

МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ КАТАСТРОФ

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського

Анотація

Представлено підхід до дослідження екологічних катастроф на основі елементів теорії катастроф. Представлено метод моделювання якісного опису динаміки процесу шляхом застосування ряду Тейлора та оцінки критичних точок функції поведінки системи.

Ключові слова: екологічна катастрофа, екосистеми, теорія катастроф, ідентифікація стану, метод інваріантного занурення.

Abstract

An approach to the study of environmental disasters based on the elements of catastrophe theory is presented. A method of modeling a qualitative description of the dynamics of the process by applying the Taylor series and evaluating the critical points of the system's behavior function is presented.

Keywords: ecological catastrophe, ecosystems, catastrophe theory, state identification, invariant immersion method.

Вступ

Екологічні катастрофи характеризуються складними нелінійними залежностями від параметрів функцій, які їх описують. Такі залежності можна виразити в термінах теорії катастроф, яка дає змогу моделювати екологічні катастрофи та прогнозувати їхні ймовірні наслідки та способи їх мінімізації.

Метою роботи є аналіз передумов виникнення екологічних катастроф та наукове обґрунтування методології дослідження екологічних катастроф з використанням елементів теорії катастроф.

Результати дослідження

Екологічні небезпеки характеризуються складними нелінійними залежностями від параметрів функцій, що їх описують [1-2]. З іншого боку, ці залежності можна виразити за допомогою теорії катастроф, яка дає змогу моделювати будь-яку екологічну катастрофу та прогнозувати її ймовірні наслідки та шляхи, спрямовані на їхню мінімізацію.

Предметом теорії катастроф є вивчення залежності якісної природи рішень рівнянь від значень параметрів, які присутні у цих рівняннях. Якісний опис поведінки складної функції поблизу певної точки простору змінних стану може бути реалізований шляхом вивчення перших декількох членів її розкладання у ряд Тейлора у цій точці:

$$f(x) = f(0) + x_1 f^1(0) + \left(\prod_{i=1}^2 x_i f^2(0) + \dots \right), \quad (1)$$

де

$$f^1(0) = \frac{\delta[f(x)]}{\delta x_1} \Big|_{x=0}; \quad (2)$$

$$f^2(0) = 0,5 \frac{\delta^2[f(x)]}{\delta x_1 \delta x_2} \Big|_{x=0}; \quad (3)$$

$$f^{(h)}(0) = \frac{1}{n} \frac{\delta^h [f(x)]}{\delta x_1 \delta x_2 \dots \delta x_n} \Big|_{x=0}, \quad (4)$$

де f – функція моделювання поведінки процесу, x – змінні (параметри процесу), δ – значення матриці Гесе для змінної, n – кількість членів розкладання ряду.

Однак, появлення збурення або «дефекту» може призвести до того, що ті чинники, які раніше не враховувалися, оскільки за «нормальних» обставин їхній вплив не виявлявся, обумовляють різку зміну в поведінці об'єкту (процесу) у певній області простору керуючих (збурюючі) впливів. Ці зміни і отримали назву катастроф, а особливості – критичних точок (КТ). Останні можуть бути двох типів: точки, в яких градієнт потенційної функції, яка описує стан системи (об'єкту), дорівнює нулю ($\nabla f = 0$), звуться неізолюваними, виродженими або неморсовськими КТ; точки, в яких $\nabla f \neq 0$, звуться ізолюваними, не виродженими або морсовськими КТ. Якщо розмірність керованого простору, який включає одну «погану» змінну та m параметрів, невелика ($k = 1+m \leq 5$) і не має особливих або симетричних обмежень на сімейство потенційних функцій, які описують стан системи (об'єкту), то можлива гладка заміна змінних, у якій потенційна функція V може бути представлена у розщепленому на неморсовську та морсовську складові вигляді:

$$V = cat(1, m) + \sum_{j=1+l}^n \lambda_j(c) y_j^2 \quad (5)$$

Тут $cat(1, m) = CG(1) + pert(1, m)$ – функція катастрофи, причому $CG(1)$ являє собою «паросток катастрофи» - неморсівську функцію 1 «поганої» змінної стану, де 1 – число вироджених власних значень, що характеризує члени ряду Тейлора, які залишилися і саме й визначають особливість; $pert(1, M)$ – збурення катастрофи; n – загальна кількість змінних стану системи y ; c – керуючі параметри; $\lambda_j(c)$ – власні значення матриці сталості V_{ij} , обчислені для стану рівноваги.

Методологія застосування підходу, який використовує результати теорії катастроф для підбирання кривої, яка описує (за даними фактичних вимірювань) стан системи (об'єкта) поблизу розривних функцій, полягає у наступному. На підставі експериментально отриманих даних визначаються параметри того гладкого перетворення координат, яке переводить залежність, що фактично спостерігається поблизу точки розриву $f(x_1, \dots, x_n)$, у стандартну («елементарну») катастрофу $f^*(x^1, \dots, x^n)$.

Значення конкретного типу катастрофи або його вибір з ряду альтернативних типів за принципом найбільшої правдоподібності (або за якимось іншими критеріями) дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах неповних даних, коли частка даних, яких бракує, може бути відновлена на підставі поліному, який описує катастрофу, а «сумнівні» дані можуть бути або підтвержені як достовірні, якщо вони узгоджуються з описом катастрофи, або відхилені у протилежному випадку [4-6].

При розгляданні особливостей катастроф, а точніше, під час вирішення проблеми ідентифікації особливості (катастрофи) і використання результатів цієї ідентифікації для пояснення «хаотичних» явищ і побудови адекватних моделей приходиться врешті-решт зустрічатися з рішенням нелінійних задач з граничними умовами, які задаються у двох різних точках (поблизу катастрофи, де з одного боку межі функція описується за допомогою обраної моделі, а з іншого боку – за допомогою функції катастрофи). Такі задачі можна у деяких випадках вирішувати за допомогою методу інваріантного занурення, який являє собою методику перетворення цих двохточкових крайових задач, обчислювальні алгоритми для яких часто виявляються нестійкими, у задачі Коші, для яких існують стійкі числові методи, за допомогою відповідного набору змінних і методу функціональних рівнянь. Слід, однак, зауважити, що для методу інваріантного занурення суттєвою є вимога лінійності рівнянь, які описують стан об'єкта (системи). У разі нелінійних рівнянь (а на практиці саме з ними приходиться мати справу) більш плідним може бути інший підхід. Якщо, наприклад, розглядати певний фізичний процес, відносно якого відомо, що змінна, яка нас цікавить, задовольняє рівнянню типу

$$u_{xx} + u_{yy} + g(u, a) = 0 \tag{6}$$

де a – невідомий параметр або вектор параметрів $a = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ і є можливість спостерігати цей процес і замірювати u у різних точках, то на підставі даних цих вимірювань можна визначити параметр a таким чином, щоб рішення наведеного вище рівняння (8) узгоджувалися з даними спостережень. Це класична задача ідентифікації. Її можна вирішувати, використовуючи критерій найменших квадратів. Знаючи значення u на межі області, що нас цікавить, і спостерігаючи процес u_i у точках x_i, y_i можна скласти рівняння, яке характеризує міру розходження між спостереженнями і рішенням (8) для даного вектору a :

$$S = \sum_{i=1}^L [u(x_i, y_i) - u_i]^2. \tag{7}$$

При цьому задача ідентифікації зводиться до задачі мінімізації S за усіма можливими виборами вектору a .

Висновки

Екологічні катастрофи характеризуються складними нелінійними залежностями функцій, що їх описують, від параметрів. Такі залежності можна представити у термінах теорії катастроф, що дозволяє моделювати екологічну катастрофу і передбачати можливі її наслідки та шляхи її мінімізації. Представлено метод моделювання якісного опису динаміки процесу шляхом застосування ряду Тейлора та оцінки критичних точок функції поведінки системи. Значення типу катастрофи або його вибір з ряду альтернативних типів дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах невизначеності, коли частка даних, яких бракує, може бути відновлена на підставі поліному, який описує катастрофу, а «сумнівні» дані підтверджуються як достовірні, якщо вони узгоджуються з описом катастрофи. При розгляданні особливостей катастроф та вирішенні проблеми ідентифікації особливості катастрофи для пояснення «хаотичних» явищ і побудови адекватних моделей запропоновано використовувати метод інваріантного занурення. Розроблений підхід дозволяє підвищити достовірність оцінок інформації в умовах неповних даних, які описують катастрофу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія систем в екології: підручник / Ю. Г. Масікевич, О. В. Шестопапов, А. А. Негадайло та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 330 с.
2. Лавров В. В. Системний підхід як методологічна основа для оцінки і зменшення загроз біорізноманіттю (лісові екосистеми). Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України / за заг. ред. О. В. Дудкіна. – Київ : Хімджест, 2003. – С. 156–273.
3. Єремєєв І.С., Дичко А.О., Мінаєва Ю.Ю. Застосування теорії катастроф при дослідженні наслідків підриву каховської гес та військових дій у криму. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського", серія "Технічні науки": зб. наук. праць. Видавничий дім «Гельветика». 2024 Том 35 (74) № 2 с. 91-98.
4. Dychko, A., Remez, N., Kyselov, V., Krachuk, S., Ostapchuk, N., & Kniazevych, A. Monitoring and biochemical treatment of wastewater. Journal of Ecological Engineering. 2020. 21. P. 4.
5. Dychko A., Yeremeev I. Risks analisys and management of water ecosystems. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. №. 4. С. 115-121.

6. Yeremeyev, I., Dychko, A., Remez, N., Kraychuk, S., & Ostapchuk, N. Problems of sustainable development of ecosystems. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 628. № 1. P. 012014.

Дичко Аліна Олегівна— доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерних систем та технологій Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського

Мінаєва Юлія Юрївна — старший викладач кафедри інженерних систем та технологій Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського

Омецинська Наталія Вячеславівна— кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерних систем та технологій Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського

Dychko A.O.— doctor of technical sciences, professor, professor of the department of engineering systems and technologies of V.I. Vernadsky Taurida National University

Minaieva Y.Y.— senior lecturer of the department of engineering systems and technologies of V. I. Vernadskyi Taurida National University

Ometsynska N.N.— candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of engineering systems and technologies of V. I. Vernadsky Taurida National University