

ваних ресурсів між проектами, що функціонують в мультипроектному середовищі в умовах конкуренції.

1. ДСТУ ISO 9000-2001. 2. Управление проектами. Справочник для профессионалов / под ред. И. И. Мазура и В. Д. Шапиро, 2001. 3. Управління ризиками в проектній діяльності / О. М. Верес, А. В. Катренко, І. В. Рішняк, В. М. Чаплига // Інформаційні системи та мережі. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2003. – № 489. – С.38–49. 4. Родина Л.А. Имитационное моделирование в контексте управленческого прогнозирования // Вестник Финансовой академии. – Вып. 1(29), 2004, [http://www.vestnik.fa.ru/1\(29\)2004/8.html](http://www.vestnik.fa.ru/1(29)2004/8.html) 5. Бланк И.А. Основы финансового менеджмента. В 2 т. Т.2 – К.: Ника–Центр: Эльга, 1999. – 511 с. 6. Глуценко В.В. Управление рисками. Страхование. – Железнодорожный, Моск. обл.: Крылья, 999. – 334 с. 7. Катренко А.В. Методи управління ризиками в ІТ-проектах / А. В. Катренко, І. В. Рішняк // Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT-2008): III міжнародна наук.-практ. конф., 25–27 вересня 2008 р.: тези доповіді – Львів, 2008. – С.245–247. 8. Варджешиш А.Г., Глушенко В.В. Системы управления. – М.: Вузовская книга, 2000, 296 с. 9. Верес О.М., Рішняк І.В. Оцінка ризику проекту // Інформаційні управляючі системи та технології: міжнар. наук.-практ. конф.(ІУСТ – Одеса–2013), м. Одеса, 8–10 жовтня 2013 р. – С. 148–149. 10. Veres Oleh, Rishnyak Ihor. Assessment of project risks // Computer Science and Information Technologies (CSIT'2013): VIII International Scientific and Technical Conference, Lviv, 11–16 November 2013. – P. 90–91.

УДК 004.89+519.216.3+656.2

Т.О. Савчук, А.В. Козачук

Вінницький національний технічний університет

## ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ТЕХНОГЕННОЇ СИТУАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ, ЩО БАЗУЄТЬСЯ НА БАГАТОВИМІРНОМУ РІВНЯННІ ДИФУЗІЇ

© Савчук Т.О., Козачук А.В., 2014

**Описано застосування імітаційного моделювання, основане на багатовимірному рівнянні дифузії, для прогнозування розвитку стану техногенної ситуації. Розглянуто можливість збільшення стійкості описаного методу для техногенних ситуацій, що описуються чотирма або менше параметрами.**

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

**Article describes application of multidimensional diffusion-based simulation to forecasting of the state of technogenic situation. Ability to increase stability of the proposed solution for technogenic situations that can be described with four or less parameters is shown.**

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

### Вступ

У сучасному світі швидкість перебігу техногенних процесів стрімко зростає. Для забезпечення ефективної роботи техногенних систем важливо мати можливість швидко та точно оцінити їх поточний та потенційний майбутній стан та, у разі необхідності, змінити параметри здійснення техногенного процесу. Застосування імітаційного моделювання дозволяє здійснити таку оцінку стану техногенної системи.

### Постановка задачі

Розглянемо задачу прогнозування стану техногенної ситуації, представлену набором характеристик, більшість з яких можуть бути описані стаціонарними процесами, за допомогою багатовимірної структури даних, що описує можливі стани техногенної ситуації та їх зміну у часі.

Об'єктом дослідження є процеси прогнозування техногенної ситуації.  
Предмет дослідження – імітаційна модель прогнозування техногенної ситуації.

**Мета дослідження** – підвищення точності визначення стану техногенної ситуації за рахунок використання багатовимірної моделі техногенної ситуації.

### Аналіз існуючих рішень

Для розв'язання поставленої задачі можна використати статистичне прогнозування на основі часових рядів [1, 3]. Цей метод дає змогу швидко отримати прогноз розвитку стану техногенної ситуації за наявності достатньої кількості статистичних даних. Недоліком статистичного прогнозування є те, що воно прямо не враховує можливі коливання значень характеристик техногенної ситуації, які не є об'єктами прогнозування, але впливають на прогноз.

**Введення поняття багатовимірної структури даних, що містить опис множини можливих станів техногенної ситуації**

Представимо стан техногенної ситуації у вигляді нормалізованого вектора

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\},$$

де  $v_i$  – значення  $i$ -ї характеристики техногенної ситуації,  $\overline{i=1, n}$ , де  $n$  – кількість характеристик техногенної ситуації.

Нехай  $v_m$  – характеристика, значення якої потрібно прогнозувати  $\overline{m=1, n}$ .

Тоді  $V = \{v_m, B\}$ , де  $B$  – вектор, що містить решту  $(n-1)$  характеристик техногенної ситуації.

Подемо залежність значення цільової характеристики техногенної ситуації  $v_m$  у початковий момент часу від можливих значень інших характеристик техногенної ситуації вектора  $B$  у вигляді гіперкуба [4] – багатовимірної структури даних, що складається з  $(n-1)$  вимірів. Кожній характеристиці  $b_i$  вектора  $B$  відповідатиме один вимір гіперкуба.

Можливі значення кожної характеристики  $b_i$  вектора  $B$  дискретизуються на  $k_i$  значень, що визначає розмір відповідного виміру. Значення для кожного виміру  $k_i$  прямо пропорційне до обсягу інформації, що зберігається у гіперкубі, і визначає складність алгоритмів обробки цієї інформації, тому це значення повинно виважено підбиратися з урахуванням заданої точності та наявних обчислювальних ресурсів.

Приклад аналізу техногенної ситуації з двома характеристиками за допомогою гіперкуба зображено на рис. 1.

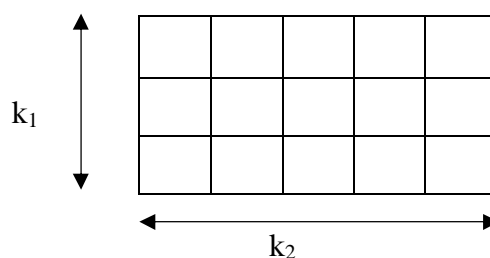


Рис. 1. Приклад аналізу техногенної ситуації за допомогою двовимірного гіперкуба, якщо  $k_1 = 3, k_2 = 5$

### Прогнозування зміни стану гіперкуба у часі за допомогою рівняння дифузії

Використаємо імітаційне моделювання для прогнозування стану техногенної ситуації, усі характеристики якої, крім цільової характеристики  $v_m$ , з часом залишаються постійними, але можуть відхилятися від середнього значення  $\overline{b_i}$ . Це означає, що стан вектора  $B$  може бути представлений стаціонарним процесом.

Для прогнозування стану гіперкуба використаємо припущення про те, що стан комірки гіперкуба  $q_{k_1, k_2, \mathbf{K}, k_{n-1}}$  у момент часу  $(t + \Delta t)$  можна визначити на основі значення стану цієї комірки у момент часу  $t$ , а також на основі значення сусідніх  $2(n-1)$  комірок з координатами

$$[k_1, k_2, \mathbf{K}, k_{i\pm 1}, \mathbf{K}, k_{n-1}],$$

де  $k_1, \mathbf{K}, k_{n-1}$  – виміри гіперкуба;  $\Delta t$  – крок часу для прогнозування.

Наявність таких даних уможливорює покрокове ітераційне прогнозування стану гіперкуба характеристик техногенної ситуації за допомогою рівняння дифузії.

Рівняння дифузії з постійним дифузним коефіцієнтом (або рівняння теплопередачі) дає змогу визначити прогнозований стан техногенної ситуації на основі її поточного стану та інших, подібних до поточного, можливих станів техногенної ситуації.

Одновимірне рівняння дифузії [5] має вигляд:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = a \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1)$$

де  $a$  – коефіцієнт провідності;  $t$  – час;  $y$  – значення цільової характеристики.

У багатовимірному випадку рівняння можна подати так:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = a \Delta y,$$

де  $\Delta$  – оператор Лапласа для відповідної кількості вимірів. Для тривимірного простору оператор має вигляд

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

Дискретний вигляд багатовимірному рівняння має вигляд

$$\Delta y = a \Delta t \sum \frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2},$$

де  $\Delta y$  – зміна значення цільової характеристики,

$$\frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} = \frac{1}{\Delta x^2} (y_{x+1} + y_{x-1} - 2y_x). \quad (2)$$

Позначимо  $c_i$  ступінь впливу значення  $v_i$  на значення  $v_m$  у наступний момент часу, причому сильній кореляції відповідатимуть додатні значення, ближчі до нуля, ніж відповідні значення для пар  $(v_{j,t}; v_{m,t+1})$  зі слабкою кореляцією значень.

Враховуючи, що загальна кількість вимірів, що використовується для розрахунку значення  $\Delta y$ , становить  $(n-1)$ , рівняння (2) можна подати у вигляді з розгорнутими індексами, замінивши  $\Delta x$  на конкретніше значення  $\Delta c_i$ :

$$\frac{\Delta^2 v_m}{\Delta c_i^2} = \frac{1}{\Delta c_i^2} (v_{k_1, k_2, \dots, i+1, \dots, k_{n-1}} + v_{k_1, k_2, \dots, i-1, \dots, k_{n-1}} - 2v_{k_1, k_2, \dots, i, \dots, k_{n-1}}),$$

де  $k_1, \dots, k_{n-1}$  – номери вимірів гіперкуба.

Для прогнозування значення цільової характеристики  $v_m$  можна використати таке співвідношення:

$$\Delta v_m = a \Delta t \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta^2 v_m}{\Delta c_i^2} \quad (3)$$

Отже, на основі даних гіперкуба характеристик техногенної ситуації для моменту часу  $t$  можна отримати значення цільової характеристики  $v_m$  для моменту часу  $(t+1)$  для усього вектора  $V$ , сформувавши, тим самим, новий гіперкуб характеристик техногенної ситуації. Повторивши описаний процес необхідну кількість разів, можна отримати прогноз розвитку стану техногенної ситуації на заданий проміжок часу.

Додавши до гіперкуба ще один вимір, що відповідає кількості ітерацій (часу) з початку моделювання, отримаємо багатовимірну структуру даних, яка відображає зміну характеристики  $v_i$  техногенної ситуації у часі для довільної комбінації характеристик техногенної ситуації з вектора  $V$ .

### Особливості подання даних про техногенну ситуацію за допомогою гіперкуба

Для прогнозування стану техногенної ситуації із застосуванням гіперкуба її характеристик з використанням рівняння дифузії необхідно ввести поняття відстані. Для прогнозування стану техногенної ситуації за допомогою рівняння дифузії треба визначити поняття відстані в контексті гіперкуба. Під відстанню  $c_i$  будемо розуміти додатне число, яке являє собою ступінь впливу  $v_i$  на значення  $v_m$  для наступного моменту часу. Якщо значення  $v_{i,t}$  сильно впливає на  $v_{m,t+1}$ ,  $c_i$  буде прямувати до 0, якщо  $v_{i,t}$  не впливає на  $v_{m,t+1}$ , значення  $c_i$  прямуватиме до нескінченності. Значення  $c_i$  для конкретної предметної області визначає експерт.

Рівняння (2) передбачає розрахунок зміни значення комірки гіперкуба на основі значень самої комірки, а також двох сусідніх комірок. Постає проблема розрахунку прогнозу для зовнішнього шару гіперкуба – комірок, які не мають сусідів принаймні за одним з вимірів. Розглянемо два способи вирішення цієї проблеми.

У випадку замкненої системи, всі характеристики якої описуються вектором  $V$ , для зовнішнього шару комірок припускаємо, що значення відсутньої сусідньої комірки збігається зі значенням поточної комірки  $y_{x+l}=y_x$ . Якщо підставити ці значення у рівняння (2), отримуємо

$$\frac{\Delta^2 y}{\Delta x^2} = \frac{1}{\Delta x^2} (y_{x-1} - y_x).$$

Якщо система зазнає зовнішніх впливів, значення зовнішнього шару комірок можуть бути використані для передавання таких впливів на систему. У найпростішому випадку для зовнішнього шару комірок застосовують зафіксовані значення, що не змінюються в часі й не залежать від значень сусідніх комірок.

### Оптимізація точності прогнозу розвитку техногенної ситуації, що описується трьома параметрами

Прямий розв'язок системи рівнянь (3) є нестійким і з часом призводить до накопичення завад, що значно зменшує точність прогнозу [6]. Для досягнення задовільної точності потрібно зменшувати часовий крок моделювання, що призводить до значного збільшення часу моделювання (до кількох десятків годин).

Якщо кількість вимірів гіперкуба, що використовуються для прогнозування  $n$ , не перевищує чотирьох, цей недолік можна виправити використанням неявного методу Дугласа–Ганна для розв'язання тривимірних систем диференціальних рівнянь числовими методами. Відповідно до цього методу, виконання кожної ітерації розбивається на три послідовних кроки [2]. Позначимо  $x$ ,  $y$  та  $z$  координати трьох вимірів гіперкуба, що використовуються для прогнозування.

Значення кожної комірки гіперкуба визначається співвідношеннями

$$v^* - v^t = \frac{r_x}{2} d_x^2 (v^* + v^t) + r_y d_y^2 v^t + r_z d_z^2 v^t; \quad (4)$$

$$v^{**} - v^t = \frac{r_x}{2} d_x^2 (v^* + v^t) + \frac{r_y}{2} d_y^2 (v^{**} + v^t) + r_z d_z^2 v^t; \quad (5)$$

$$v^{t+\Delta t} - v^t = \frac{r_x}{2} d_x^2 (v^* + v^t) + \frac{r_y}{2} d_y^2 (v^{**} + v^t) + \frac{r_z}{2} d_z^2 (v^{t+\Delta t} + v^t); \quad (6)$$

де  $r_x = \frac{a^* \Delta t}{\Delta x^2}$ ,  $r_y = \frac{a^* \Delta t}{\Delta y^2}$ ,  $r_z = \frac{a^* \Delta t}{\Delta z^2}$ ,  $d_i^2 v_i^t = v_{i-1}^t - 2v_i^t + v_{i+1}^t$ ,

Розподіл на кроки дозволяє використовувати для розв'язання системи метод проганяння, складність якого становить  $O(n)$  [15], замість методу Гаусса зі складністю  $O(n^2)$ .

Подамо рівняння (4) у вигляді  $av_{x-1}^* + bv_x^* + cv_{x+1}^* = d$ :

$$a = \frac{-r_x}{2}; b = 1 + r_x;$$

$$c = \frac{-r_x}{2}; d = v_x^t + \frac{r_x}{2}d_x^2v^t + r_yd_y^2v^t + r_zd_z^2v^t.$$

Для рівняння (5):

$$a = \frac{-r_y}{2}; b = 1 + r_y;$$

$$c = \frac{-r_y}{2}; d = v_y^t + \frac{r_x}{2}d_x^2(v^* + v^t) + \frac{r_y}{2}d_y^2v^t + r_zd_z^2v^t.$$

Для рівняння (6):

$$a = \frac{-r_z}{2}; b = 1 + r_z;$$

$$c = \frac{-r_z}{2}; d = v_z^t + \frac{r_x}{2}d_x^2(v^* + v^t) + \frac{r_y}{2}d_y^2(v^{**} + v^t) + \frac{r_z}{2}d_z^2v^t.$$

Отримана система рівнянь має вигляд, представлений на рис. 2.

$b_1$	$c_1$	0	0	0	0	...	$d_1$
$a_2$	$b_2$	$c_2$	0	0	0	...	$d_2$
0	$a_3$	$b_2$	$c_3$	0	0	...	$d_3$
0	0	$a_4$	$b_4$	$c_4$	0	...	$d_4$
0	0	0	$a_5$	$b_5$	$c_5$	...	$d_5$
...	...	...	...	...	...	...	...
...	0	0	0	0	$a_m$	$b_m$	$d_m$

Рис. 2 Загальний вигляд отриманої системи рівнянь моделювання стану техногенної ситуації

Розв'яжемо систему лінійних рівнянь, подану на рис. 2, методом проганяння: на прямому ході позбавимося від коефіцієнтів  $a_i$ :

$$a_i^* = 0, b_{ii}^* = b_i - \frac{a_i c_{i-1}^*}{b_{i-1}^*}, c_i^* = c_i, d_i^* = d_i - \frac{d_{i-1}^* a_i}{b_{i-1}^*}.$$

На зворотному ході знайдемо значення  $v_i$ :

$$v_m = \frac{d_m^*}{b_m^*}, v_{i-1} = \frac{d_{i-1}^*}{b_{i-1}^*} - \frac{c_{i-1}^*}{b_{i-1}^*} v_i.$$

Спочатку знаходимо всі значення  $v^*$ , потім  $v^{**}$  і  $v^{n+1}$ .

Отже, застосовуючи метод проганяння, можна зменшити складність моделювання для техногенних ситуацій з  $(n < 4)$ , де  $n$  – кількість характеристик техногенної ситуації, за рахунок введення нульових коефіцієнтів для більшої частини невідомих у системі рівнянь, що описують стан гіперкуба характеристик техногенної ситуації.

### Висновки

Запропонований підхід до прогнозування стану техногенної ситуації ґрунтується на моделюванні її розвитку за допомогою дискретної форми багатовимірного рівняння дифузії. Моделювання розвитку стану техногенної ситуації відбувається на основі послідовного обчислення можливих станів техногенної ситуації, що зберігаються у багатовимірній структурі даних – гіперкубі характеристик техногенної ситуації. Лише прогнозована характеристика техногенної ситуації є нестационарною, а решта характеристик розглядаються як такі, що можна описати

стаціонарним процесом. Це дає змогу виконати попередні розрахунки можливих станів техногенної ситуації, що значно зменшить трудомісткість прогнозування її стану за рахунок виконання основної частини ресурсоемних обчислень до запиту на прогнозування.

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: мат. 12-ї Міжнар. наук.-техн. конф. SAIT 2010 – м. Київ, 25–29 травня 2010 р. / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ” – С. 309. 2. Юхимчук С. В. Моделі автоматизації вироблення рекомендацій керівнику гасіння пожежі на залізничному транспорті / С. В. Юхимчук, М. Д. Кацман. – Вінниця: Універсум, 2008. – 144 с. 3. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / С. Айвазян, В. Бухштабер, И. Енюков, Л. Мешалкин // Финансы и статистика. – М., 1989. – 608 с. 4. Барсегян А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, – 2004. – 49 с. 5. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с. 6. Савчук Т. О. Результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни / Т. О. Савчук, А. В. Козачук // Вісник Хмельницького національного університету. Серія “Технічні науки” (м. Хмельницький). – 2011. – № 1. – С. 192–196.

УДК 004.942

Н.В. Чарковська<sup>1</sup>, О.С. Стрямець<sup>2</sup>, Р.А. Бунь<sup>1</sup>  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
<sup>1</sup>кафедра прикладної математики,  
<sup>2</sup>кафедра інформаційних систем та мереж

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЕМІСІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ВІД ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВОЇ ТА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТЕЙ ПОЛЬЩІ

© Чарковська Н.В., Стрямець О.С., Бунь Р.А., 2014

Розроблено математичні моделі для просторового аналізу процесів емісії парникових газів від виробництва паперу та целюлози, харчових продуктів та напоїв. З використанням геоінформаційної технології отримано оцінки емісій парникових газів у Польщі як для заводів, так і на рівні елементарних ділянок 2´2 км.

Ключові слова: геоінформаційна технологія, математичне моделювання, емісія парникових газів, харчова промисловість, просторова інвентаризація, Польща.

The mathematical models for spatial analysis of GHG emission processes from pulp, paper, food products and beverages have been developed. Using geoinformation technology the estimates of GHG emissions in Poland at the level of production plants, as well as at the level of elementary areas 2 km ´ 2 km in size have been obtained.

Key words: geoinformation technology, mathematical modeling, greenhouse gas emission, food industry, spatial inventory, Poland.

### Вступ. Постановка завдання та його актуальність

Сьогодні глобальна зміна клімату – найгостріша проблема у сфері охорони довкілля – активно обговорюється в наукових колах. Поряд з природними процесами, вагому частку впливу на кліматичні зміни зумовлює антропогенний чинник. Про це свідчить стрімке зростання концентрації парникових газів у атмосфері нашої планети внаслідок ведення людиною господарської діяльності