

Волошин В. С., д-р техн. наук, проф.;

Данилова Т. Г., канд. техн. наук, доц.

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, Україна

АЛЬТЕРНАТИВНІ МОДЕЛІ ПОДІЄВИХ РИЗИКІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Час, події, ентропія екосистеми, її екологічні ризики, всі ці показники взаємозалежні, і мають свої смислові позиції щодо предмета даної роботи - значення поняття екологічного ризику [1]. У спрощеному варіанті зростання ентропії ΔS системи є кількісною мірою невпорядкованості, яка визначається числом допустимих подій (C), пов'язаних з системою, як $\Delta S \cong k \ln C$. Ентропія системи тим більше, чим більше можливих варіантів її станів, що передбачаються з майбутнього, і пов'язаних з ними подій з числа тих, що визначають ці стани в передньому сьогоднішні. Це означає, що на майбутній час існує ряд невизначених станів подій $C_B \gg 1$, а на даний час існує тільки один, чітко визначений стан певної ризикоутворюючої події $C_H = 1$, що має місце саме в даний момент. Динамічний перехід від ще невизначеного $C_B \gg 1$ до повністю визначеного $C_H = 1$ здійснюється в нескінченно малому часовому інтервалі $\delta\tau \rightarrow 0$, що передує теперішньому і який описаний в роботі [1]. Отже, завжди виконується умова $\Delta S_B \gg \Delta S_H$ (рис. 1).

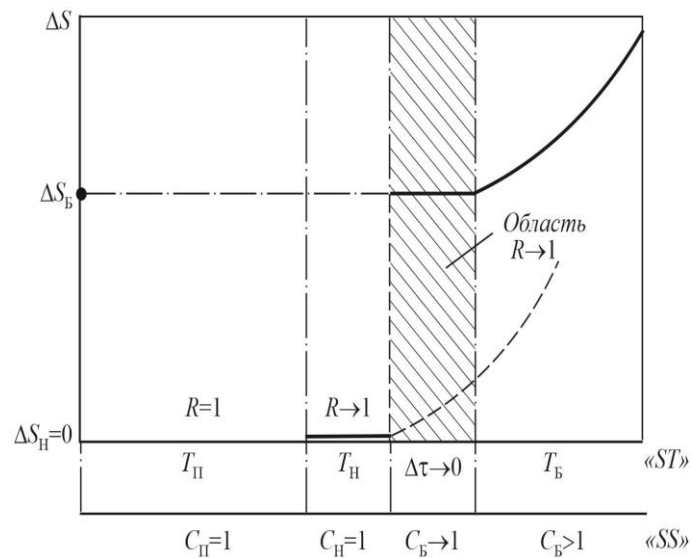


Рисунок 1 – Передбачувана ентропія ризику у співвідношенні часового «ST»

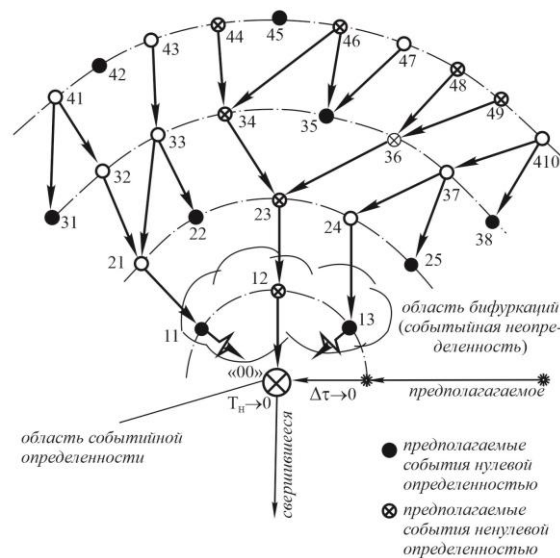


Рисунок 2 – Орієнтований граф відображень передбачуваних подій та їх та подійового «SS» вимірювання. Причинно-наслідкові зв'язки.

А ризик отримання від майбутнього чітко визначеної події при переході від невизначеності ризику до чітко визначеної ризикуутворюючої події сьогодення завжди відповідає запису $R \cong (\Delta S_B - \Delta S_H) / \Delta S_B \rightarrow 1$.

Для певної екосистеми, що знаходиться в стані слабкої нерівноважності в нескінченно малому інтервалі часу $\delta\tau$, термодинамічний потік J_j , що характеризує швидкість тієї чи іншої події j , залежить від термодинамічних сил F_j , які характеризують потенціал цієї події і визначають послідовність і функціонування інших подій або

процесів, що взаємодіють з подією j . Функція дисипації (розсіювання) для такої події пов'язана з цим параметром феноменологічною залежністю Л. Онзагера $\sigma = \sum_{j=1}^n B_j J_j F_j$ для слабо нерівноважних систем [2]. У нашому випадку ця функція виконує, крім усього іншого, роль функції обміну ентропією між взаємопов'язаними і послідовно упорядкованими або неупорядкованими подіями в часі в нескінченно малому інтервалі часу $\delta\tau$ [1].

За Л. Бріллюеном, ступінь упорядкованості Y визначається різницею між максимальним $\Delta_e S_{max}$ і поточним $\Delta_e S$ значеннями зміни ентропії в обміні енергіями між подіями і зовнішнім навколишнім середовищем. Ступінь неупорядкованості системи X , відповідно, визначається як різниця між поточним $\Delta_e S$ і мінімальним $\Delta_e S_{min}$ значеннями зміни ентропії такого обміну, такими, що

$$Y(\tau) = \Delta_e S_{max} - \Delta_e S(\tau); \quad (1)$$

$$X(\tau) = \Delta_e S(\tau) - \Delta_e S_{min} \quad (2)$$

Ступінь упорядкованості і неупорядкованості пов'язана з неоднозначними параметрами вихідної системи і, як правило, не може бути близько порівнянна. У цьому випадку запропоновано переходити до відносних показників для оцінки ступеня впорядкованості екосистеми, наприклад, корелюваних з показниками X і Y в часі, і віднесених до загального масштабу зміни ентропії $\Delta_e S_{max} - \Delta_e S_{min} = \Delta$. При цьому відносне значення для показників упорядкування і неупорядкованості при виконанні очевидної умови $K_Y + K_X = I$ буде таким

$$K_Y = \left(\frac{\Delta_e S_{max}}{\delta\tau} - \frac{\Delta_e S(\tau)}{\delta\tau} \right) / \frac{\Delta}{\delta\tau}. \quad (3)$$

$$K_X = \left(\frac{\Delta_e S(\tau)}{\delta\tau} - \frac{\Delta_e S_{min}}{\delta\tau} \right) / \frac{\Delta}{\delta\tau}. \quad (4)$$

Методика дослідження визначає 10 випадково вибраних, але впорядкованих і взаємопов'язаних подій для моніторингу та прогнозування найбільш ризикоутворюючих з них в абстрактній екосистемі, з періодичністю один раз на 5 днів

протягом 100 днів. Для кожного ланцюга подій обчислюється відносна величина локальної питомої зміни ентропії за заданий проміжок часу, визначається мінімаксний діапазон і обчислюється значення показників K_Y та K_X . Ланцюжки подій пов'язані між собою своїми причинно-наслідковими зв'язками в єдиній екосистемі, що робить їх впізнаваними, а розрахунок зміни ентропії для кожної з них цілком передбачуваним.

Така модель може бути легко представлена у вигляді послідовного орграфу (рис. 2), де вершини (qj) є відображенням деяких *передбачуваних* подій (j) або *здійсненої* події «00» на кожному q – рівні прогнозованого інтервалу часу в майбутньому, по відношенню до сьогоднішнього, а ребра графа - причинно-наслідкові зв'язки, які послідовно перетворюють одну j – ту причину в іншу, функціонально порівнянну з нею. Виділимо три складові:

- очікувані події (чотири рівні в часовому інтервалі майбутнього на рис. 2);
- інтервал подій між потенційними і реальними подіями ($\delta\tau \rightarrow 0$);
- область події що відбулася на цей час T_n .

Найнижчий, перший рівень подій показує нам саме біфуркацію, наприклад, у вигляді катастрофи збірки, коли в проміжку часу $\delta\tau$ залишаються тільки три ще невизначених варіанти подій: 11, 12, 13, і тільки одна з них, а саме 12-та подія, стає фактично здійсненою вже в момент $\delta\tau$ у теперішньому часі (див. рис. 2). Ланцюжок передбачуваних подій, що призвели до ризику що здійснився - «00», виглядає наступним чином: $00 \leftarrow \widetilde{(12)}^I \leftarrow \widetilde{(23)}^{II} \leftarrow \widetilde{(34)}^{III} \leftarrow \widetilde{(34 \rightarrow 36)}^{III} \leftarrow \widetilde{(44 \rightarrow 46 \rightarrow 48 \rightarrow 49)}^{IV}$.
Всі інші можливі події, в даному випадку, не привели до реального результату, події «00».

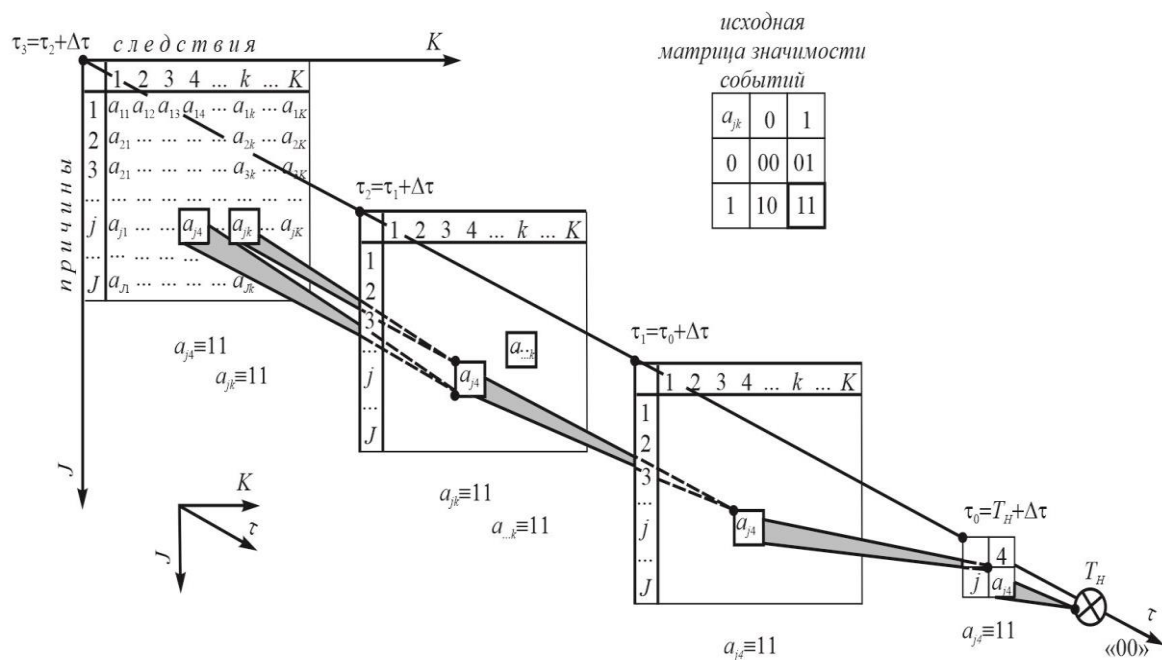


Рисунок 3 – Динамічні матриці причинно-наслідкових зв'язків для оцінки реальної ризикової події «00» в заданому часовому інтервалі.

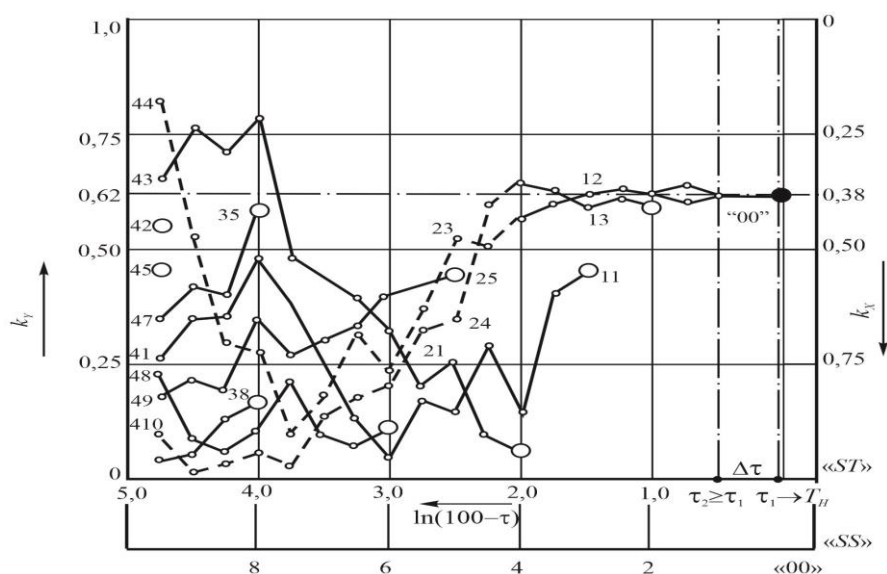


Рисунок 4 – Взаємодія та взаємозв'язки в динаміці змінних показників упорядкування ентропії шкалах «ST» та «SS» відповідно

Причинно-наслідкові взаємодії подієвих процесів легко простежити в кожному конкретному (i – ому) одномиттєвому матричному режимі (рис. 3) у вигляді елементів матриці a_{jk} , де: j – порядковий номер причини настання події, k – порядковий номер наслідку, що є підставою для події. Як впливає з таблиці (рис. 3), кожному причинно-наслідковому зв'язку може бути присвоєний певний маркер, що складається з нулів і

одиниць і відображає відповідність даної події певним умовам. Значення матриці для деякого значення $\tau_i = const$ повністю зберігається, тому що вона має часову складову, яка відокремлює вміст кожного i – го елемента матриці в своєму часовому інтервалі τ_i . В результаті така матриця дає уявлення про єдину подію, яка буде реальною з передбачуваного майбутнього через проміжок часу, наприклад $3\Delta\tau$. Протягом цього проміжку часу з усіх можливих $a_{j,k}$ – их подій ризикоутворююча подія $a_{j,4}$ буде реалізовано як таку, що реально відбулася.

Динаміка відносного значення зміни ентропії окремих подій (рис. 2) від хаотичного до впорядкованого стану простежується, зокрема, по наступних ланцюжках: $44 \rightarrow \dots \rightarrow 23 \rightarrow 12 \rightarrow "00"$. Вони призводять до однозначної події «00», що має властивості об'єктивного ризику. При цьому обране значення індексу впорядкованості дорівнює $K_Y = 0,62$. У цих же відносинах був ще один ланцюжок передбачуваних подій: $410 \rightarrow 24 \rightarrow 13$. Однак він, як і всі інші ланцюжки, що представлені на рис. 2 не призвели до формування реального ризикоутворення через явно нестабільне значення коефіцієнта K_Y . Загальний висновок полягає в тому, що ентропія як міра упорядкованості або невпорядкованості подієвої інформації може представляти варіант презумпціонізму в причинно-наслідкових відносинах між подіями, які передують виникненню реального екологічного ризику.

Висновок

Представлено альтернативний метод оцінки та прогнозування екологічних ризиків для того чи іншого явища. Ризик висвітлюється через послідовність подій, кожна зі своєю енергією та інформацією, які призводять до ризикових результатів. Оцінка таких ризикоутворюючих подій проводиться на основі міри розсіювання енергії або інформації, що є індивідуальними для кожного з прогнозованих подій, і робить їх відмінними серед інших.

Література

1. Волошин В. С. Ризик. Альтернативні методи аналізу. Київ. ФОП Семченко. 2024. - 490 с.
2. Entropy and Risk in Economic and Social Systems. *Springer*. №11(642). 2022. 251-270 p.