

**ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОВИМІРНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ТЕХНОГЕННОЇ СИТУАЦІЇ**

*В статті запропоновано критерії, що оцінюють можливість застосування імітаційного моделювання гіперкубу можливих станів техногенної ситуації для прогнозування її стану з урахуванням ступеня невизначеності інформації про її можливі стани.*

*Ключові слова – імітаційне моделювання, багатовимірне представлення даних.*

T.O. SAVCHUK, A.V. KOZACHUK  
Vinnytsia National Technical University

**DETERMINING THE FEASIBILITY OF USING A MULTIDIMENSIONAL APPROACH TO THE FORECASTING OF TECHNOLOGICAL SITUATION**

*Article describes criteria that estimates expediency of usage of simulation of the hypercube of states of technogenic situation depending on the level of uncertainty of the information about possible states of the technogenic situation.*

*Key words – simulation, multidimensional presentation of data.*

**Вступ**

Внаслідок технічного прогресу перед людством постають нові задачі щодо дій у техногенних ситуаціях. Для здійснення зазначених дій потрібно мати відповідну точку, якою є прогноз розвитку техногенної ситуації. Такий прогноз можна отримати великою кількістю способів в залежності від природи техногенної ситуації. Одним з можливих методів прогнозування стану техногенної ситуації є застосування багатовимірної підходу та методів імітаційного моделювання. Проте застосування цього методу має певні обмеження, які повинні бути чітко сформульовані.

**Постановка задачі**

Розглянемо задачу визначення доцільності використання багатовимірної підходу до прогнозування стану техногенної ситуації на основі формування критерію доцільності використання імітаційного моделювання гіперкубу станів техногенної ситуації, що представлена набором своїх характеристик, для прогнозування стану цієї техногенної ситуації в умовах часткової невизначеності можливих станів техногенної ситуації.

**Мета дослідження** – вибір оптимального методу прогнозування стану техногенної ситуації.

**Аналіз існуючих рішень**

Для розв'язання задачі визначення доцільності використання багатовимірної підходу до прогнозування стану техногенної ситуації зазвичай використовується експертна оцінка або інші емпіричні методи. Але зазвичай не є універсальними і не можуть бути застосованими до широкого кола техногенних ситуацій.

Визначення доцільності використання багатовимірної підходу до прогнозування стану техногенної ситуації

Використання методу імітаційного моделювання на основі застосування гіперкубу станів техногенної ситуації передбачає визначення стан усіх комірок гіперкубу в початковий момент прогнозування. У[1] описано підхід, що дозволяє отримати апроксимоване значення невизначених комірок гіперкубу, що описує техногенну ситуації, на основі найближчих до них визначених комірок. Але використання такого підходу не розв'язує проблему відсутності даних про можливі початкові стани техногенної ситуації, а лише надає технічну можливість виконувати імітаційне моделювання. В умовах коли відсутня інформація про початковий стан значної кількості комірок гіперкубу станів техногенної ситуації, апроксимовані значення цих комірок і, відповідно, результат імітаційного моделювання стану техногенної ситуації, що на них базується, можуть бути неточними. Тому доцільним є введення критерію, який показує можливість застосування методу імітаційного моделювання, що базується на застосуванні рівняння дифузії до гіперкубу станів техногенної ситуації, до прогнозування стану техногенної ситуації в залежності від кількості наявної інформації про можливі початкові значення характеристик техногенної ситуації.

Обсяг інформації про можливі початкові стани техногенної ситуації можна оцінити як співвідношення кількості комірок гіперкубу із невизначених значенням  $N_{ub}$  до загальної кількості комірок гіперкубу  $N$ , що може бути визначена за наступним співвідношенням:

$$N = \prod_{i=1}^{n-1} L_i$$

де  $n$  – кількість характеристик техногенної ситуації включаючи цільову характеристику, відповідно ( $n-1$ ) – кількість вимірів гіперкубу, що описує техногенну ситуацію,  $L_i$  – кількість кроків дискретизації  $i$ -тої характеристики техногенної ситуації. Позначивши за  $Q_b$  значення критерія доцільності використання багатовимірної підходу до прогнозування техногенної ситуації отримаємо:

$$Q_6 = \frac{N_{\text{из}}}{N} = \frac{N_{\text{из}}}{\prod_{i=1}^{n-1} L_i}$$

У випадку, коли є наявною інформація про діапазони значень характеристик техногенної ситуації, що будуть використані при прогнозуванні стану конкретних техногенних ситуацій, критерій  $Q_6$  можна модифікувати таким чином, щоб врахувати більший пріоритет комірок гіперкубу, що потрапляють у вищезгадані діапазони.

Введемо матрицю вагових коефіцієнтів  $W$ , що відображають імовірність застосування кожної з комірок гіперкуба як прогнозу стану техногенної ситуації. За допомогою матриці  $W$  можна обчислити значення зваженого критерія доцільності використання багатовимірного підходу до прогнозування техногенної ситуації  $Q_7$ , попередньо розрахувавши зважену кількість невизначених комірок  $N_{\text{из}}$ :

$$N_{\text{из}} = \sum_{k_1=1}^{L_1} \sum_{k_2=1}^{L_2} \dots \sum_{k_{n-1}=1}^{L_{n-1}} W_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} \alpha_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}$$

$$Q_7 = \frac{N_{\text{из}}}{N}$$

де  $W_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}$  – коефіцієнт, що показує імовірність використання комірки гіперкуба з індексами  $k_1, k_2, \dots, k_{n-1}$  у якості прогнозу стану техногенної ситуації,  $\alpha_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}$  – коефіцієнт, що показує чи є початкове значення відповідної комірки гіперкубу визначеним.

$$\alpha_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } v_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} \text{ є невизначеним,} \\ 1, & \text{якщо } v_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} \text{ є визначеним.} \end{cases}$$

У випадку коли відома кількість кроків  $P$  моделювання, що будуть виконані для прогнозування стану техногенної ситуації, можна доповнити вагові коефіцієнти з матриці  $W$  коефіцієнтом взаємовпливу значень комірок гіперкубу. Це можливо завдяки тому, що за один крок прогнозування на значення кожної комірки гіперкубу впливає один шар сусідніх комірок, отже за  $P$  кроків прогнозування на стан комірки гіперкубу з індексами  $[k_1, k_2, \dots, k_{n-1}]$  вплинуть значення стану комірок з індексами  $[k_1 \pm P, k_2 \pm P, \dots, k_{n-1} \pm P]$ . Початкове значення комірок гіперкубу, що віддалені на евклідову відстань, що перевищує  $P$  від заданої комірки не впливає на її стан. Таким чином, можна ввести новий ваговий коефіцієнт  $\beta$ , що залежить від коефіцієнту  $w$  та від значень сусідніх комірок.

$$\beta_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} = \frac{W_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}}{p^{n-1} Q_6} \sum_{i_1=k_1-P}^{k_1+P} \sum_{i_2=k_2-P}^{k_2+P} \dots \sum_{i_{n-1}=k_{n-1}-P}^{k_{n-1}+P} \alpha_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}}$$

де  $\frac{1}{p^{n-1} Q_6}$  – коефіцієнт, що компенсує вплив другого множника. Отриманий ваговий коефіцієнт використаємо для розрахунку зваженого критерія доцільності використання багатовимірного підходу до прогнозування техногенної ситуації з урахуванням кількості кроків моделювання  $Q_8$ :

$$N_{\text{из}} = \sum_{k_1=1}^{L_1} \sum_{k_2=1}^{L_2} \dots \sum_{k_{n-1}=1}^{L_{n-1}} \beta_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} \alpha_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}$$

$$Q_8 = \frac{N_{\text{из}}}{N}$$

де  $N_{\text{из}}$  – зважена кількість невизначених комірок із урахуванням кількості кроків прогнозування.

При обчисленні значення комірки гіперкубу, що описує стан техногенної ситуації, у кожній наступній ітерації евклідова відстань до комірок гіперкубу, які впливають на поточну комірку гіперкубу з індексами  $[k_1, k_2, \dots, k_{n-1}]$  збільшується на одиницю. Таким чином, комірки гіперкубу з евклідовою відстанню 1 будуть впливати на задану комірку  $P$  кроків, комірки гіперкубу з евклідовою відстанню  $(2 - P - 1)$  кроків, комірки з евклідовою відстанню  $(P - 1)$  крок. Відобразимо цю залежність у ваговому коефіцієнті  $\vartheta$ :

$$\vartheta_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} = B_P W_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} \times$$

$$\times \sum_{i_1=k_1-P}^{k_1+P} \frac{1}{\min(1, |i_1 - P|)} \sum_{i_2=k_2-P}^{k_2+P} \frac{1}{\min(1, |i_2 - P|)} \dots \sum_{i_{n-1}=k_{n-1}-P}^{k_{n-1}+P} \frac{\alpha_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}}}{\min(1, |i_{n-1} - P|)}$$

$$B_P = \frac{h}{p^{n-1} Q_6}, \quad (1)$$

де  $B_P$  – коефіцієнт, що компенсує правий множник, складова цього коефіцієнту  $h$  компенсує вираз  $\frac{1}{\min(1, |i_j - P|)}$ . Визначимо значення  $h$  розв'язавши рівняння, отримане із міркувань необхідності однакового впливу коефіцієнтів  $\vartheta$  та  $w$  на значення критерію  $Q_8$ :

$$h \sum_{i_1=k_1-P}^{k_1+P} \frac{1}{\min(1, |i_1 - P|)} \sum_{i_2=k_2-P}^{k_2+P} \frac{1}{\min(1, |i_2 - P|)} \dots \sum_{i_{n-1}=k_{n-1}-P}^{k_{n-1}+P} \frac{1}{\min(1, |i_{n-1} - P|)} = 1$$

значення під знаками сум не залежать від  $k_j$ , що дає можливість змістити діапазон значень  $i_j$

$$h \sum_{i_1=-P}^P \frac{1}{\min(1, |i_1 - P|)} \sum_{i_2=-P}^P \frac{1}{\min(1, |i_2 - P|)} \dots \sum_{i_{n-1}=-P}^P \frac{1}{\min(1, |i_{n-1} - P|)} = 1.$$

Множник під знаком кожної з сум має однакову структуру, що дозволяє замінити всі суми на одну:

$$h \left( \sum_{i=-P}^P \frac{1}{\min(1, |i - P|)} \right)^{n-1} = 1$$

$$h \left( \sum_{i=-P}^{-1} \frac{1}{\min(1, |i - P|)} + \frac{1}{P} + \sum_{i=1}^P \frac{1}{\min(1, |i - P|)} \right)^{n-1} = 1$$

Винесемо в окремі доданки випадки, коли функція  $\min$  набуває свого найменшого значення завдяки аргументу 1:

$$h \left( 1 + \sum_{i=-P+1}^{-1} \frac{1}{|i - P|} + \frac{1}{P} + \sum_{i=1}^{P-1} \frac{1}{|i - P|} + 1 \right)^{n-1} = 1$$

Перепишемо суми у вигляді рядів:

$$h \left( 2 + \left( 1 + \frac{1}{2} + \dots + \frac{1}{P-1} \right) + \frac{1}{P} + \left( \frac{1}{P-1} + \frac{1}{P-2} + \dots + 1 \right) \right)^{n-1} = 1$$

$$h \left( 2 + \frac{1}{P} + 2 \sum_{i=1}^{P-1} \frac{1}{i} \right)^{n-1} = 1$$

Вираз під знаком суми є сумою перших  $(P-1)$  членів гармонійного ряду  $H_{P-1}[2]$ , значення якого обчислюються таблично або, для великих значень  $P$  за формулою

$$H_{P-1} \approx \ln(P-1) + \gamma$$

де  $\gamma$  – стала Ейлера-Маскероні[3].

$$h \left( 2 + \frac{1}{P} + 2H_{P-1} \right)^{n-1} = 1$$

$$h = \frac{1}{\left( 2 + \frac{1}{P} + 2H_{P-1} \right)^{n-1}}$$

$$h = \frac{1}{\left( 2 + \frac{1}{P} + 2H_{P-1} \right)^{n-1}}. \tag{2}$$

Підставивши (2) в (1) отримаємо

$$B_P = \frac{1}{P^{n-1} Q_\delta \left( 2 + \frac{1}{P} + 2H_{P-1} \right)^{n-1}}$$

$$\vartheta_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} = \frac{W_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}}{P^{n-1} Q_\delta \left( 2 + \frac{1}{P} + 2H_{P-1} \right)^{n-1}} \times$$

$$\times \sum_{i_1=k_1-P}^{k_1+P} \frac{1}{\min(1, |i_1 - P|)} \sum_{i_2=k_2-P}^{k_2+P} \frac{1}{\min(1, |i_2 - P|)} \dots \sum_{i_{n-1}=k_{n-1}-P}^{k_{n-1}+P} \frac{a_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}}}{\min(1, |i_{n-1} - P|)}$$

Використаємо вагові коефіцієнти  $\vartheta$  для розрахунку зваженої кількості невизначених комірок  $N_{\text{ук}}$ :

$$N_{\text{ук}} = \sum_{k_1=1}^{L_1} \sum_{k_2=1}^{L_2} \dots \sum_{k_{n-1}=1}^{L_{n-1}} \vartheta_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}} a_{k_1, k_2, \dots, k_{n-1}}$$

$$Q_\Gamma = \frac{N_{\text{ук}}}{N}$$

Критерій доцільності використання багатовимірного підходу до прогнозування техногенної ситуації  $Q_\Gamma$  враховує такі чинники як імовірність використання кожної комірки гіперкубу в якості прогнозу стану техногенної ситуації, кількість кроків моделювання, що будуть виконані для прогнозування стану техногенної ситуації та взаємне розташування комірок гіперкубу із визначеним та невизначеним станом. Недоліком критерію є необхідність виконання складних обчислень для визначення значення  $Q_\Gamma$ .

Значення усіх запропонованих критеріїв доцільності використання багатовимірного підходу до прогнозування техногенної ситуації змінюються прямо пропорційно до обсягу наявної інформації про можливі стани техногенної ситуації в початковий момент моделювання. Вибір критерію відбувається в залежності від наявності знань про значення характеристик конкретних техногенних ситуацій, стан яких буде прогнозуватися та наявних обчислювальних потужностей. Для кожного з критеріїв експертним шляхом повинне бути встановлене граничне значення  $Q_{\text{min}}, Q \in \{Q_{\delta, \text{min}}, Q_{\gamma, \text{min}}, Q_{\kappa, \text{min}}, Q_{\Gamma, \text{min}}\}$ , при досягненні якого стає доцільним використання багатовимірного підходу в якості основного, або одного з додаткових методів прогнозування стану техногенної ситуації. В загальному випадку граничне значення зложитиме від таких

факторів як необхідна точність прогнозу стану техногенної ситуації, наявні обчислювальні ресурси та можливість застосування альтернативних методів прогнозування. Якщо значення одного з критеріїв  $Q_i \in \{Q_s, Q_p, Q_r, Q_T\}$  перевищує відповідне  $Q_{\min}$ , тоді застосування багатовимірного підходу до прогнозування техногенної ситуації є доцільним.

### Висновки

Таким чином, на основі сформованих критеріїв можна зробити висновок про доцільність застосування методу імітаційного моделювання гіперкубу станів техногенної ситуації, що представлена набором характеристик, для прогнозування стану цієї технічної ситуації в умовах часткової невизначеності. Якщо значення критерію менше за порогове значення, встановлене експертом, результати прогнозування стану техногенної ситуації можуть виявитися неточними. В такому випадку варто розглянути альтернативні методи, такі як застосування дерев прийняття рішень, нейронних мереж та статистичних методів прогнозування стану техногенної ситуації.

### Література

1. Савчук Т. О. Аналіз методів прогнозування виникнення надзвичайних ситуацій на залізничному транспорті, що базуються на теорії штучного інтелекту. / Т. О. Савчук, А. В. Козачук // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 12-ї Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2010 – м. Київ, 25-29 травня 2010р. / ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ» – С. 309
2. Р. Грэхэм. Конкретная математика. Математические основы информатики// Р. Грэхэм, Д. Кнут, О. Паташник — Киев.: Вильямс;, 2010 г. — 781 с.
3. Г.М. Фихтенгольц, Курс дифференциального и интегрального исчисления, II, Физматлит, М., 2001.
4. Юхимчук С. В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті / С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман // Універсум – Вінниця 2008, 144 с.
5. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности./ С. Айвазян, В. Бухштабер, И. Енюков, Л. Мешалкин. // Финансы и статистика. – Москва. – 1989 г. – 608 с.

### References

1. Savchuk T. O. Analysis of methods of forecasting of emergency situations on the railway transport that are based on the artificial intelligence theory. / T. O. Savchuk, A. V. Kozachuk // System Analysis and Information Technologies: Proceedings of the 12th International Scientific Conference SAIT 2010 - Kyiv, 25-29 May 2010. / ESC "IASA" NTU "KPI" - P. 309
2. R. Graham. Concrete Mathematics: A Foundation for Computer Science // R. Graham, D. Knuth, O. Patashnik - Kiev.: Williams;, 2010 - 781 p.
3. GM Fikhtengol'ts, Course of differential and integral calculus, II, Fizmatlit, Moscow, 2001.
4. Yukhymchuk S. V. Models of automation of making recommendations to the head extinguishing a fire in railway transport / S. V. Yukhymchuk, M. D. Katzman // Universe - Vinnytsia, 2008, 144 p.
5. Aivazyan S. A. Applied Statistics. Classification and reduction of dimension. / S. Aivazyan, V. M. Buchstaber, I.M. Eniukov, L. Meshalkin. // Finance and Statistics. - Moscow. - 1989 - 608.

Рецензія/Peer review : 27.5.2014 р.

Надрукована/Printed :25.6.2014 р.

УДК 62-427.4

К.Л. ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

## ПРОВІДНИКОВА ЛІНІЯ ПЕРЕДАЧІ ЯК СИСТЕМА

*Показано представлення провідникової лінії передачі у вигляді системи, що складається з окремих елементів. Взаємодія цих елементів обумовлює поведінку системи - її характеристики. А також, визначає реакцію на зовнішній вплив із врахуванням її внутрішнього стану.*

*Ключові слова: система, елемент системи, узагальнений кабель.*

K.L. HORIASCHENKO

Khmelnitsky National University

## CONDUCTOR TRANSMISSION LINES AS A SYSTEM

*It is shown representation of conductor transmission line as a system consisting of individual elements. The interaction of these elements determines the behaviour of the system - its characteristics. Also, determine the response to external influence with regard to its internal state.*

*Keywords: system, system elements, generic cable.*

### Вступ

Провідникові кабелі, що використовуються у народному господарстві для виконання різноманітних задач залишаються незамінним інструментом, який часто не має альтернативи у застосуванні. Постійно