враховуючи зазначену особливість даної методики можна запропонувати її для внесення в базу моделі інформаційної системи екологічного моніторингу.

Література

1. Боков В. А., Луцник А. В. *Основы экологической безопасности* / В. А. Боков, А. В. Луцник. – Симферополь: Сонат, 1998.
2. Клименко О. О., Люльчик В. О. *Встановлення індикатора якісного стану атмосфери для розробки стратегії сталого екологічного розвитку Рівненської області* / О. О. Клименко, В. О. Люльчик // *Вісник НУВГП*. — Вип.2 (38) — Рівне, 2007.
3. Хотунцев Ю. Л. *Экология и экологическая безопасность* / Ю. Л. Хотунцев. – М.: Академия, Юнити-Дана, 2003. – 751 с.
4. Іванюта С. П. *Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків: монографія* / С. П. Іванюта, А. Б. Качинський. – К.: НІСД, 2012. – 308 с
5. Гайдышев И. П. *Анализ и обработка данных: специальный справочник* / И. П. Гайдышев. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.

References:

1. Bokov V. A., Lushchik A. V. *Osnovy ekologicheskoy bezopasnosti* / V. A. Bokov, A. V Lushchik. – Simferopol: Sonat, 1998.
2. Klymenko O. O., Liulchik V. O. *Vstanovlennia indykatora yakisnoho stanu atmosfery dlia rozrobky stratehii staloho ekolohichnoho rozvytku Rivnenskoï oblasti* / O. O. Klymenko, V. O. Liulchik // *Visnyk NUVHP*. — Vyp.2 (38) — Rivne, 2007.
3. Khotuntsev Yu. L. *Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost* / Yu. L. Khotuntsev. – M.: Akademiya, Yuniti-Dana, 2003. – 751 s.
4. Ivaniuta S. P. *Ekolohichna ta pryrodno-tekhnohenna bezpeka Ukrainy: rehionalnyi vymir zahroz i ryzykiv: monohrafiia* / S. P. Ivaniuta, A. B. Kachynskiy. – K.: NISD, 2012. – 308 s.

5. Gaydyshev I. P. *Analiz i obrabotka dannykh: spetsialnyy spravochnik / I. P. Gaydyshev. – SPb.: Piter, 2001. – 752 s.*