УДК 51-77

ФРАКТАЛЬНА СЕГМЕНТАЦІЯ ЕКОНОМІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ ПІД ЧАС РОЗВ'ЯЗАННЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ЗАДАЧ

М.І. Погожих, М.С. Софронова

Запропоновано метод перетворення економічної бази даних для її математичного аналізу під час розв'язання економічних задач, зокрема управлінських. Метод полягає у представленні даних через багатовимірні об'єкти (n-паралелепіпеди), кожен з яких є набором елементарних n-паралелепіпедів (сегментів) однакових об'ємів. Сегмент одержано шляхом фракталізації деякого початкового n-паралелепіпеда, який відповідає множині (сукупності) початкових даних.

Ключові слова: *економічні дані, база даних, аналіз даних, управлінська задача, n-паралелепіпед, об'єм, фракталізація, сегмент.*

FRACTAL SEGMENTATION OF ECONOMIC DATABASE IN SOLVING MANAGEMENT PROBLEMS

M. Pohozhikh, M. Sofronova

At the present stage of business development, the role of management decisions is the highest. Management decision is both a process and a result of analysis of economic data, forecasting, optimization and selection of alternatives from many possible ways to achieve this goal. The process of making management decisions is the process of converting initial information (status information) into source information (management information). Data analysis is an urgent problem of today. The main purpose of the analysis is to obtain information useful for management decisions, a better understanding of business. From the rational presentation of data depends on their effective analysis, making the right management decision.

To ensure the correct application of data in multidimensional analysis, joint research, complex technologies of analytical processing, the data must be scaled, ie lead to a certain format and presentation, to make common. Then scalable data can be analyzed and processed by various methods.

Economic-mathematical (optimization) methods are quite common in data analysis and solving problems in the field of economics. To solve an economic problem, you need to build a mathematical model (provide the objective function and constraints), for an effective solution, you can use the methods of geometric design, in which the initial data are geometric objects.

The paper proposes a method of transforming an economic database for its further analysis in solving economic, in particular, management, problems. The method is based on fractal segmentation of data presented as multidimensional objects (n-parallelepipeds).

To achieve this goal, several tasks were solved: a) the transition from the economic problem to the corresponding mathematical one was performed; b) n-parallelepipeds are represented as a set of elementary p-parallelepipeds of equal volumes. Drawing a parallel with the economic problem, we can say that the fractal segmentation of the economic database; c) the following scheme of solving the mathematical problem is proposed: construction of a mathematical model and solution of a mathematical (corresponding to economic) problem (with objects – n-parallelepipeds) can be carried out by methods of geometric design and will provide the opportunity to obtain economic information to make the most rational management decision.

Numerous examples of using the proposed method of database conversion are given.

Keywords: *economic data, database, data analysis, management problem, n-parallelepiped, volume, fractalization, segment.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сучасному етапі розвитку бізнесу роль управлінського рішення найбільш важлива. Управлінське рішення – це водночас процес і результат аналізу економічних даних, прогнозування, оптимізації та вибору альтернативи з безлічі можливих способів досягнення поставленої мети. Прийняття управлінського рішення – це процес перетворення початкової інформації (інформації стану) у вихідну інформацію (інформацію управління). Аналіз даних – актуальна проблема сьогодення. Головна мета аналізу – отримати інформацію, корисну для прийняття управлінських рішень, кращого розуміння бізнесу. Від раціонального подання даних залежить їх ефективний аналіз, прийняття правильного управлінського рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо [1; 2], дані, які можуть бути використані для аналізу, бувають чотирьох типів: 1. Числові (вартість товару; 100 грн). 2. Інтервальні (частка ринку компанії; 5%). 3. Шкальні (рангові) (лояльність споживача; напій А подобається більше, ніж напій Б). 4. Номінальні (професія споживача; учений, військовий, лікар). Усі дані, які підходять під один із цих типів, можуть бути проаналізовані за допомогою формальних методів. Будь-який набір даних можна адекватно представити комбінацією перерахованих типів.

Інтервальні дані найчастіше порівнюють із числовою прямою. Вони бувають двох типів: безперервні й дискретні. Залежно від типу інтервальні дані обробляються за допомогою параметричних або непараметричних методів.

Шкальні (рангові) дані не так просто зіставити з числами. Число, яким позначено значення шкали, – річ умовна. По суті, можна взяти будь-яке число. Зате є відношення порядку і, більше того, подоба неперервності. Саме тому до шкальних даних застосовують багато з тих методів, які використовуються для обробки інтервальних неперервних даних. Однак до числових результатів обробки треба підходити з обережністю, завжди пам'ятати про умовність значень шкали. Найбільше труднощів виникає, якщо дані виміряні в різних шкалах. Часто різні шкали складно перевести одна в одну.

Номінальні дані (стать, колір), на відміну від шкальних, не можна впорядкувати. Звичайні числові методи для номінальних даних неможливо застосувати. Однак існують засоби їх числової обробки. Найпростіший – це рахунок, підрахунок кількості даних різного типу в загальному масиві даних. Ці кількості й похідні від них числа вже набагато легше піддаються обробці. Особливий випадок як номінальних, так і шкальних даних – бінарні дані, тобто такі, які найпростіше передати числами 0 і 1. Користь бінарних даних у тому, що в них можна перекодувати майже всі інші типи даних (хоча іноді при цьому буде втрачена частина інформації). Після цього до них можна застосовувати спеціальні методи аналізу, зокрама логістичну регресію або бінарні коефіцієнти подібності.

Для забезпечення коректного застосування даних у багатовимірному аналізі, спільних дослідженнях, складних технологіях аналітичної обробки дані потрібно масштабувати, тобто привести до певного формату і подання, зробити спільномірними. Тоді масштабовані дані можна аналізувати й обробляти різними методами, серед яких [1; 2]: логічні (порівняння, балансовий, евристичні тощо); детермінованого факторного аналізу (ланцюгової підстановки, абсолютних або відносних різниць, інтегральний тощо); стохастичного факторного аналізу (кореляційний аналіз, дисперсійний аналіз, багатовимірний математичний факторний аналіз тощо); оптимізаційні (лінійне та нелінійне програмування, теорія ігор, дослідження операцій тощо).

На сьогодні у багатьох працях як вітчизняних, так і зарубіжних учених розглянуто методи обробки й аналізу даних. Так, у роботі [3] описано метод кластерного аналізу, що включає набір різних алгоритмів класифікації. Для проведення кластерного аналізу, окрім збору даних, необхідно визначити дві речі: на скільки кластерів необхідно розділити дані та як визначити міру подібності даних. Перевага методу – працює з великою кількістю параметрів, недолік – у складних випадках виникає питання про вибір заходів подібності даних (найбільш уживаних із них близько десяти).

У праці [4] описано метод факторного аналізу, основна ідея якого полягає у тому, що за складними взаємозв’язками явно заданих ознак міститься відносно простіша структура, яка відображає найбільш істотні риси досліджуваного явища, а «зовнішні» ознаки є функціями прихованих загальних факторів, що визначають цю структуру. У разі наявності великої кількості параметрів (більше 100) має сенс згрупувати параметри й аналізувати вже не кожен параметр окремо, а групи параметрів як єдиний комплексний параметр (фактор). Перевага – дозволяє зменшувати (редукувати) кількість розглянутих параметрів і осмислено знаходити групи параметрів, кожна з яких буде одним самостійним параметром. Специфікою цього методу є те, що в разі об’єднання параметрів у фактори кожен фактор акумулює в собі загальні закономірності усіх параметрів, відкидаючи особливості кожного параметра окремо.

У дослідженні [5] автор розглянув нейронні мережі, які зараз є одним із популярних інструментів аналізу даних. Нейронні мережі можуть бути застосовані майже до будь-якої сфери діяльності, що приваблює багатьох дослідників. Перевага підходу – виділяють значущі фактори, які можуть бути згруповані. Недолік підходу – процеси навчання нейронної мережі й прийняття рішень абсолютно неконтрольовані. Інакше кажучи, на вході подаються дані, а на виході одержуємо результат. Що відбувається всередині нейронної мережі, зрозуміти неможливо, оскільки аналізуються тестові дані (відбувається навчання нейронної мережі), при цьому система намагається мінімізувати помилку, автоматично змінюючи внутрішні параметри (ваги).

У роботах [6; 7] розглянуто й інші методи обробки та аналізу даних: регресійний, кореляційний, дискримінантний тощо.

Економіко-математичні (оптимізаційні) методи [8] є достатньо поширеними під час аналізу даних і розв’язання задач у сфері економіки, а саме: раціональне використання сировини й матеріалів; оптимізація розкрою, виробничої програми підприємств; оптимальне розміщення і концентрація виробництва; складання оптимального плану перевезень, роботи транспорту; управління виробничими запасами тощо. Для розв’язання економічної задачі потрібно побудувати її математичну модель (надати цільову функцію та обмеження), для ефективного розв’язку можна скористатися методами геометричного проєктування [9], у яких початковими даними є геометричні об’єкти.

Мета статті – розробка методу перетворення багатовимірних даних економічної інформації для їх подальшого аналізу під час розв’язання економічних задач, зокрема управлінських. Метод полягає у представленні даних через багатовимірні об’єкти (n-паралелепіпеди), розбиті на сегменти – елементарні n-паралелепіпеди однакових об’ємів, знайдені з використанням фракталів.

Для досягнення мети потрібно вирішити декілька завдань:

а) виконати перехід від економічної задачі до відповідної математичної (дані – багатовимірні об’єкти (n-паралелепіпеди));

б) представити n-паралелепіпеди як сукупність елементарних n-паралелепіпедів однакових об’ємів (фрактальних сегментів);

в) надати подальшу схему розв’язання математичної задачі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ця стаття є логічним продовженням робіт [10; 11], де автори обґрунтовують можливість переходу від розгляду економічної задачі до математичної, а саме задачі геометричного проєктування.

Нехай задано набір даних (вимірних величин) $D=\{d_1, d_2, \ldots, d_m\}$. Кожне d_j описується n компонентами (вимірними величинами) d_{ji} так, що $d_j=d_{j1}+d_{j2}+\ldots+d_{jn}$, $d_{ji} \in N$, $j=1,2,\ldots,m$. Припустимо виконання таких умов:

– дані мають однакові вимірювання за відповідними компонентами або можуть бути масштабовані;

– не існує функціональної залежності між компонентами, тобто

$$\forall j = 1, 2, \ldots m \;\; \forall l, s \in \{1, 2, \ldots, n\}, l \neq s \;\; \exists \varphi(x) : d_{jl} = \varphi(d_{js}),$$

де $\varphi(x)$ – деяка функція. В іншому випадку можна зменшити кількість компонент до (n–r+1), де r – кількість залежних компонент.

Для аналізу економічної інформації представимо вимірні дані d_j, $j = 1, 2,\ldots, m,$ у вигляді багатовимірних об’єктів – n-вимірних прямокутних паралелепіпедів (n-паралелепіпедів) P_j з ребрами (одновимірними гранями), паралельними координатним осям [12]. Тобто

$$P_j = \{x_j = (x_{j1,} x_{j2}, .., x_{jn}) \in R^n : 0 \leq x_{ji} \leq b_{ji}, i = 1, 2, \ldots, n\},$$

де $b_{ji} = k_{ji} d_{ji}$, $k_{ji} \in R$, $b_{ji}, d_{ji} \in N$, $j = 1, 2,\ldots, m$, $i = 1, 2,\ldots, n$.

Тоді об’єм n-паралелепіпеда P_j становить:

$$V_j = \prod_{ї=1}^{n} k_{jї} d_{jї} = k_{j1} d_{j1} \cdot k_{j2} d_{j2} \cdot \ldots \cdot k_{jn} d_{jn}, j = 1, 2, \ldots, m.$$

Нехай $D_0=\{d_{01}, d_2, \ldots, d_m\}$ – множина (сукупність) початкових даних, де $d_{0i} = d_{1i} + d_{2i} + \ldots + d_{ni}$, $i = 1, 2,\ldots, n$.

Представимо D_0 у вигляді n-паралелепіпеда P_0:

$$P_0 = \{ x = (x_1, x_2, ..., x_n) \in R^n : 0 \le x_i \le b_{0i}, i = 1, 2, ..., n\},$$

де $b_{0i} = k_{0i} d_{0i}$, $k_{0i} \in R$, $b_{0i}, d_{0i} \in N$, з об'ємом $V_0 = \sum_{j=1}^{n} V_j$. Припустимо, що з якихось додаткових умов [10] коефіцієнти k_{0i} знайдені, i=1,2,…,n.

Для знаходження коефіцієнтів k_{ji} скористаємося фрактальним розбиттям n-паралелепіпеда P_0 [13; 14]. Кожне ребро n-паралелепіпеда P_0 ділиться на k однакових частин, у результаті чого він покривається решіткою, яка розбиває його на k^n однакових n-паралелепіпедів P_{1s} з об'ємами $V_{1s} = \frac{V_0}{k^n}, s = 1, 2, ..., k^n$. Продовжимо процес. На другій ітерації аналогічно розіб'ємо один з n-паралелепіпедів P_{1s} (кутовий, наприклад, що містить вершину $A_0(0, 0, ..., k_{0n} d_{0n})$ на k^n однакових n-паралелепіпедів P_{2s} з об'ємами $V_{2s} = \frac{V_{1s}}{k^n}, s = 1, 2, ..., k^n$. Аналогічно, на третій ітерації, розглядаючи n-паралелепіпеді з вершиною A_0, можна продовжити розбиття (рис. 1, власна розробка на основі теоретичного матеріалу).

Таким чином, одержимо набір n-паралелепіпедів:

$$P_{1s}, P_{2s}, \ldots, P_{ls}, \ldots$$

з об'ємами

$$V_{1s} = \frac{V_0}{k^n},\ V_{2s} = \frac{V_{1s}}{k^n} = \frac{V_0}{k^{2n}}, \ldots, V_{ls} = \frac{V_{(l-1)s}}{k^n} = \frac{V_0}{k^{ln}}, \ldots,$$

відповідно, $s = 1, 2, ..., k^n - 1$.

Процес фрактального розбиття зупиняється на f-й ітерації у разі виконання однієї з умов:

1. $V_{fs} = \text{НСД}(V_1, V_2, ..., V_m)$, де НСД – найбільший спільний дільник чисел $V_1, V_2, ..., V_m$.

2. $V_{fs} - V_{(f+1)s} < \varepsilon$, де ε – деяке задане, достатньо мале число, знайдене з теоретичних або практичних міркувань.

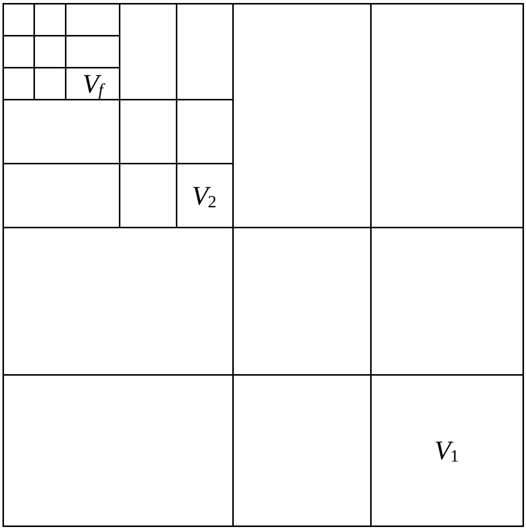

Рис. 1. Приклад знаходження елементарного n-паралелепіпеда об'єма V_f (n=2, k=3)

На останній ітерації одержимо елементарний n-паралелепіпед (сегмент) P_f з об'ємом $V_f = \dfrac{V_0}{k^{fn}}$ та з розмірами ребер $d_{fi} = \dfrac{k_{0i} d_{0i}}{k^f}, i = 1, 2, ..., n.$

Таким чином, початковий n-паралелепіпед P_0 представляємо у вигляді об'єднання елементарних n-паралелепіпедів (сегментів) P_f [15]. Об'єм кожного сегмента – V_f, а загальна кількість у P_0 становить $m_0 = V_0 / V_f = k^{fn}$.

Аналогічно, кожен n-паралелепіпед P_j можна розглядати, як сукупність сегментів кількістю $m_{jf} = V_j / V_f$, j=1,2,…,m. Тоді їх загальна кількість у P_0 становить $m_f = \sum_{j=1}^{m} m_{jf}$.

Розглянемо випадок, коли всі коефіцієнти k_{ji} мають однакове значення, тобто

$$k_{ji} = \tilde{k}, \; j = 1, 2, \ldots, m, i = 1, 2, \ldots, n.$$

Тоді розмір P_j, j=1,2,…,m, можна знайти за формулою $b_{ji} = \tilde{k} d_{ji}$, де

$$\tilde{k} = \sqrt[n]{\frac{V_j}{d_{j1}d_{j2}...d_{jn}}}.$$

Зауважимо, що метричні характеристики n-паралелепіпедів залежать від вибору значення k, зміна якого приведе до нової фрактальної сегментації. Причому щільному розбиттю n-паралелепіпеда P_j на елементарні n-паралелепіпеди P_f відповідає таке k, для якого виконуються такі умови:

$$\begin{aligned} &\left| m_f - m_0 \right| \to 0, \\ &K = \frac{V_j}{m_{jf} V_f} \to 1, \forall j = 1, 2, ..., m. \end{aligned} \quad (1)$$

де K – коефіцієнт заповнення n-паралелепіпеда P_j елементарними n-паралелепіпедами P_f .

Спектр економічних задач, до яких можна застосувати розроблений метод, достатньо широкий, наприклад: оптимізація ресурсів у задачах управління складною виробничою системою, логістичною системою тощо; у функціонально-вартісному аналізі, коли функціональність – це ресурс, вартість – об’єм n-паралелепіпеда тощо.

Для апробації розробленого алгоритму розглядалося дві задачі.

1. Задана теоретична база даних (за припущення, що всі дані – числові) із n компонентами, потужність якої – 24 (даних):

d[1]=74, d[2]=98, d[3]=122, d[4]=26,
d[5]=30, d[6]=34, d[7]=58, d[8]=60,
d[9]=36, d[10]=120, d[11]=74, d[12]=98,
d[13]=183, d[14]=39, d[15]=45, d[16]=51,
d[17]=87, d[18]=90, d[19]=54, d[20]=180,
d[21]=63, d[22]=42, d[23]=48, d[24]=60.

Зауважимо, що кожне $d[j] = d_{j1} + d_{j2} + \ldots + d_{jn}$, $j = 1, 2,\ldots, 24$.

Ці дані відповідали об’єктам (n-паралелепіпедам) відповідних об’ємів $v[j] = d[j]$, $j = 1, 2,\ldots, 24$.

Кількість n компонент даних, що відповідала вимірності простору (математичної задачі), обиралася від 2 до 4.

Необхідно представити дані у вигляді n-паралелепіпедів, кожен з яких є об'єднанням сегментів – елементарних n-паралелепіпедів однакових об'ємів (табл. 1, власна розробка).

2. Задана теоретична база даних (за припущення, що всі дані – числові) із n компонентами, потужність якої – 24 (даних). Числові значення даних обиралися випадковим чином із діапазону 0…100. Зауважимо, що всі інші умови, як у задачі 1.

Необхідно представити дані у вигляді n-паралелепіпедів, кожен з яких є об'єднанням сегментів – елементарних n-паралелепіпедів однакових об'ємів (табл. 2, власна розробка).

У таблицях 1 і 2 наведено результати розв'язку задач 1 і 2 за розробленим алгоритмом, де:

n – вимірність простору;

k – число розбиття кожного ребра;

ε – похибка, що використовується: 1) під час фрактального розбиття, яке зупиняється, коли різниця об'ємів елементарних n-паралелепіпедів на кроці f і (f+1) менше ε; 2) під час перевірки виконання умови: $V_{fs} = \text{НСД}(v[1], v[2], ..., v[24])$;

V_0 – об'єм області розбиття, $V_0 = v[1] + v[2] + ... + v[24]$;

V_f – об'єм елементарного n-паралелепіпеда:

f – число фрактальних ітерацій;

m_f – кількість усіх елементарних n-паралелепіпедів як сума елементарних n-паралелепіпедів, з яких складається кожен початковий n-паралелепіпед;

m_0 – кількість усіх елементарних n-паралелепіпедів як частка об'єму початкової області на об'єм елементарного n-паралелепіпеда.

Обчислення проводилися у просторах вимірності 2–4 при ε =0,03;0,3.

Таблиця 1

Результати роботи алгоритму (задача 1)

n	k	ε	V_0	f	V_f	m_f	m_0
1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	0,3	1772	7	0.108154296875	16383	16384
	3			4	0.270080780368846	6561	6561
	4			4	0.02703857421875	65534	65535
	5			3	0.113408	15626	15624
	6			4	0.037980109739369	46657	46656
	7			3	0.0150617514811006	117650	117648

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	2			5	0.0540771484375001	32770	32767
	3			3	0.0900269267896154	19683	19683
	4			3	0.00675964355468751	262143	262143
	5			2	0.113408	15626	15624
	6			2	0.037980109739369	46657	46656
	7			2	0.0150617514811006	117650	117648
4	2			4	0.02703857421875	65534	65535
	3			2	0.270080780368846	6561	6561
	4			2	0.02703857421875	65534	65535
	5			2	0.00453632	390627	390624
	6			2	0.00105500304831581	1679615	1679615
	7			2	0.000307382683287767	5764799	5764800
2	2	0,03		8	0.02703857421875	65534	65536
	3			5	0.0300089755965384	59049	59049
	4			4	0.02703857421875	65534	65535
	5			4	0.00453632	390627	390624
	6			4	0.00105500304831581	1679615	1679615
	7			3	0.0150617514811006	117650	11765048
3	2			6	0.00675964355468751	262143	262143
	3			4	0.00333433062183761	531441	531441
	4			3	0.00675964355468751	262143	262143
	5			3	0.000907264000000001	1953125	1953124
	6			3	0.000175833841385967	10077695	10077696
	7			2	0.0150617514811006	117650	117648
4	2			4	0.02703857421875	65534	65535
	3			3	0.0033343306218376	531441	531441
	4			2	0.02703857421875	65535	65535
4	5	0,03	1772	2	0.00453632	390627	390624
	6			2	0.00105500304831581	1679615	1679615
	7			2	0.000307382683287767	5764799	5764800

Таблиця 2

Результати роботи алгоритму (задача 2)

n	k	ε	V_0	f	V_f	m_f	m_0
1	2	3	4	5	6	7	8
2	2	0,03	1256	8	0.0191650390625	65536	65536
	3		1195	5	0.0202374299310742	59051	59049
	4		1299	4	0.0198211669921875	65535	65535
	5		1152	4	0.00294912	390624	390624
	6		1237	3	0.0265132030178327	46655	46655
	7		1334	3	0.011338812909587	117648	117648

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
3	2		1147	6	0.00437545776367188	262145	262143
	3		1378	4	0.00259295011111299	5314439	531441
	4		1017	3	0.00387954711914063	262145	262143
	5		1198	3	0.000613376000000001	1953129	1953124
	6		1516	3	0.000150431209673322	10077698	10077696
	7		1010	2	0.00858485834983724	117649	117648
4	2	0,3	1298	3	0.31689453125	4094	4095
	3		1278	2	0.194787379972565	6560	6561
	4		1134	2	0.017303466796875	65537	65535
	5		1478	2	0.00378368	390624	390624
	6		885	2	0.000526906149977138	1679614	1679615
	7		1353	2	0.000234700209079203	5764800	5764800

Подальша побудова математичної моделі й розв’язання математичної (відповідної до економічної) задачі (з об’єктами – n-паралелепіпедами) можуть бути проведені методами геометричного проєктування [11] і дадуть можливість отримати економічну інформацію для прийняття найбільш раціонального управлінського рішення.

Висновки. У роботі запропоновано метод перетворення економічної бази даних для її подальшого аналізу під час розв’язання економічних, зокрема управлінських, задач. Метод базується на фрактальній сегментації даних, поданих у вигляді багатовимірних об’єктів (n-паралелепіпедів).

Для досягнення мети в роботі було вирішено декілька завдань:

а) здійснено перехід від економічної задачі до відповідної математичної;

б) n-паралелепіпеди представлені як сукупність елементарних n-паралелепіпедів однакових об’ємів. Проводячи паралель з економічною задачею, можна сказати, що здійснена фрактальна сегментація економічної бази даних;

в) запропоновано подальшу схему розв’язання математичної задачі.

Наведено числові приклади використання запропонованого методу перетворення бази даних.

Треба зауважити, що перспективним є дослідження питання знаходження значення k (при пошуку фрактального сегмента), що дає щільне розбиття n-паралелепіпеда P_j елементарними n-паралелепіпедами P_f (тобто виконання умови (1)), $j = 1, 2, ..., m$. У разі невиконання умови (1) цікавим є питання дослідження розподілу величин $z_1, z_2, ..., z_m$, таких, що $z_j = V_j - m_{jf} V_f$, $j = 1, 2, ..., m$.

Список джерел інформації / References

1. Рубаков С. В. Современные методы анализа данных / С. В. Рубаков // Управление наукой и наукометрия. – 2008. – № 4. – С. 165–176.

Rubakov, S. (2008), "Modern methods of data analysis", *Management of Science and Scientometrics* ["Covremennye metody analiza dannyh", *Upravlenie naukoj i naukometriya*], No. 4, pp. 165-176.

2. Чураков Е. П. Математические методы обработки экспериментальных данных в экономике / Е. П. Чураков. – Москва : Финансы и статистика, 2004. – 240 с.

Churakov, E. (2004), *Mathematical methods of experimental data processing in economics* [*Matematicheskie metody obrabotki eksperimental'nyh dannyh v ekonomike*], Finance and statistics, Moscow, 240 p.

3. Кластеризация и кластер / Л. А. Заде, С. Рао и др. – М., 1980. – 383 с.

Zade, L., Rao, S., et. al. (1980), *Clustering and cluster* [*Klasterizaciya i klaster*], Moscow, 383 p.

4. Харман Г. Современный факторный анализ / Г. Харман. – М. : Статистика, 1972. – 489 с.

Harman, G. (1972), *Modern factor analysis* [*Sovremennyj faktornyj analiz*], Statistics, Moscow, 489 p.

5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М. : Финансы и статистика, 2017. – 448 с.

Osovsky, S. (2017), *Neural networks for information processing* [*Nejronnye seti dlya obrabotki informacii*], Finance and statistics, Moscow, 448 p.

6. Ким Дж.-О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Дж.-О. Ким. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Kim, J.-O. (1989), *Factor, discriminant and cluster analysis* [*Faktornyj, diskriminantnyj i klasternyj analiz*], Finance and Statistics, Moscow, 215 p.

7. Семиошина И. А. Применение корреляционно-регрессионного анализа для прогнозирования экономического развития предприятия / И. А. Семиошина, Е. В. Бураева // Вестник науки и образования. – 2016. – Вип. 7 (19). – С. 46–47.

Semioshina, I., Buraeva, E. (2016), "Application of correlation regression analysis for forecasting the economic development of an enterprise", *Bulletin of Science and Education* ["Primenenie korrelyacionno regressionnogo analiza dlya prognozirovaniya ekonomicheskogo razvitiya predpriyatiya", *Vestnik nauki i obrazovaniya*], Vol. 7 (19), pp. 46-47.

8. Власов М. П. Моделирование экономических процессов / М. П. Власов. – М. : Феникс, 2005. – 400 с.

Vlasov, M. (2005), *Modeling of economic processes* [*Modelirovaniye ekonomicheskih protsessov*], Phoenix, Moscow, 400 p.

9. Стоян Ю. Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – Киев : Наук. думка, 1986. – 266 с.

Stoyan, Yu., Yakovlev, S. (1986), *Mathematical models and optimization methods for geometric design* [*Matematicheskiye modeli i optimizatsionnyye metody geometricheskogo proyektirovaniya*], Sciences Thinking, Kyiv, 266 p.

10. Погожих М. І. Метод формування бази даних для задачі оптимального планування діяльності підприємства / М. І. Погожих, М. С. Софронова // Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. – Х. : ХДУХТ, 2018. – Вип. 1 (27). – С. 56–66.

Pogozhikh, M., Sofronova, M. (2018), "Method of formulating basis data for problems of optimal planning of enterprise activity", *Economic strategy and prospects for the development of the sphere of trade and services* ["Metod formuvannya bazi danih dlya zadachi optimalnogo planuvannya diyalnosti pidpriemstva", *Ekonomichna strategiya i perspektivi rozvitku sferi torgivli ta poslug*], Kharkiv, Vol. 1 (27), pp. 55-66.

11. Погожих М. І. Математичне моделювання та розв'язання задачі оптимального управління діяльностю підприємства / М. І. Погожих, М. С. Софронова // Економічна стратегія і перспективи розвитку сфери торгівлі та послуг. – Х. : ХДУХТ, 2020. – Вип. 2 (32). – С. 45–57.

Pogozhikh, M., Sofronova, M. (2020), "Mathematical modeling and solution of the problem of optimal planning of the company", *Economic strategy and prospects for the development of the sphere of trade and services* ["Matematychne modeliuvannia ta rozviazannia zadachi optymalnoho upravlinnia diialnostiu pidpryiemstva", *Ekonomichna strategiya i perspektivi rozvitku sferi torgivli ta poslug*], Kharkiv, Vol. 2(32), pp. 45-57.

12. Розенфельд Б. А. Многомерные пространства / Б. А. Розенфельд. – М. : Наука, 1966. – 637 с.

Rozenfeld, B. (1966), *Multidimensional spaces* [*Mnogomernie prostranstva*], Science, Moscow, 637 p.

13. Мандельброт Б. Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

Mandelbrot, B. (2002), *Fractal geometry of nature* [*Fraktalnaya geometriya prirodyi*], Institute of Computer Research, Moscow, 656 p.

14. Морозов А. Д. Введение в теорию фракталов / А. Д. Морозов. – Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.

Morozov, A. (2002), *Introduction to the theory of fractals* [*Vvedenie v teoriyu fraktalov*], Institute of Computer Research, Moscow-Izhevsk, 160 p.

15. Barnes, F. (1982), "Algebraic theory of brick packing. II", *Discrete Math.*, Vol. 42, No 2-3 , pp. 129-144.

Погожих Микола Іванович, д-р техн. наук, проф., Навчально-науковий інститут харчових технологій та бізнесу, кафедра енергетичного машинобудування, інженерних та фізико-математичних дисциплін, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-86.

Pohozhykh Mykola, Doctor of Technical Sciences, Educational and Scientific Institute of Food Technologies and Business, Department of Power Engineering, Engineering and Physics and Mathematics, Kharkiv State University Food and Trade. Address: Klochkivska Str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-86.

Софронова Марина Сергіївна, канд. фіз.-мат. наук, доц., факультет комп’ютерних та інформаційних технологій, кафедра вищої математики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Адреса: вул. Кирпичова, 2, м. Харків, Україна, 61002. Тел.: (057)707-60-87; e-mail: m_myravyova@ukr.net.

Sofronova Maryna, PhD in Physics and Mathematics Sciences, Assoc. Prof., Faculty of Computer and Information Technologies, Department of Higher Mathematics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». Address: Kyrpychova Str., 2, Kharkiv, Ukraine, 61002. Tel.: (057)707-60-87; e-mail: m_myravyova@ukr.net.

DOI: 10.5281/zenodo.5040556