trating works of Kryvbassu)]: *avtoref. dys. ... kand. ekon. nauk: 08.00.04*. Kryvyi Rih, 2013.

Turylo, A. M., Turylo, A. A. *Otsinka rezultatyvnosti, efektyvnosti, produktyvnosti i zbytkovosti pidpryiemstva* [Assessment of efficiency, efficiency, productivity and loss of enterprise]. Kryvyi Rih: Etiud-Servis, 2010.

Yashan, Yu. V. "Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti vidtvorennia i vykorystannia osnovnykh zasobiv". [Directions for improving the efficiency of reproduction and use of fixed assets]. http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_22(2)_ekon/stat_20_1/66.pdf

УДК 338.24.01

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПРО РОЗПОДІЛ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ФІКСОВАНИМИ ДОПЛАТАМИ

©2018 КОВАЛЬОВА К. О., МІСЮРА Є. Ю.

УДК 338.24.01

Ковальова К. О., Місюра Є. Ю. Програмна реалізація задачі про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами

Метою даної статті є математичне та комп'ютерне моделювання транспортної задачі про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами, або задачі з розривними цільовими функціями. Основну увагу приділено побудові математичної моделі ситуативної оптимізаційної задачі, яка досить часто зустрічається в практиці перевезень, але не має універсального підходу до її розв'язання. Для даного типу транспортної задачі наводяться загальні змістовна і математична постановки, конкретний приклад їх розв'язання. Автори свідомо вибрали для задачі про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами приклад з малою розмірністю транспортних шляхів. Мета – посилити наочність і спростити розгляд питань їх математичного моделювання. Окремо в статті розглянуто питання комп'ютерного моделювання такого роду задач. Вперше був запропонований новий підхід до їх розв'язання: не тільки засобами комп'ютерної математики, такими як Excel та MATLAB, але з використанням генетичного алгоритму «поведінки рою бджіл», який показав кращий результат в плані кількості ітерацій. Що, своєю чергою, дозволяє застосовувати останній для задач великої розмірності.

Ключові слова: *транспортна задача з фіксованими доплатами, комп'ютерне моделювання, алгоритм «поведінки рою бджіл».*

Рис.: *2.* ***Табл.:*** *1.* ***Формул:*** *11.* ***Бібл.:*** *14.*

Ковальова Катерина Олександрівна *– кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця (просп. Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)*

E-mail: *Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua*

Місюра Євгенія Юріївна *– кандидат технічних наук, доцент кафедри вищої математики та економіко-математичних методів, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця (просп Науки, 9а, Харків, 61166, Україна)*

E-mail: *misuraeu@gmail.com*

УДК 338.24.01

Ковалева Е. А., Мисюра Е. Ю. Программная реализация задачи о распределении транспортных средств с фиксированными доплатами

Целью данной статьи является математическое и компьютерное моделирование транспортной задачи о распределении транспортных средств с фиксированными доплатами, или задачи с разрывными целевыми функциями. Основное внимание было уделено построению математической модели ситуативной оптимизационной задачи, которая достаточно часто встречается в практике перевозок, но не имеет универсального подхода к ее решению. Для данного типа транспортной задачи приводятся общие содержательная и математическая постановки, конкретный пример их решения. Авторы сознательно выбрали для задачи о распределении транспортных средств с фиксированными доплатами пример с малой размерностью транспортных путей. Цель – усилить наглядность и упростить рассмотрение вопросов их математического моделирования. Отдельно в статье рассмотрены вопросы компьютерного моделирования такого рода задач. Впервые был предложен новый подход к их решению: не только средствами компьютерной математики, такими как Excel и MATLAB, но с использованием генетического алгоритма «поведения роя пчел», который показал лучший результат в плане количества итераций. Что, в свою очередь, позволяет применять последний для задач большой размерности.

Ключевые слова: *транспортная задача с фиксированными доплатами, компьютерное моделирование, алгоритм «поведения роя пчел».*

Рис.: *2.* ***Табл.:*** *1.* ***Формул:*** *11.* ***Библ.:*** *14.*

Ковалева Екатерина Александровна *– кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца (просп. Науки, 9а, Харьков, 61166, Украина)*

E-mail: *Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua*

Мисюра Евгения Юрьевна *– кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики и экономико-математических методов, Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца (просп. Науки, 9а, Харьков, 61166, Украина)*

E-mail: *misuraeu@gmail.com*

UDC 338.24.01

Kovaleva K. O., Misiura Ie. Yu. The Program Implementation of the Task of Distribution of Vehicles with Fixed Surcharges

The article is aimed at mathematical and computer simulation of the transport task of distribution of vehicles with fixed surcharges, or the task with discontinuous objective functions. The main attention was paid to the building of a mathematical model of the situational optimization task, which is often encountered in transportation practice, but does not have a universal approach to its solution. For this type of transport task, both general content and mathematical staging, together with a concrete example of their solution, are provided. The authors have deliberately chosen for the task of distributing vehicles with fixed surcharges an example with a small dimension of transport routes. The purpose is to increase the visibility and simplify the consideration of issues of their mathematical modeling. The issues of computer modeling of such tasks are considered in the article separately. For the first time, a new approach to solving them has been proposed: not only by means of computer mathematics, such as Excel and MATLAB, but using the genetic algorithm of «behavior of bees' swarm», which has showed the best result in terms of the number of iterations. That, in turn, allows to apply the latter algorithm for the tasks with larger dimensions.

Keywords: *transport task with fixed surcharges, computer simulation, algorithm of «behavior of bees' swarm».*

Fig.: *2.* ***Tbl.:*** *1.* ***Formulae:*** *11.* ***Bibl.:*** *14.*

Kovaleva Katerina O. *– PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Economic and Mathematical Methods, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (9a Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine)*

E-mail: *Kateryna.Kovalova@m.hneu.edu.ua*

Misiura Ievgeniia Yu. *– PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Economic and Mathematical Methods, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics (9a Nauky Ave., Kharkiv, 61166, Ukraine)*

E-mail: *misuraeu@gmail.com*

У сучасному світі кожне підприємство так чи інакше зустрічається з однією з головних економічних проблем, а саме, з проблемою транспортної логістики. «Логістика дозволяє розв'язати такі питання, як зменшення витрат на транспортування, вибір найкоротшого маршруту перевезень, скорочення витрат часу, спрощення складної схеми доставки продукції, зменшення всякого роду витрат» [1]. При цьому, великі підприємства мають цілі відділи, що займаються транспортною логістикою, дрібніші фірми та організації особисто приймають рішення про транспортування вантажу. Але, безперечно, обсяг і складність задач транспортної логістики вимагає професійного підходу до їхнього розв'язання.

Одним з таких професійних підходів природно вважається формалізація проблем транспортної логістики в оптимізаційні задачі. Задача Монжа – Канторовича [2], відома як транспортна задача, є першою у своєму роді, що поклала початок проблеми розв'язку дискретних задач математичного програмування.

Транспортна задача з фіктивними доплатами являє собою важливий клас транспортних задач, а саме, задачу з розривними цільовими функціями. Ця задача через розривність її компонент в нулі випадає з рамок задач лінійного програмування, що ускладнює її чисельний розв'язок з використанням засобів комп'ютерної математики. І хоча Балінський [3] привів алгоритм приведення таких задач до задач лінійного програмування, алгоритм розв'язку останніх носить лише наближений характер.

З іншого боку, сучасні засоби комп'ютерної математики, які розв'язують такого роду задачі з використанням генетичних алгоритмів, можуть дати в цьому напрямку розв'язання з меншими часовими та трудовитратами.

Таким чином, автори статті пропонують розглянути всі етапи математичного моделювання задачі з фіксованими доплатами, а також реалізувати в програмі С++ алгоритм поведінки «бджолиного рою» (різновид генетичного алгоритму) для розв'язку ситуативної задачі такого роду.

Для розв'язку транспортних задач з фіктивними доплатами можуть використовуватися теоретичні підходи, засновані на модифікації методу Балінського [4; 5], евристичні підходи, засновані на еволюційної оптимізації (так звані генетичні алгоритми) [6–9], а також підходи, реалізовані експертами компанії, що здійснює перевезення вантажу, на підставі попереднього досвіду [10]. Істотними недоліками вивчених робіт є: відсутність строго-математично обґрунтованих модифікацій методу Балінського дозволяє розв'язувати транспортні задачі лише наближено; інші роботи являють собою здебільшого огляд можливостей застосування генетичних алгоритмів до оптимізаційних задач у цілому; повна відсутність практичної реалізації розв'язку транспортних задач з фіксованими доплатами з використанням еволюційної оптимізації взагалі.

Крім того, аналіз останніх робіт, присвячених даній тематиці, виявив абсолютне ігнорування засобів комп'ютерної математики для чисельного розв'язку реальних економічних задач. Так, у роботах [11; 12] було проведено аналіз найбільш популярних систем комп'ютерної математики на предмет можливості рішення в їхніх рамках задач оптимізації різних класів. Однак роботи не розкрили можливості пакетів по відношенню до математичного моделювання задач про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами.

Згідно з вивченою літературою автори статті пропонують розглянути основні аспекти транспортної задачі з фіксованими доплатами на підставі ситуативної економічної задачі, що представляє собою один із складних класів транспортних задач – як у математичному сенсі, так і в програмній реалізації.

Постановка задачі про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами. У загальному вигляді цю задачу формулюють так. Нехай через j позначені транспортні шляхи, тобто необхідно виконати $b_j,\ j=\overline{1,n}$ рейсів. Нехай через i позначені транспортні засоби в кількості $a_i,\ i=\overline{1,m}$. При цьому, час, необхідний для перевезення вантажу i-м транспортним засобом по j-му шляху становить t_{ij}, а транспортні витрати складають c_{ij}. На додаток необхідно врахувати попередні транспортні роботи, на які витрачається час t_{ij}^{+} та гроші в кількості c_{ij}^{+}. Необхідно оптимально розподілити наявні транспортні засоби $a_i,\ i=\overline{1,m}$ по $b_j,\ j=\overline{1,n}$ шляхах.

Математична постановка задачі. Позначимо через X_{ij} кількість рейсів, яку транспортний засіб i повинен виконати по j-му шляху. Тоді математична модель транспортної задачі з фіксованими доплатами має вигляд:

$$F=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}s_{ij}(x_{ij})\to\min \qquad \textbf{(1)}$$

за таких обмежень:

$$\sum_{j=1}^{n}h_{ij}(x_{ij})\le a_i,\quad i=\overline{1,m}, \qquad \textbf{(2)}$$

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}=b_{ij},\quad j=\overline{1,n}, \qquad \textbf{(3)}$$

$$x_{ij}\ge 0,\quad i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n}, \qquad \textbf{(4)}$$

$$x_{ij}=\text{int},\quad i=\overline{1,m},\ j=\overline{1,n}. \qquad \textbf{(5)}$$

При цьому функції, що входять у співвідношення (1) і (2), описуються такими залежностями:

$$s_{ij}(x_{ij})=\begin{cases}0, & x_{ij}=0\\ c_{ij}x_{ij}+c_{ij}^{+}, & x_{ij}>0\end{cases}; \qquad \textbf{(6)}$$

$$h_{ij}(x_{ij}) = \begin{cases} 0, & x_{ij} = 0 \\ t_{ij}x_{ij} + t_{ij}^{+}, & x_{ij} > 0 \end{cases}. \quad (7)$$

Таким чином, шукаються величини x_{ij} (кількість рейсів), що задовольняють природним транспортним обмеженням (2) – (5) та мінімізують функцію (1). Залежності (6) – (7) інтерпретуються як витрати (транспортні та часові) на перевезення вантажу i-тим транспортним засобом по j-му шляху.

Приклад розв'язку ситуативної економічної задачі. Підприємство має три виробничі лінії: виробництво газованої води, виробництво соків та виробництво напоїв. На шляхах до цих виробництв необхідно виконати відповідно [11 7 9] рейсів, використовуючи транспортні засоби трьох типів. Корисний час транспортних засобів кожного типу відповідно становить [100 130 250]. Часові та транспортні витрати на виконання транспортним засобом перевезень описують такі матриці: $T = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 2 \end{pmatrix}$, $C = \begin{pmatrix} 5 & 5 & 4 \\ 3 & 3 & 5 \\ 4 & 3 & 4 \end{pmatrix}$.

Час t_{ij}^{+}, який витрачається на попередні транспортні роботи, та транспортні витрати c_{ij}^{+} на проведення цих робіт, задаються відповідно матрицями: $T^{+} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1 & 3 & 2 \end{pmatrix}$, $C^{+} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$.

Необхідно оптимально розподілити наявні транспортні засоби a_i, $i = \overline{1,3}$ по b_j, $j = \overline{1,3}$ шляхах.

Математична модель задачі з урахуванням позначень, прийнятих для загальної моделі (1) – (7), буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} F = s_{11} + s_{12} + s_{13} + s_{21} + s_{22} + \\ + s_{23} + s_{31} + s_{32} + s_{33} \to \min, \end{aligned} \quad (8)$$

де

$$\begin{aligned} & f_1 = h_{11} + h_{12} + h_{13} \le 100, \\ & f_2 = h_{21} + h_{22} + h_{23} \le 130, \\ & f_3 = h_{31} + h_{32} + h_{33} \le 250, \\ & f_4 = x_{11} + x_{21} + x_{31} = 11, \\ & f_5 = x_{12} + x_{22} + x_{32} = 7, \\ & f_6 = x_{13} + x_{23} + x_{33} = 9, \\ & x_{ij} \ge 0, i = \overline{1,3}, \ j = \overline{1,3}, \ x_{ij} = \text{int}. \end{aligned} \quad (9)$$

При цьому,

$$s_{11} = \begin{cases} 0, & x_{11} = 0, \\ 5x_{11} + 1, & x_{11} > 0, \end{cases} \quad s_{12} = \begin{cases} 0, & x_{12} = 0, \\ 5x_{12} + 2, & x_{12} > 0, \end{cases}$$

$$s_{13} = \begin{cases} 0, & x_{13} = 0, \\ 4x_{13} + 2, & x_{13} > 0, \end{cases} \quad s_{21} = \begin{cases} 0, & x_{21} = 0, \\ 3x_{21} + 1, & x_{21} > 0, \end{cases}$$

$$s_{22} = \begin{cases} 0, & x_{22} = 0, \\ 3x_{22} + 1, & x_{22} > 0, \end{cases} \quad s_{23} = \begin{cases} 0, & x_{23} = 0, \\ 5x_{23} + 2, & x_{23} > 0, \end{cases}$$

$$s_{31} = \begin{cases} 0, & x_{31} = 0, \\ 4x_{31} + 2, & x_{31} > 0, \end{cases} \quad s_{32} = \begin{cases} 0, & x_{32} = 0, \\ 3x_{32} + 1, & x_{32} > 0, \end{cases}$$

$$s_{33} = \begin{cases} 0, & x_{33} = 0, \\ 4x_{32} + 1, & x_{33} > 0, \end{cases} \quad (10)$$

$$h_{11} = \begin{cases} 0, & x_{11} = 0, \\ 4x_{11} + 1, & x_{11} > 0, \end{cases} \quad h_{12} = \begin{cases} 0, & x_{12} = 0, \\ 3x_{12} + 2, & x_{12} > 0, \end{cases}$$

$$h_{13} = \begin{cases} 0, & x_{13} = 0, \\ 3x_{13} + 1, & x_{13} > 0, \end{cases} \quad h_{21} = \begin{cases} 0, & x_{21} = 0, \\ 2x_{21} + 2, & x_{21} > 0, \end{cases}$$

$$h_{22} = \begin{cases} 0, & x_{22} = 0, \\ 3x_{22} + 1, & x_{22} > 0, \end{cases} \quad h_{23} = \begin{cases} 0, & x_{23} = 0, \\ 3x_{23} + 3, & x_{23} > 0, \end{cases}$$

$$h_{31} = \begin{cases} 0, & x_{31} = 0, \\ 2x_{31} + 1, & x_{31} > 0, \end{cases} \quad h_{32} = \begin{cases} 0, & x_{32} = 0, \\ 2x_{32} + 3, & x_{32} > 0, \end{cases}$$

$$h_{33} = \begin{cases} 0, & x_{33} = 0, \\ 2x_{32} + 2, & x_{33} > 0. \end{cases} \quad (11)$$

Чисельний розв'язок транспортної задачі з використанням алгоритму колонії бджіл. Бджолиний алгоритм, або алгоритм колонії бджіл належить до генетичних алгоритмів, що розв'язують задачі еволюційної оптимізації. Основні принципи роботи алгоритму ґрунтуються на реальній поведінці бджолиного рою. Грубо кажучи, якщо уявити собі реальний бджолиний рій, основна мета якого – знайти галявину з найбільшою кількістю квітів, легко пояснити принцип його роботи. Вилітаючи з вулика, бджоли не мають уявлення про найближчі галявини з квітами, тобто починають пошук з випадкової точки. При цьому кожна бджола пам'ятає як свою позицію, так і знає інформацію про те, що інші бджоли знайшли галявину (галявини) з найбільшою кількістю квітів. При цьому у бджоли виникає вибір: прямувати до решти бджіл на галявині з найбільшою кількістю квітів або залишитися на своїй позиції та продовжити дослідження галявини на предмет виявлення кількості квітів на ній. Бджола починає рух до однієї з цих двох фіксованих точок залежно від того, що на неї більш впливає – соціальний фактор (залежність від інших бджіл) або ж персональна позиція (самоповага). По ходу руху бджола може знайти нову галявину з квітами розмірністю, більше, ніж попередні дві точки. У цьому випадку з'являється нова точка, яка позначається або як попередня персональна позиція бджоли, або як позиція всього рою. Інколи може статися, що бджола випадково пролетить повз галявини з більшою кількістю квітів, ніж були знайдені бджолою (роєм) до цього. У цьому випадку весь бджолиний рій спрямовується до цієї «втраченої» галявини, як на додаток до галявин, які були виявлені кожною бджолою окремо. Це поведінка наочно демонструє дослідження бджолами поля з метою виявлення галявини з найбільшою кількістю квітів. Згідно з їхньою поведінкою, рано чи пізно бджоли знайдуть галявину з найбільшою кількістю квітів на ній і припинять пошуки, тому що більше не будуть мати можливості знайти місця з великою кількістю квітів (воно вже знайдено). Таку поведінку бджіл з критерієм їх зупинки і було покладено в основу алгоритму поведінки бджолиного рою.

Формальне описання цього алгоритму можна зустріти в роботах [13; 14], згідно з якими автори статті пропонують свій унікальних програмний код, написаний мовою С++ та наведений на *рис. 1* як наочна блок-схема, і відкритого програмного коду (*рис. 2*).

Після ініціалізації популяції бджіл по випадкових позиціях усі бджоли упорядковано відповідно до значень цільових функцій (ЦФ) тих ділянок, на яких вони знаходяться. Визначається ε елітних ділянок, на які спрямовуються n бджіл. Ці бджоли знаходять нові ділянки в околицях елітних. Після чого в околиці інших ділянок (m – ε), залежно від значення їхньої ЦФ, бджоли відправляються у кількості ($l = N - n$).

Згідно з роботами [13; 14] вихідними даними алгоритму будуть:

1) загальне число бджіл (N);
2) загальне число ділянок (m);
3) число елітних ділянок (ε);
4) число бджіл на елітних ділянках (n);
5) число бджіл (l) на інших (m – ε) ділянках;
6) початковий розмір ділянок (S);
7) максимальне число ітерацій (I).

Бджолиний алгоритм працює так, що бджоли на кожному кроці обиратимуть елітні ділянки для дослідження та ділянки в околиці елітних. Це дозволяє урізноманітнити популяцію розв'язків на наступних ітераціях та збільшити ймовірність виявлення близьких до оптимальних розв'язків.

Більш наочно можна зрозуміти алгоритм, використовуючи рис. 1, згідно з яким на 1-му етапі роботи алгоритму N бджіл розташовуються випадково на поверхні (в околиці) m ділянок. На 2-му етапі визначаються ЦФ ділянок. Далі ті ділянки ε, на яких значення ЦФ більше (елітні ділянки), відбираються для пошуку розв'язків в їхніх околицях (крок 3), причому на цих ділянках проводяться більш детальні дослідження, тобто відправляються більше бджіл, ніж на кожну з m – ε ділянок (крок 4). На 5-му кроці проводиться оцінка значень ЦФ і вибираються кращі бджоли відповідно до значень ЦФ досліджуваних ними ділянок. Ці бджоли формують нову популяцію розв'язків, яка братиме участь у наступній ітерації алгоритму. Далі бджоли здійснюють випадковий пошук в околиці елітних ділянок ε в пошуках нових розв'язків. Ця операція триває до тих пір, поки не буде досягнуто критерію зупинки алгоритму.

Таким чином, ключовою операцією алгоритму бджолиного рою є спільне дослідження перспективних областей та їхніх околиць. У кінці роботи алгоритму популяція розв'язків буде складатися з двох частин: бджоли з кращими значеннями цільової функції елітних ділянок, а також групи бджіл з випадковими значеннями ЦФ.

Рис. 1. Словесний опис алгоритму бджіл

```
#include <stdio.h>
#include <cstdlib>
#include <time.h>
#include <math.h>
#include <iostream>
#include <gl\glut.h>
#include <Windows.h>
/*DISPLAY*/
#define WIDTH 400
#define HEIGHT 400
/*GENERAL*/
#define GLOBAL 0.3
#define PERSONAL 0.3
#define INERT 0.3
#define DELAY 100
/*SWARM*/
#define N 60 //NUmber of agents
#define K 200 //Number of moves
/* LIMITS */
#define Xmin -4
#define Xmax 6
#define Ymin -4
#define Ymax 6
double velocity[N][2];
double swarm[N][2];
double BestPers[N][3];
double BestGlob[3];
float Lrand(float min, float max)
{
return (min + ((rand() % 10000) / 1e4) * (max
- min));
}
void init() //Generate initial positions and
directions
{
srand(time(NULL));
glClearColor(0.67, 0.2, 0.8, 0);
glMatrixMode(GL_PROJECTION);
gluOrtho2D(Xmin, Xmax, Ymin, Ymax);
for(int i = 0; i < N; i++)
{
swarm[i][0] = Lrand(Xmin, Xmax);
swarm[i][1] = Lrand(Ymin, Ymax);
velocity[i][0] = Lrand(-1, 1);
velocity[i][1] = Lrand(-1, 1);
BestPers[i][2] = 100000;
}
BestGlob[2] = 100000;
}
void MoveWasp() //Moves the whole wasp
{
for(int i = 0; i < N; i++)
{
for(int a = 0; a < 2; a++)
{
velocity[i][a] = INERT * velocity[i][a] +
Lrand(-1, 1) * GLOBAL * (BestGlob[a] -
swarm[i][a]) +
Lrand(-1, 1) * PERSONAL * (BestPers[i][a] -
swarm[i][a]);
swarm[i][a] = swarm[i][a] + velocity[i][a];
}
}
}
int chkBrd(int i) //Verifies agent's position
{
if((Xmin <= swarm[i][0]) && (swarm[i][0] <=
Xmax) && (Ymin <= swarm[i][1]) &&
(swarm[i][1] <= Ymax))
return 1;
else
return 0;
}
double calculate(int i)
{
double f;
double a = swarm[i][0], b = swarm[i][1];
f = - 0.1 * fabs(1 - b) - 0.1 * fabs(1 - a) -
j0(20 * a * a + b * b);
// f = - 0.1 * fabs(1 - b) - 0.1 * fabs(1 -
a) - j0(a * a + b * b);
// f = a * sin(4 * a) + 1.1 * b * sin(2 * b);
return f;
}
void checkBP(int i, double a)
{
if(a < BestPers[i][2])
{
BestPers[i][2] = a;
BestPers[i][1] = swarm[i][1];
BestPers[i][0] = swarm[i][0];
}
}
void checkBG(int i, double a)
{
if(a < BestGlob[2])
{
BestGlob[2] = a;
BestGlob[1] = swarm[i][1];
BestGlob[0] = swarm[i][0];
}
}
void draw(void)
{
glColor3f(1, 1, 0);
glBegin(GL_POINTS);
for(int i = 0; i < N; i++)
glVertex2dv(swarm[i]);
glVertex2d(BestGlob[0], BestGlob[1]);
glEnd();
glFlush();
glutSwapBuffers();
}
void display(int i)
{
std::cout << i << "\t" << BestGlob[0] << "\t"
<< BestGlob[1] << "\t" << BestGlob[2] <<
"\n";
}
void go()
{
double a;
for(int k = 0; k < K; k++)
{
for(int i = 0; i < N; i++)
{
if(chkBrd(i))
{
a = calculate(i);
checkBP(i, a);
checkBG(i, a);
}
}
display(k);
draw();
MoveWasp();
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
Sleep(DELAY);
}
return;
}
void main(int argc, char **argv)
{
glutInit(&argc;, argv);
glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGB);
glutInitWindowPosition(600,220);
glutInitWindowSize(WIDTH, HEIGHT);
glutCreateWindow("Wasps are alive!!!");
glPointSize(3.0);
glEnable(GL_POINT_SMOOTH);
init();
glutDisplayFunc(go);
glutIdleFunc(go);
glutMainLoop();
}
```

Рис. 2. Програмна реалізація алгоритму поведінки бджолиного рою

Програмна реалізація цього алгоритму була здійснена на мовах C++ та OpenGL, код програми наведено нижче (див. рис. 2).

Після створення певних налаштувань та ініціалізації вихідних даних було проведено числові розрахунки та порівняльний аналіз за кількістю ітерацій авторської програми з відомими засобами комп'ютерної математики (MS Excel, MATLAB), які наведено в *табл. 1*.

Східно-Європейський журнал передових технологій. 2012. Т. 1. № 2. С. 45–51.

2. Kantorovich L. V. On the translocation of masses. *Journal of Mathematical Sciences*. 2006. Vol. 133. No. 4. P. 1381–1382.

3. Нечитайло Н. М., Мартемьянов С. В., Панасов В. Л. Транспортная задача по критерию минимума суммарного времени и модификация метода Балинского для ее решения. *Инженерный вестник Дона*. 2016. Т. 43. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3796

Таблиця 1

Числові розрахунки та порівняльний аналіз за кількістю ітерацій

Алгоритм	Розв'язок задачі	Значення цільової функції	Кількість ітерацій
Пошук рішення в Microsoft Excel	$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 6 \\ 11 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 3 \end{pmatrix}$	$F_{opt}^* = 96$ ум. од.	6
Функція intprog в MATLAB	$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 6 \\ 11 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 3 \end{pmatrix}$	$F_{opt}^* = 96$ ум. од.	3
Авторський алгоритм «поведінки рою бджіл»	$X = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 6 \\ 11 & 4 & 0 \\ 0 & 3 & 3 \end{pmatrix}$	$F_{opt}^* = 96$ ум. од.	1

ВИСНОВКИ

У даній статті успішно вирішено ситуативну задачу про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами, що представляє собою досить складний клас транспортних завдань. Згідно з табл. 1 витрати на маршрути складуть 96 ум. од. за умови розподілу транспортних коштів відповідно до матриці. У результаті виконання завдання наведено всі основні аспекти математичного та комп'ютерного моделювання задач з розривною цільовою функцією. Автори спеціально вибрали завдання малої розмірності з метою спростити виклад основного матеріалу та для більшої наочності. У подальших дослідженнях планується вирішити завдання з тестування наведеної на рис. 2 програми для задач великої розмірності.

Особливу увагу приділено комп'ютерному моделюванню задачі про розподіл транспортних засобів з фіксованими доплатами. На відміну від ряду останніх робіт, поряд зі стандартними підходами комп'ютерного моделювання, такими як MS Excel та MATLAB, у статті вперше використано алгоритм «поведінки рою бджіл» для вирішення наведеної задачі. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. Нефьодов Л., Маркозов Д. Багатокритеріальна математична модель вибору постачальників товарів, об'ємів закупівлі та маршрутів доставки товару до дистриб'ютора.

4. Мазур В. Л. Проблеми промислової політики в Україні. *Економіка України*. 2016. № 11. С. 3–18; № 12. С. 47–60.

5. Feng Z., Froese B. D., Liang R. Freeform illumination optics construction following an optimal transport map. *Applied Optics*. 2016. Vol. 55. Issue 16. P. 4301–4306.

6. Mahmud M. R., Pritom R. M., Islam M. R. Optimization of collaborative transportation scheduling in supply chain management with TPL using chemical reaction optimization // Computer and Information Technology (ICCIT), 2017. 20th International Conference. IEEE, 2017. P. 1–6.

7. Hlinenko L., Fast V. Optimization of the set head path for SMD mounting apparatus // Modern Problems of Radio Engineering. Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016. 13th International Conference. IEEE, 2016. P. 93–95.

8. Sandberg E., Pal R., Hemila J. Exploring value creation and appropriation in the reverse clothing supply chain. *The International Journal of Logistics Management*. 2018. Vol. 29. No. 1. P. 90–109.

9. Das A., Adnan T. M., Hasan S., Rahman K. M. Analyzing logistics cost factors and developing cost optimization tools and techniques for a cement industry (Case study: Lafarge Surma Cement Ltd). *International Research Journal of Engineering and Technology* (IRJET). 2017. Vol. 04. Issue 04. P. 1504–1512.

10. Liu, C.-L., Lee, M.-Y. Integration, supply chain resilience, and service performance in third-party logistics providers. *The International Journal of Logistics Management*. 2018. Vol. 29. No. 1. P. 5–21.

11. Лысенко И. В., Бутенко В. О. Анализ возможностей решения задач дискретной оптимизации средствами систем компьютерной математики. *Системи обробки інформації*. 2013. Вип. 5. С. 96–101.

12. Matott L. S., Leung K., Sim J. Application of MATLAB and Python optimizers to two case studies involving groundwater flow and contaminant transport modeling. *Computers & Geosciences*. 2011. Vol. 37. Issue 11. P. 1894–1899.

13. Šimůnek J., van Genuchten M. T. Contaminant Transport in the Unsaturated Zone: Theory and Modeling. In The Handbook of Groundwater Engineering. Third Edition. CRC Press, 2016. P. 221–254.

14. Miehe C., Mauthe S. Phase field modeling of fracture in multi-physics problems. Part III. Crack driving forces in hydro-poro-elasticity and hydraulic fracturing of fluid-saturated porous media. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2016. Vol. 304. P. 619–655.

REFERENCES

Das, A., Adnan, T. M. and Hasan S., Rahman K. M. "Analyzing logistics cost factors and developing cost optimization tools and techniques for a cement industry" (Case study: Lafarge Surma Cement Ltd). *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 04. Issue 04 (2017): 1504–1512.

Feng Z., Froese B. D. and Liang R. Freeform illumination optics construction following an optimal transport map. *Applied Optics*. Vol. 55. Issue 16 (2016): 4301–4306.

Hlinenko, L., and Fast, V. "Optimization of the set head path for SMD mounting apparatus". *Modern Problems of Radio Engineering. Telecommunications and Computer Science (TCSET)*. IEEE, 2016. 93-95.

Kantorovich, L. V. "On the translocation of masses". *Journal of Mathematical Sciences*. Vol. 133. No. 4 (2006): 1381–1382..

Liu, C.-L., and Lee, M.-Y. "Integration, supply chain resilience, and service performance in third-party logistics providers". *The International Journal of Logistics Management*. Vol. 29, no. 1: 5-21.

Lysenko, I. V., and Butenko, V. O. "Analiz vozmozhnostey resheniya zadach diskretnoy optimizatsii sredstvami sistem kompyuternoy matematiki " [Analysis of possibilities of solving the problems of discrete optimization by means of computer mathematics systems]. *Systemy obrobky informatsii*, no. 5 (2016): 96-101.

Mahmud, M. R., Pritom, R. M., and Islam, M. R. "Optimization of collaborative transportation scheduling in supply chain management with TPL using chemical reaction optimization". *Computer and Information Technology (ICCIT)*. IEEE, 2017. 1-6.

Matott, L. S., Leung, K., and Sim, J. "Application of MATLAB and Python optimizers to two case studies involving groundwater flow and contaminant transport modeling". *Computers & Geosciences.* Vol. 37, no. 11 (2011): 1894-1899.

Mazur, V. L. "Problemy promyshlennoy politiki v Ukraine" [Problems of industrial policy in Ukraine]. *Ekonomika Ukrainy*, no. 11 (2016): 3-18; no 12 (2016): 47-60.

Miehe, C., and Mauthe, S. "Phase field modeling of fracture in multi-physics problems. Part III. Crack driving forces in hydro-poro-elasticity and hydraulic fracturing of fluid-saturated porous media". *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering.* Vol. 304 (2016): 619-655.

Nechitaylo, N. M., Martemyanov, S. V., and Panasov, V. L. "Transportnaya zadacha po kriteriyu minimuma summarnogo vremeni i modifikatsiya metoda Balinskogo dlya yee resheniya" [Transport problem by the criterion of minimum total time and modification of Balinsky's method for solving it]. Inzhenernyy vestnik Dona. 2016. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3796

Nefodov, L., and Markozov, D. "Bahatokryterialna matematychna model vyboru postachalnykiv tovariv, obiemiv zakupivli ta marshrutiv dostavky tovaru do dystrybiutora" [Multicriterial mathematical model of the choice of suppliers of goods, volumes of purchase and routes of delivery of goods to the distributor]. *Skhidno-Yevropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii.* Vol. 1, no. 2 (55) (2012): 45-51.

Sandberg, E., Pal, R., and Hemila, J. "Exploring value creation and appropriation in the reverse clothing supply chain". *The International Journal of Logistics Management.* Vol. 29, no. 1 (2018): 90-109.

Simunek, J., and van Genuchten, M. T. "Contaminant transport in the unsaturated zone: Theory and modeling". In T*he Handbook of Groundwater Engineering*, 221-254. CRC Press, 2016.