УДК 519.8 doi: 10.15421/321810

О.М. Кісельова, О.М. Притоманова, С.В. Журавель, В.В. Шаравара
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

РОЗВ'ЯЗАННЯ ОДНІЄЇ НЕСКІНЧЕННОВИМІРНОЇ ЗАДАЧІ LOCATION-ALLOCATION ІЗ НЕЧІТКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Сформульовано нескінченновимірну задачу location-allocation з нечіткими параметрами. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує алгоритм її розв'язання на основі нейронечітких технологій з використанням r-алгоритму Шора. Викладено результати розрахунків для модельної задачі location-allocation з нечіткими параметрами, які отримано за допомогою розробленого програмного забезпечення.

Ключові слова: задача location-allocation, оптимізація, нечіткий параметр, нейронечіткі технології, *r*-алгоритм.

Сформулирована бесконечномерная задача location-allocation с нечеткими параметрами. Разработано программное обеспечение, которое реализует ее решение на основе нейронечетких технологий с использованием *r*-алгоритма Шора. Приведены результаты для модельной задачи location-allocation с нечеткими параметрами, которые получены с помощью разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова: задача location-allocation, оптимизация, нечеткий параметр, нейронечеткие технологии, r-алгоритм.

The problem of enterprises location with the simultaneous allocation of this region, continuously filled by consumers, into consumer areas, where each of them is served by one enterprise, in order to minimize transportation and production costs, in the mathematical definition, are illustrated as infinite-dimensional optimal set partitioning problems (OSP) in non-intersecting subsets with the placement of centers of these subsets. A wide range of methods and algorithms have been developed to solve practical tasks of location-allocation, both finite-dimensional and infinite-dimensional. However, infinite-dimensional location-allocation problems are significantly complicated in uncertainty, in particular case when a number of their parameters are fuzzy, inaccurate, or an unreliable mathematical description of some dependencies in the model is false. Such models refer to the fuzzy OSP tasks, and special solutions and methods are needed to solve them. This paper is devoted to the solution of an infinite-dimensional problem of location-allocation with fuzzy parameters, which in mathematical formulation are defined as continuous linear single-product problem of n-dimensional Euclidean space E_n optimal set partitioning into a subset with the search for the coordinates of the centers of these subsets with constraints in the form of equalities and inequalities whose target functionality has fuzzy parameters. The software to solve the illustrated problem was developed. It works on the basis of neuron-fuzzy technologies with r-algorithm of Shore application. The object-oriented programming language C# and the Microsoft Visual Studio development environment were used. The results for a model-based problem of location-allocation with fuzzy parameters obtained in developed software are presented. The results comparison for the solution to solve the infinite-dimensional problem of location-allocation with defined parameters and for the case where

some parameters of the problem are inaccurate, fuzzy or their mathematical description is false.

Keywords: location-allocation problem, optimization, fuzzy parameter, neuro-fuzzy technologies, r-algorithm.

Вступ. Задачі розміщення (location) підприємств з одночасним розбиттям (allocation) даного регіону, неперервно заповненого споживачами, на області споживачів, кожна з яких обслуговується одним підприємством, з метою мінімізації транспортних і виробничих витрат у математичній постановці зводяться до нескінченновимірних задач оптимального розбиття множин (ОРМ) на неперетинні підмножини з розміщенням центрів цих підмножин [1,2].

Необхідність в розгляді нескінченновимірних задач розміщення виникає тоді, коли споживачів «дуже багато», наприклад, в задачах про телефонних, радіо-, телеабонентів, про шкільні регіони, про виборчі округи і тому подібне, і формулювання задачі розміщення як дискретної математичної моделі стає недоцільною через труднощі, пов'язані з розв'язанням задач надмірно великої розмірності.

Для розв'язання практичних задач location-allocation, як скінченновимірних, так і некінченновимірних, розроблено значну кількість методів і алгоритмів, серед яких вкажемо на підхід, запропонований в роботі [3], де автор надав також і огляд літератури з підходів, методів і алгоритмів розв'язання задач location-allocation у чітких умовах. Однак, нескінченновимірні задачі location-allocation суттєво ускладнюються в умовах невизначеності, зокрема, коли ряд їх параметрів є нечіткими, неточними, або є недостовірним математичний опис деяких залежностей в моделі. Такі моделі відносять до нечітких задач ОРМ, для їх розв'язання потрібна розробка спеціальних підходів і методів.

Дана робота присвячена розв'язанню однієї нескінченновимірної задачі location-allocation з нечіткими параметрами, яка у математичній постановці зводиться до неперервної лінійної однопродуктової задачі оптимального розбиття множини з n-вимірного евклідового простору E_n на підмножини з відшукуванням координат центрів цих підмножин при обмеженнях у формі рівностей та нерівностей, цільовий функціонал якої має нечіткі параметри.

Алгоритм розв'язання цієї задачі оптимального розбиття з нечіткими параметрами в цільовому функціоналі запропонований у роботі [4].

Застосуємо цей алгоритм для розв'язання модельної нескінченновимірної задачі location-allocation з нечіткими параметрами.

Постановка задачі. Розглянемо спрощену модель нескінченновимірної задачі розміщення виробництва, що називається в зарубіжній науковій літературі задачею location-allocation [3], в наступній постановці.

Нехай споживач деякої однорідної продукції рівномірно розподілений в області $\Omega \subset E_2$. Скінченне число N виробників цієї продукції розташовані в ізольованих точках $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)})$, $i = 1,...,N$, області Ω. Вважаються заданими: $\rho(x)$ – попит на продукцію споживача з координатами $x = (x^{(1)}, x^{(2)})$; $c(x, \tau_i)$– вартість транспортування одиниці продукції від виробника $\tau_i = (\tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)})$ споживачеві з координатами $x = (x^{(1)}, x^{(2)})$. Передбачається, що прибуток виробника залежить тільки від його витрат, які є сумою виробничих і транспортних витрат.

Для кожного i-го виробника задана функція $\varphi_i(Y_i)$, що описує залежність вартості виробництва від його потужності Y_i, яка визначається за формулою $Y_i = \int\limits_{\Omega_i} \rho(x)dx$, і наведені капітальні витрати на реконструкцію i-го виробника для збільшення його потужності від існуючої до проектної Y_i.

Множину споживачів Ω можна розбивати на зони обслуговування Ω_i споживачів i-м виробником так, щоб

$$\bigcup_{i=1}^{N} \Omega_i = \Omega, mes\left(\Omega_i \cap \Omega_j\right) = 0, i \neq j, i, j = 1,...,N. \tag{1}$$

При цьому потужність i-го виробника визначається сумарним попитом споживачів, що належать Ω_i, і не перевищує заданих обсягів:

$$\int\limits_{\Omega_i} \rho(x)dx \le b_i,\ i = 1,...,N, \tag{2}$$

не виключається, що деякі з підмножин Ω_i виявляться порожніми.

Потрібно розбити множину споживачів Ω на зони обслуговування їх N виробниками, тобто на підмножини Ω_i, $i = 1,...,N$, і розмістити цих виробників в Ω так, щоб мінімізувати функціонал сумарних витрат на виробництво продукції і доставку її до споживачів:

$$\sum_{i=1}^{N} \left\{ \int\limits_{\Omega_i} c(x,\ \tau_i)\rho(x)dx + \varphi_i\left(\int\limits_{\Omega_i} \rho(x)dx \right) \right\} \to \min_{(\{\Omega_1,...,\Omega_N\},\{\tau_1,..,\tau_N\})} \tag{3}$$

за умов (1), (2).

Задача (1)-(3) – нескінченновимірна задача location-allocation в чітких умовах.

У більшості практичних задач вартість виробництва продукції на промисловому підприємстві потужності Y_i дорівнює добутку собівартості цієї продукції на її кількість. В силу цього маємо:

$$\varphi_i(Y_i) = d_i + a_i Y_i,\ i = 1,...,N. \tag{4}$$

Підставляючи вираз (4) в (3) отримаємо

$$\sum_{i=1}^{N} \int\limits_{\Omega_i} (c(x,\ \tau_i) + a_i)\rho(x)dx \to \min_{(\{\Omega_1,...,\Omega_N\},\{\tau_1,..,\tau_N\})}. \tag{5}$$

Задача (1)-(5) при $a_i = 0$, $i = 1,...,N$, – нескінченновимірна транспортна задача, при $a_i \geq 0$, $i = 1,...,N$, – нескінченновимірна задача location-allocation.

Для сформульованої модельної задачі (1)-(5) розглянемо випадок, коли $N = 5$ і параметри a_i, $i = 1,...,5$, можуть бути нечіткими, неточними, недостовірними.

Параметр a_i можна представити, наприклад, як параметр, що залежить від трьох нечітких факторів $\tilde{\gamma}_j$, $j = 1,2,3$, у вигляді

$$\tilde{a}_i = a_i(\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \tilde{\gamma}_3).\ i = 1,...,5. \tag{6}$$

Тоді задачу (1)-(5) можна записати з нечіткими параметрами в наступному виді:

$$\sum_{i=1}^{5} \int_{\Omega_i} (c(x,\ \tau_i) + \tilde{a}_i)\rho(x)dx \to \min_{(\{\Omega_1,...,\Omega_5\},\{\tau_1,..,\tau_5\})} \tag{7}$$

за умов

$$\bigcup_{i=1}^{N} \Omega_i = \Omega, mes\left(\Omega_i \cap \Omega_j\right) = 0, i \neq j, i, j = 1,...,5, \tag{8}$$

$$\int_{\Omega_i} \rho(x)dx \leq b_i,\ i = 1,...,5. \tag{9}$$

Задача (7)-(9) є ***задачею location-allocation з нечіткими параметрами.***

Розв'язання задачі *location-allocation*. Для розв'язання задачі (7)-(9) застосуємо алгоритм, запропонований в роботі [4], та проілюструємо його на наступній модельній задачі.

Нехай задана множина $\Omega = \left\{(x^{(1)}, x^{(2)}) \in E_2 : 0 \leq x^{(1)} \leq 1; 0 \leq x^{(2)} \leq 1\right\}$ споживачів однорідної продукції, яка може вироблятися п'ятьома пунктами виробництва. Вартість транспортування одиниці продукції з i-го, $i = \overline{1,\ 5}$, підприємства до споживача $(x^{(1)}, x^{(2)})$ задається наступним чином:

$$c(x, \tau_i) = \sqrt{(x^{(1)} - \tau_i^{(1)})^2 + (x^{(2)} - \tau_i^{(2)})^2}\ .$$

Попит на продукцію $\rho(x^{(1)}, x^{(2)}) \equiv 1\ \ \forall (x^{(1)}, x^{(2)}) \in \Omega$. При цьому потужність *і*-го виробника визначається сумарним попитом споживачів, що належать Ω_i, і не перевищує заданих обсягів $b_i = 1$, $i = 1,...,5$.

Потрібно розбити множину споживачів Ω на їх зони обслуговування Ω_i п'ятьома підприємствами за умов (8)-(9) і розмістити ці підприємства в області Ω так, щоб мінімізувати функціонал сумарних витрат на виробництво продукції і доставку її до споживача (5) при $N = 5$ та заданих чітких значеннях параметрів a_i, $i = 1,...,5$.

На практиці часто параметр a_i (витрати *і*-го підприємства на випуск одиниці продукції, тобто коефіцієнт змінних витрат) розраховують як лінійну комбінацію факторів, які пливають на нього. Ураховуючи (6) будемо розглядати такі фактори:

γ_1 - вартості засобів виробництва (виробничі потужності та засоби праці);

γ_2 - вартості трудових ресурсів;

γ_3 - вартості природних ресурсів (сировинних і енергетичних).

Обчислення параметрів a_i, $i=1,...,5$, як чітких значень, проводять за формулою:

$$a_i = k_{i1}\gamma_1 + k_{i2}\gamma_2 + k_{i2}\gamma_3 . \qquad (10)$$

Нехай для деяких точних значень $k_{i1}, k_{i2}, k_{i3}, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ (де k_{ij} - вагові коефіцієнти, значення факторів γ_i вимірюються в умовних одиницях, $j=1,2,3,\ i=1,...,5$) з (10) отримані наступні чіткі значення параметрів: $a_1 = 0{,}07$; $a_2 = 0{,}1$; $a_3 = 0{,}38$; $a_4 = 0{,}2$; $a_5 = 0$.

Для розв'язання цієї модельної задачі location-allocation з чіткими значеннями параметрів a_i був застосований алгоритм з [1]. Для цього множина Ω покривалася прямокутною сіткою з вузлами (i, j), $i=1,...,21$, $j=1,...,21$. В якості початкових значень двоїстих змінних задані $\psi_i^{(0)} = 0$, $i=\overline{1,\ 5}$.

Умовою припинення обчислень було виконання нерівності:

$$\| (\tau^{(k)}, \psi^{(k)}) - (\tau^{(k+1)}, \psi^{(k+1)}) \| \leq \varepsilon\ ,\ \varepsilon = 10^{-4}\ .$$

В результаті роботи алгоритму з [1] за 46 ітерацій отримані:

- максимальне значення функціонала двоїстої задачі 0,26722;
- мінімальне значення функціоналу прямої задачі 0,26789.

Оптимальне розбиття множини споживачів Ω на зони обслуговування кожним підприємством представлено на рис. 1, точками позначені оптимальні координати розташованих підприємств:

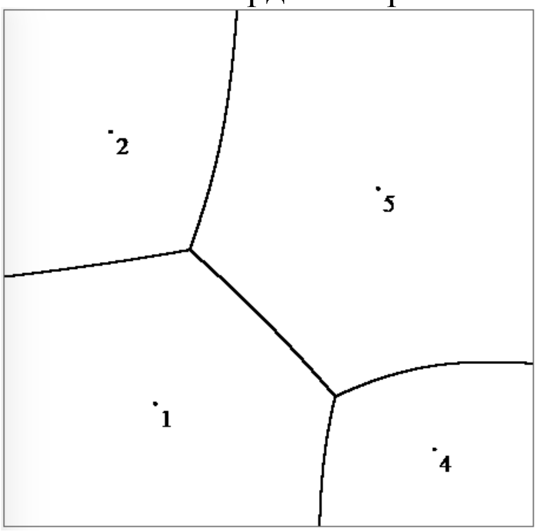

Рис.1.

Оптимальні координати розташованих підприємств:

τ_1 = (0,28439; 0,23794);

τ_2 = (0,19985; 0,76565);

τ_4 = (0,81255; 0,14963);

τ_5 = (0,70583; 0,65526).

Цифрами на рис.1 позначені номера підмножин. Причому замість розбиття на п'ять підмножин оптимальним розбиттям виявилося розбиття на чотири підмножини, одна підмножина Ω_3 виявилася пустою тому, що значення a_3 є значно більшим a_i, $i=1,2,4,5$.

Однак, реальні залежності параметрів a_i від факторів, що на них впливають, як правило складні, нелінійні або невідомі. Будемо застосовувати для відновлення значень параметрів a_i метод нейролінгвістичній ідентифікації, запропонований в роботах [5]. Потім знайдемо оптимальне рішення цієї модельної тестової задачі з відновленими значеннями параметрів a_i за допомогою алгоритму, запропонованого в роботі [4], і порівняємо його з отриманим вище оптимальним розв'язком задачі з чіткими параметрами a_i.

Далі опишемо відновлення значення параметра a_1 за допомогою методу нейролінгвістичної ідентифікації, запропонованого у роботі [6], та зауважимо, що значення параметрів $a_2,...a_5$ можуть бути відновлені аналогічно.

Для побудови математичної моделі залежності коефіцієнта змінних витрат a_1 від факторів $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ по наявним даним, які наведені у табл. 1, розглянемо цю залежність у вигляді

$$a_1 = a_1(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3), \qquad \gamma_{min_i} \le \gamma_i \le \gamma_{max_i}, \quad i = 1,2,3. \tag{11}$$

Таблиця 1

Вхідні дані для відновлення значення параметра a_1

Номер у вибірці	a_1	*Вхідні змінні*			*Номер у вибірці*	a_1	*Вхідні змінні*		
		γ_1	γ_2	γ_3			γ_1	γ_2	γ_3
1	0,38	15	12	11	*5*	0,15	5	4	10
2	0,10	7	9	7	*6*	0,17	1	5	12
3	0,00	3	1	8	*7*	0,07	4	3	4
4	0,20	11	12	15	*8*	0,10	9	7	5

Виконаємо *перший* етап методу нейролінгвістичної ідентифікації з [5].

Фазифікация. Для побудови термів для змінних $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ моделі, візьмемо відрізки, правою границею кожного з яких буде найбільше значення кожної змінної, а лівою – найменше. Розділимо це відрізки на три рівні частини, яким відповідатимуть нечіткі терми – *низький* (Н), *середній* (С), *високий* (В). Отримані відрізки наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Терми вхідних змінних

	γ_1	γ_2	γ_3
Н	[0;5)	[0;4)	[0;5)
С	[5;10)	[4;8)	[5;10)
В	[10, 15]	[8, 12]	[10, 15]

Множину значень a_1 було розділено на три класи D_1, D_2 и D_3 з центрами $d_1 = 0$, $d_2 = 0{,}19$ и $d_3 = 0{,}38$, відповідно, таким чином, щоб до кожного класу потрапили близькі значення вихідної змінної a_1.

Нечітке логічне виведення. Сформуємо нечітку продукційну базу знань, яка є сукупністю нечітких експертно-лінгвістичних правил типу ЯКЩО-ТО, які зв'язують між собою лінгвістичні оцінки вхідних змінних $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ та вихідної змінної a_1. Лінгвістичні оцінки будуть отримані на основі наведеної у табл. 3 статистичної інформації.

Виходячи з наявних даних, побудованих нами нечітких термів (табл. 2) та лінгвістичних висловлювань типу ЯКЩО-ТО можна побудувати нечітку базу знань, компактний вид якої представлено в табл. 3

Таблиця 3

Компактний вид бази знань

Номер класу вихідної змінної	*Номер у вибірці*	*Номер правила, p*	*Вага правила до настройки, w_p*	*Вага правила після настройки, w_p^**	*Вхідні змінні*		
					γ_1	γ_2	γ_3
$k=1$	3	1	1	0,99885	В	В	С
	7	2	1	0,28560	С	С	С
$k=2$	2	3	1	0,74009	Н	Н	С
	4	4	1	0,22743	С	В	В
	5	5	1	0,28546	С	С	С
	6	6	1	0,62461	Н	С	В
	8	7	1	0,00552	Н	Н	Н
$k=3$	1	8	1	0,28548	С	С	С

Таким чином, для побудови моделі (11) в явному вигляді побудована нечітка база знань як система нечітких лінгвістичних висловлювань типу «ЯКЩО-ТО», які зв'язують лінгвістичні оцінки («*низький*», «*середній*» та «*високий*») вхідних змінних з вихідною змінною a_1. Лінгвістичні оцінки «*низький*», «*середній*» та «*високий*» формалізуємо за допомогою функцій належності. Задамо ці функції у наступному вигляді

$$\mu_T(\gamma) = \frac{1}{1 + \left(\dfrac{\gamma - b}{c}\right)^2}, \qquad (12)$$

де $\mu^T(\gamma)$ - число у діапазоні [0,1], яке характеризує суб'єктивну міру відповідності значення γ нечіткому терму T *("низький", "нижчий за середнє"* та ін.), b та c параметри, які спочатку вибираються експертом, а потім настроюються на експериментальні дані: b - координата максимуму функції $\mu^T(\gamma)$, причому $\mu^T(b) = 1$, c - коефіцієнт концентрації – розтягнення функції $\mu^T(\gamma)$. Значення параметрів b і c для вхідних змінних $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ наведено у табл. 4.

Дефазифікація. Із [6] витікає, що нечіткій базі знань (табл. 3) відповідає наступне представлення об'єкту (11) у явному вигляді:

$$a_1 = \frac{\sum\limits_{k=1}^{3} d_k \cdot \mu_{D_k}(a_1)}{\sum\limits_{k=1}^{3} \mu_{D_k}(a_1)}, \tag{13}$$

$$\mu_{D_1}(a_1) = \min\begin{cases} 1, \\ w_3 \mu_{1B}(\gamma_1)\mu_{2B}(\gamma_2)\mu_{3C}(\gamma_3) + w_7 \mu_{1C}(\gamma_1)\mu_{2C}(\gamma_2)\mu_{3C}(\gamma_3) \end{cases} \tag{14}$$

$$\mu_{D_2}(a_1) = \min\begin{cases} 1, \\ w_2 \mu_{1H}(\gamma_1)\mu_{2H}(\gamma_2)\mu_{3C}(\gamma_3) + w_4 \mu_{1C}(\gamma_1)\mu_{2B}(\gamma_2)\mu_{3B}(\gamma_3) + \\ w_5 \mu_{1C}(\gamma_1)\mu_{2C}(\gamma_2)\mu_{3C}(\gamma_3) + w_6 \mu_{1H}(\gamma_1)\mu_{2C}(\gamma_2)\mu_{3B}(\gamma_3) + \\ w_8 \mu_{1H}(\gamma_1)\mu_{2H}(\gamma_2)\mu_{3H}(\gamma_3) \end{cases} \tag{15}$$

$$\mu_{D_3}(a_1) = \min\begin{cases} 1, \\ w_1 \mu_{1B}(\gamma_1)\mu_{2B}(\gamma_2)\mu_{3C}(\gamma_3) \end{cases} \tag{16}$$

Тут w_p – число в діапазоні [0,1], яке характеризує суб'єктивну міру впевненості експерта відносно висловлювання з номером p з бази знань, тобто є вагою p-го правила.

Однак, як було зазначено вище, побудована нечітка модель (13)-(16) грубо описує шукану залежність (11), тому виконаємо другий етап методу нейролінгвістичній ідентифікації - настройку параметрів нечіткої моделі, описаний в [6].

На виході отримуємо оптимальні значення векторів параметрів W^*, B^* і C^* для задачі мінімізації середньоквадратичного відхилення (критерій точності нечіткої моделі) експериментальних даних від модельних з [6], які представлені в табл. 4 для параметрів B^* і C^* та у табл. 3 для параметра W^*.

Таблиця 4

Параметри функцій належності для термів вхідних змінних до та після настройки

	до настройки						після настройки					
	γ_1		γ_2		γ_3		γ_1		γ_2		γ_3	
	b											
	1	3,5	1	2,75	1	3,5	2.12	2.66	1.02	0.14	1.02	1.19
	8	3,5	6,5	2,75	8	3,5	7.72	0.07	3.80	0.38	8.59	0.83
	15	3,5	12	2,75	15	3,5	14.99	0.11	11.89	0.45	14.9	0.26

Середньоквадратичне відхилення складає до настройки 0,1451, після настройки 0,00008.

На рис. 2.а представлені графіки модельних значень вихідної змінної a_1, отримані до настройки, а також для порівняння - експериментальні дані. На рис. 2.б представлені графіки модельних значень вихідної змінної a_1, отримані після настройки, та експериментальні дані.

Значення параметрів $a_2,\ldots,a_5$ знаходяться аналогічно методу, описаному для відновлення параметра a_1.

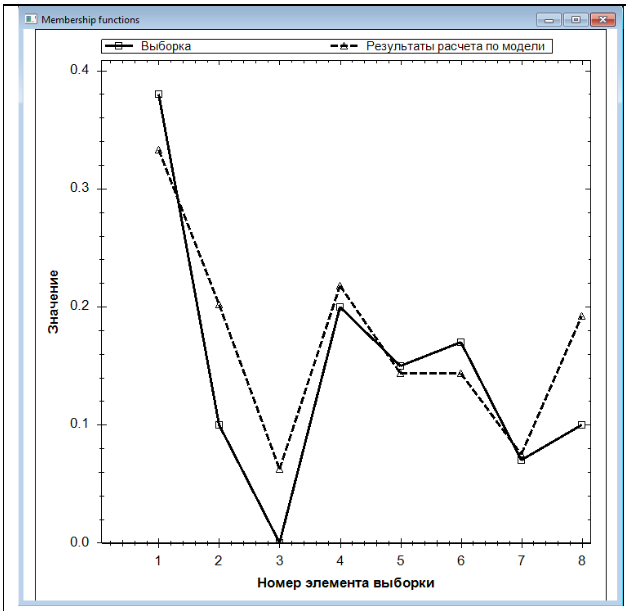	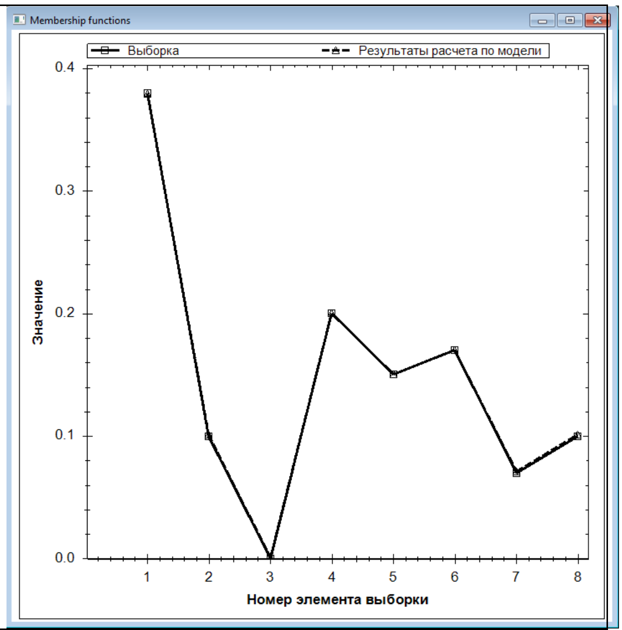
а) графік значень a_1: експериментальних – *суцільна лінія*, модельних (до настройки) – *пунктирна лінія*.	б) графіки експериментальних та модельних (після настройки) значень a_1 співпали із заданою точністю.

Рис. 2 − Графіки значень вихідної змінної a_1

Перейдемо до розв'язання модельної тестової задачі location-allocation, використовуючи алгоритм, запропонований в роботі [4], зі значеннями параметрів $a_1,\ldots,a_5$, отриманими (відновленими) за методом нейролінгвістичній ідентифікації після настройки.

Для розв'язання цієї модельної задачі з нечіткими параметрами $a_1,\ldots,a_5$ був застосований алгоритм з [4] з тими ж вихідними даними, що і для чітких параметрів $a_1,\ldots,a_5$.

В результаті роботи цього алгоритму, для відновлених до настройки параметрів $a_1 = 0,07493$; $a_2 = 0,19432$; $a_3 = 0,33743$; $a_4 = 0,21138$; $a_5 = 0,04007$, за 44 ітерації отримані:

- максимальне значення функціонала двоїстої задачі 0,30075;
- мінімальне значення функціонала прямої задачі 0,30299.

В результаті роботи цього алгоритму, для відновлених після настройки параметрів $a_1 = 0,07000$; $a_2 = 0,10000$; $a_3 = 0,38000$; $a_4 = 0,20000$; $a_5 = 0,00000$, за 46 ітерації отримані:

- максимальне значення функціонала двоїстої задачі 0,26722;
- мінімальне значення функціонала прямої задачі 0,26789.

Оптимальне розбиття множини споживачів Ω на зони обслуговування кожним підприємством представлено на рис. 3:

- до настройки – *пунктирною лінією*;
- після настройки – *суцільною лінією*;

Оптимальні координати розташованих підприємств:

до настройки позначені на рисунку - «▪»
$\tau_1 = (0,28883; 0,27976)$;
$\tau_2 = (0,17024; 0,80697)$;
$\tau_4 = (0,81631; 0,16100)$;
$\tau_5 = (0,69535; 0,68627)$;

після настройки позначені на рисунку - «•»
$\tau_1 = (0,28439; 0,23794)$;
$\tau_2 = (0,19985; 0,76565)$;
$\tau_4 = (0,81255; 0,14963)$;
$\tau_5 = (0,70583; 0,65526)$.

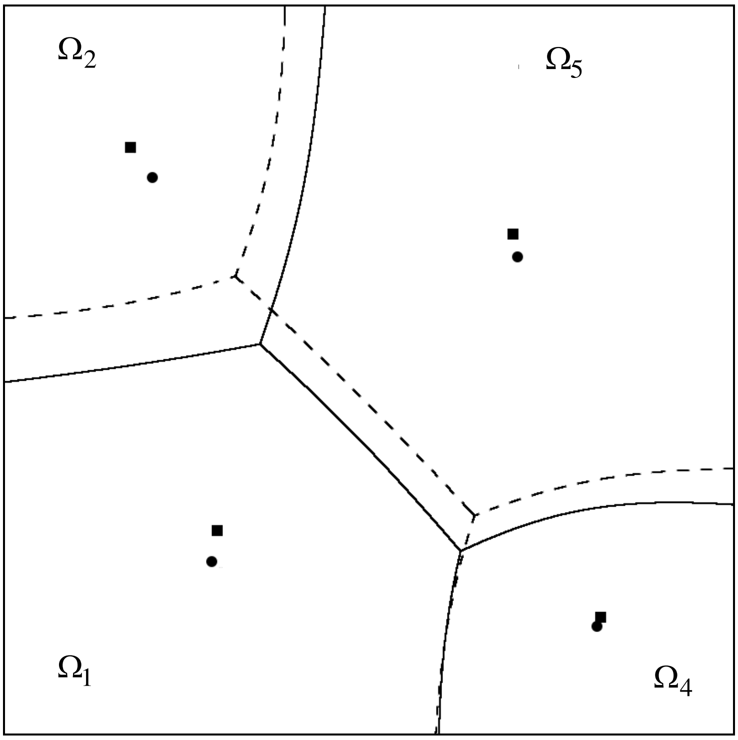

Рис.3

Порівнюючи результати розв'язання задачі location-allocation, отримані для чітких параметр $a_1,...,a_5$ у цільовому функціоналі (рис. 1) та для нечітких параметрів $a_1,...,a_5$, відновлених за допомогою методу нейролінгвістичній ідентифікації після настройки (рис. 3), бачимо, що оптимальні рішення цих задач збігаються з достатнім ступенем точності.

Таким чином, можна зробити висновок, що метод нейролінгвістичній ідентифікації з достатнім ступенем точності відновлює значення параметрів, які невідомі або неточні.

Висновки. У роботі розв'язано одну нескінченновимірну задачу location-allocation з нечіткими параметрами, яка у математичній постановці зводиться до неперервної лінійної однопродуктової задачі оптимального розбиття множини з n-вимірного евклідового простору E_n на підмножини з відшукуванням координат центрів цих підмножин при обмеженнях у формі рівностей та нерівностей, цільовий функціонал якої має нечіткі параметри.

Розроблено програмне забезпечення, яке реалізує розв'язання розглянутої задачі у середовищі Microsoft Visual Studio з використанням об'єктно-орієнтованої мови програмування C#.

Наведено результати для модельної задачі location-allocation з нечіткими параметрами, які отримані за допомогою розробленого програмного забезпечення. Проведено порівняння результатів розв'язання нескінченновимірної задачі location-allocation з чіткими параметрами та результатів для випадку, коли деякі параметри розв'язуваної задачі неточні, нечіткі або їх математичний опис недостовірний.

Бібліографічні посилання

1. **Киселева, Е.М.**, Шор, Н.З. Непрерывные задачи оптимального разбиения множеств: теория, алгоритмы, приложения: Монография. - К .: Наукова думка, 2005. - 564 с.
2. **Киселева, Е.М.** Становление и развитие теории оптимального разбиения множеств n-мерного Евклидового пространства. Теоретические и практические приложения // Проблемы управления и информатики, 2018. - №5. – С. 114-135.
3. **Murat, A.**, Verter, V., Laporte, G. A Continuous Analysis Framework for the Solution of Location-Allocation Problems with Dense Demand // Les Cahiers du GERAD, G–2008–42. – P. 1-25.
4. **Кісельова, О.М.**, Притоманова, О.М., Журавель, С.В., Шаравара, В.В. Алгоритм розв'язання однієї задачі оптимального розбиття з нечіткими параметрами в цільовому функціоналі // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Д.: Ліра, 2018. – С. 91-104.
5. **Elena M. Kiseleva**, Olga M. Prytomanova , Sergey V. Zhuravel Algorithm for Solving a Continuous Problem of Optimal Partitioning with Neurolinguistic Identification of Functions in Target Functional // Journal of Automation and Information Sciences, Volume 50, 2018, Issue 3, pp. 1-20. - DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v50.i3.10.
6. **Elena M. Kiseleva**, Olga M. Prytomanova, Sergey V. Zhuravel Valuation of Startups Investment Attractiveness Based on Neuro-Fuzzy Technologies // Journal of Automation and Information Sciences, Volume 48, 2016, Issue 9, pp. 1-22. - DOI: 10.1615/JAutomatInfScien.v48.i9.10.
7. **Киселева, Е.М.**, Притоманова, О.М., Шаравара, В.В., Журавель, С.В. Объектно-ориентированный подход к программной реализации алгоритма решения нелинейных задач оптимального разбиения множеств // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Д.: Ліра, 2017. – С. 87 – 95.

Надійшла до редколегії 04.10.2018.