

УДК 004.032.26

**Ю.Л. Дікова**

Донецький національний технічний університет, м. Красноармійськ  
кафедра комп'ютерної інженерії  
E-mail: juli.dikova@gmail.com

## **РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБУ ОПТИМАЛЬНОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ШАХТНИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ОСНОВІ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ СТРАТЕГІЇ**

*У роботі розглядається рішення задачі транспортування матеріалів в умовах шахти на основі еволюційної стратегії. Пропонований спосіб вирішує задачу пошуку оптимального маршруту з врахуванням таких обмежень, як тип транспортного засобу, маршрут між вузлами ділянок та економічні обмеження. Проведені чисельні дослідження доводять ефективність модифікації еволюційної стратегії, а саме, запропонований спосіб дозволяє мінімізувати час транспортування з 2,5-3 годин до 1,8 та обрати найбільш придатний транспортний засіб для конкретного маршруту.*

**Ключові слова:** транспортування матеріалів, еволюційна стратегія, обмеження, оптимальний маршрут.

**Загальна постановка проблеми.** Для підвищення ефективності роботи шахтних підприємств на сьогодні існує велика кількість комп'ютерних систем, серед яких є і системи шахтної логістики. Основною метою застосування таких систем є вирішення проблеми недостатньої ефективності управління потоковими процесами, такими як транспортування матеріалів по всіх необхідних ділянках.

На відміну від звичайної задачі пошуку оптимального маршруту, що вирішується за допомогою логістичних систем, при виборі маршруту транспортування в умовах шахтних підприємств необхідно враховувати такі особливості, як:

- маршрут між деякими пунктами транспортування для використовуваних транспортних засобів може бути відсутнім;
- деякі маршрути можуть бути реалізовані з використанням декількох транспортних засобів, що веде до необхідності врахування швидкості транспортного засобу;
- економічні обмеження, пов'язані з вартістю транспортування, транспортних засобів, прокладки маршруту та ін.

Таким чином, задача пошуку оптимального маршруту в умовах шахтних підприємств зводиться до задачі вибору маршруту і типу транспортного засобу, що дозволять мінімізувати час транспортування і задовольняють економічним обмеженням.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Задача пошуку оптимального маршруту відноситься до задач комбінаторної оптимізації [1-2], а пошук маршруту в умовах шахтних ділянок з врахуванням обмежень – до вирішення задачі з додатковими комбінаторними обмеженнями [3]. У зв'язку з великим практичним значенням таких задач на сьогоднішній день існують групи методів їх вирішення, що можна поділити на точні методи [4 – 7], та наближені до точних. В роботі [8] наведена порівняльна характеристика основних методів вирішення задачі комбінаторної оптимізації, виявлено основні недоліки та переваги методів, та відзначено, що на сьогоднішній день є доцільним використовувати метаевристики для рішення задач комбінаторної оптимізації.

**Постановка задач дослідження.** Метою роботи є розробка та дослідження способу транспортування матеріалів в умовах шахти, що дозволить врахувати типи та характеристи-

ки використовуваних транспортних засобів, економічні обмеження. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести модифікацію метаевристичного способу для забезпечення виконання таких критеріїв: можливість врахування економічних та технічних обмежень, простота реалізації, отримання рішень, наближених до точних;

- визначити структуру алгоритму розроблюваного способу з врахуванням модифікацій;
- провести чисельні дослідження;
- оцінити ефективність запропонованого способу на конкретному об’єкті.

**Результати розробки та досліджень.** Згідно з проведеними дослідженнями, для вирішення поставленого завдання в роботі пропонується використовувати еволюційні метаевристики [9], а саме еволюційну стратегію [10], модифікувавши її таким чином:

- на відміну від класичної еволюційної стратегії, в запропонованому способі буде використано цілочисельні типи особин;

- буде використано три популяції хромосом, що підвищує ймовірність знайдення глобального оптимуму;

- додавання штрафної функції для врахування обмежень;

- забезпечення збіжності за рахунок динамічної кількості (залежить від номеру ітерації) кращих особин, що відбираються в третю популяцію з другої.

Запропонований спосіб складається з основних блоків, наведених на рис. 1.

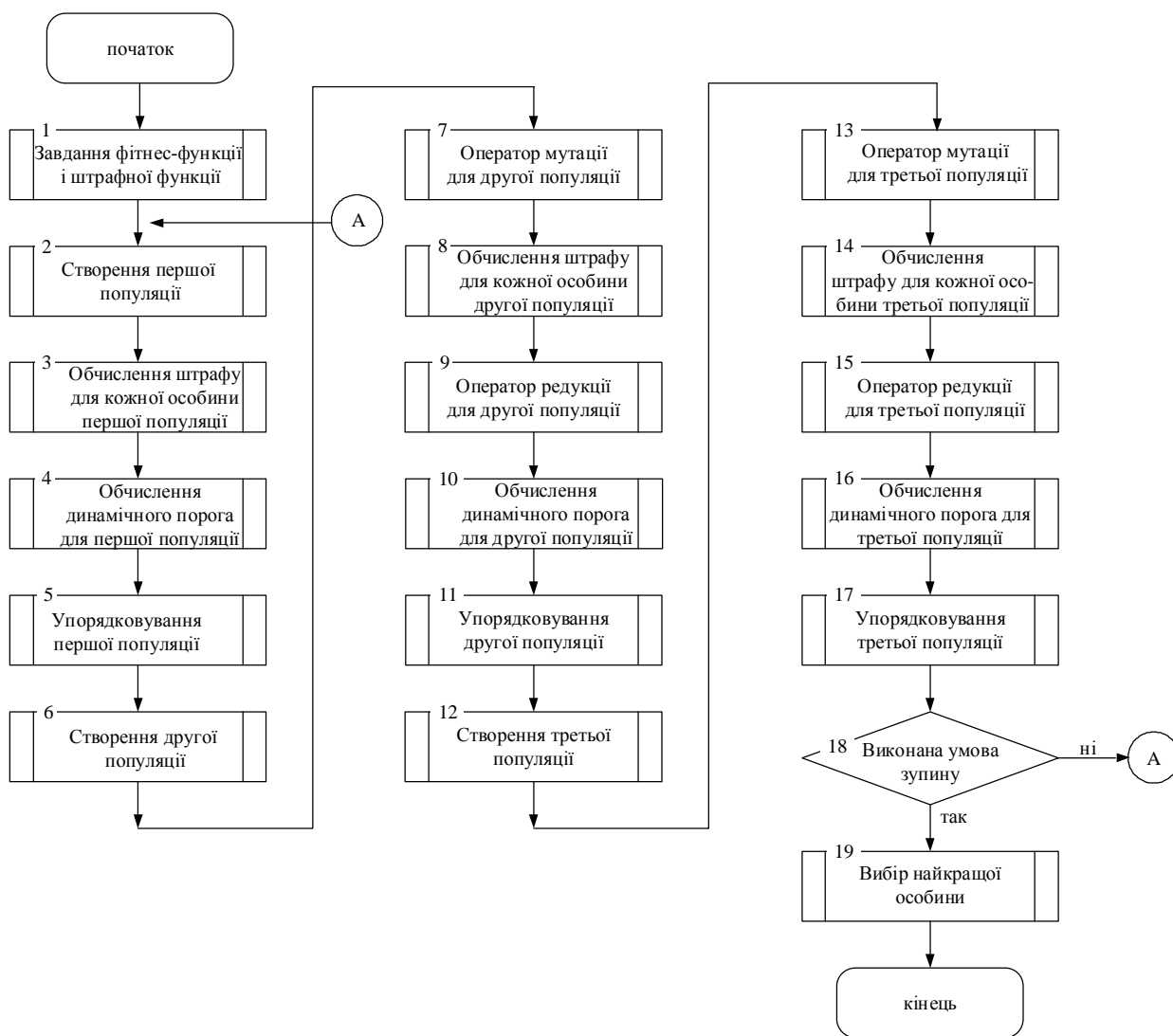


Рисунок 1 – Граф-схема алгоритму роботи еволюційної стратегії

Розглянемо детально кожен з блоків.

1) Завдання фітнес-функції.

Фітнес-функція  $F(x^z)$  в роботі представляє собою час транспортування транспортним засобом  $z$ -го типу. Штрафна функція  $r(x^z)$  представляє собою суму функцій-обмежень з врахуванням транспортних засобів  $z$ -го типу: обмеження на вартість транспортування, транспортних засобів, прокладення маршруту та ін.

$$F(x^z) = \frac{l(x^z)}{v^z} \rightarrow \min_{x^z}, \quad r(x^z) \leq 0, \quad (1)$$

$$l(x^z) = w_{x_i^z, x_{i+1}^z}^z + \sum_{i=1}^{M-1} w_{x_i^z, x_{i+1}^z}^z, \quad (2)$$

де  $w_{x_i^z, x_{i+1}^z}^z$  – вага ребра  $(x_i^z, x_{i+1}^z)$ , зв'язаного з транспортним засобом  $z$ -го типу,  $x_i^z, x_{i+1}^z \in V$ ,

$V = \{1, \dots, M\}$  – множина вершин,

$x^z$  – вектор номерів пунктів транспортування матеріалів для шахти, зв'язаний з транспортним засобом  $z$ -го типу,

$M$  – довжина вектору  $x^z$ ,

$l(x^z)$  – довжина маршруту для транспортного засобу  $z$ -го типу,

$v^z$  – швидкість транспортного засобу  $z$ -го типу.

2) Створення першої популяції  $H^1$ .

В якості хромосоми, що містить номери пунктів транспортування матеріалів для шахти і типу транспортного засобу, і являє  $s$ -ту особину популяції з цілочисельними генами, виступає випадково згенерований вектор:

$$h_s^z = (h_{s1}^z, \dots, h_{sk}^z, \dots, h_{sK}^z), \quad s \in \overline{1, Q^1}, \quad (3)$$

де  $Q^1$  – потужність популяції,

$h_{sk}^z$  – значення  $k$ -го гена хромосоми,

$K$  – число генів хромосоми.

2. Обчислення штрафу для кожної  $s$ -й особини.

$$p_s^z = \max\{0, r(h_s^z)\}. \quad (4)$$

3. Обчислення значення динамічного порога  $\Delta^1$  для першої популяції  $H^1$ .

$$\Delta^1 = \frac{1}{Q^1} \sum_{s=1}^{Q^1} p_s^z. \quad (5)$$

4. Упорядкування першої популяції  $H^1$ .

Упорядкування популяції відбувається наступним чином:

– розбиття першої популяції  $H^1$  на субпопуляцію  $H^{11}$ , що містить особини, для яких  $p_s^z < \Delta^1$ , та субпопуляцію  $H^{12}$ , що містить особини, для яких  $p_s^z \geq \Delta^1$ ;

– упорядкування субпопуляції  $H^{11}$  за зростанням значення фітнес-функції;

– упорядкування субпопуляції  $H^{12}$  за зростанням штрафу;

– об'єднання впорядкованих субпопуляцій  $H^{11}$  та  $H^{12}$  в популяцію  $H^1$  так, що перша частина популяції буде відповідати впорядкованій субпопуляції  $H^{11}$ , а друга частина буде відповідати впорядкованій субпопуляції  $H^{12}$ .

5. Створення другої популяції  $H^2$ .

$Q^2$  перших особин із впорядкованої популяції  $H^1$  утворює другу популяцію  $H^2$ , що відповідає редукції на основі стратегії  $(\mu, \lambda)$ , де  $\mu = Q^2$ ,  $\lambda = Q^1$ .

6. Оператор мутації.

Для забезпечення різноманітності хромосом, тобто різноманітності векторів номерів пунктів транспортування матеріалів для шахти, що задовольняють (1) використовується оператор мутації для кожної хромосоми на основі перестановки 2-орт [11], що полягає в наступному: вибирається наступна  $s$ -та хромосома, випадковим чином обираються з набору генів цієї хромосоми два гени  $c1$  та  $c2$ , при чому вибір цих генів продовжується до тих пір, поки не буде виконана умова  $1 < c2 - c1 < K - 1$ .

На основі хромосоми  $h_s = h_{s1}, \dots, h_{s,c1-1}, h_{s,c1}, \dots, h_{s,c2}, h_{s,c2+1}, \dots, h_{sK}$  створюється хромосома  $\tilde{h}_s = h_{s1}, \dots, h_{s,c1-1}, h_{s,c2}, \dots, h_{s,c1}, h_{s,c2+1}, \dots, h_{sK}$ , тобто гени  $h_{s,c1}, \dots, h_{s,c2}$  переставляються у зворотному порядку.

7. Обчислення штрафу для кожної  $s$ -й особини. Виконується аналогічно формулі (4).

8. Оператор редукції.

Редукція відбувається на основі стратегії (1+1)[12]:

Якщо  $\tilde{p}_s^z < p_s^z$  або  $\tilde{p}_s^z = p_s^z \wedge F(\tilde{h}_s) < F(h_s)$ , то  $h_s = \tilde{h}_s$ ,  $p_s^z = \tilde{p}_s^z$ .

9. Обчислення значення динамічного порога  $\Delta^2$  для другої популяції  $H^2$ . Виконується аналогічно формулі (5).

10. Упорядкування другої популяції  $H^2$ .

Упорядкування другої популяції відбувається аналогічно упорядкуванню першої популяції, а саме таким же чином розбивається на субпопуляції  $H^{21}$ , що містить особини, для яких  $p_s^z < \Delta^2$ , та  $H^{22}$ , що містить особини, для яких  $p_s^z \geq \Delta^2$ . Потім відбувається упорядкування субпопуляцій  $H^{21}$  та  $H^{22}$  за зростанням значення фітнес-функції та за зростанням штрафу відповідно. Далі відбувається їх об'єднання в популяцію  $H^2$  так, що перша частина популяції буде відповідати впорядкованій субпопуляції  $H^{21}$ , а друга частина буде відповідати впорядкованій субпопуляції  $H^{22}$ .

11. Створення третьої популяції  $H^3$ .

Для першої ітерації  $Q^3$  перших особин із впорядкованої популяції  $H^2$  утворює третю популяцію  $H^3$ , що відповідає редукції на основі стратегії  $(\mu, \lambda)$ , де  $\mu = Q^3$ ,  $\lambda = Q^2$ . Для кожної наступної ітерації  $Q^3 - j$  перших особин із впорядкованої популяції  $H^2$  замінюють  $Q^3 - j$  останніх особин третьої популяції  $H^3$ , де  $j$  – номер поточної ітерації.

12. Оператор мутації.

Виконується на основі перестановки 2-орт для кожної хромосоми.

13. Обчислення штрафу для кожної  $s$ -ї особини. Виконується аналогічно формулі (4).

14. Оператор редукції.

Редукція відбувається на основі стратегії (1+1).

Якщо  $\tilde{p}_s^z < p_s^z$  або  $\tilde{p}_s^z = p_s^z \wedge F(\tilde{h}_s) < F(h_s)$ , то  $h_s = \tilde{h}_s$ ,  $p_s^z = \tilde{p}_s^z$ .

15. Обчислення значення динамічного порога  $\Delta^3$  для третьої популяції  $H^3$ . Виконується аналогічно формулі (5).

16. Упорядкування третьої популяції  $H^3$  відбувається аналогічно упорядкуванню

першої та другої популяції.

17. Умова зупину.

У якості умови зупину використано наступні умови:

- перевищення максимальної кількості ітерацій  $N$ ;
- перевищення кількості поколінь, протягом яких результат не покращується.

Результатом роботи запропонованого способу є хромосома (вектор номерів пунктів транспортування матеріалів для шахти)  $h_{g*}$  з мінімальним значенням фітнес-функції  $F(h_{g*})$ . Запропонований спосіб забезпечує як різноманіття особин (завдяки популяціям  $H^1$  та  $H^2$ ), так і збереження кращих особин (завдяки стратегії (1+1)), з врахуванням економічних та технічних обмежень.

Як об'єкт, на якому проводилися дослідження, була обрана ділянка шахтного транспорту ШТЗ шахти «1/3 Новгородівська» ДП «Селидіввугілля» (див. рис. 2). На даний момент час транспортування шахтних матеріалів в межах ділянки становить у середньому 3-2,5 години. Для транспортування матеріалів використано такі транспортні засоби, як акумуляторні шахтні електровози АМ8Д, вантажні автомобілі КамАЗ, КрАЗ, в деяких випадках – канатна відкатка.

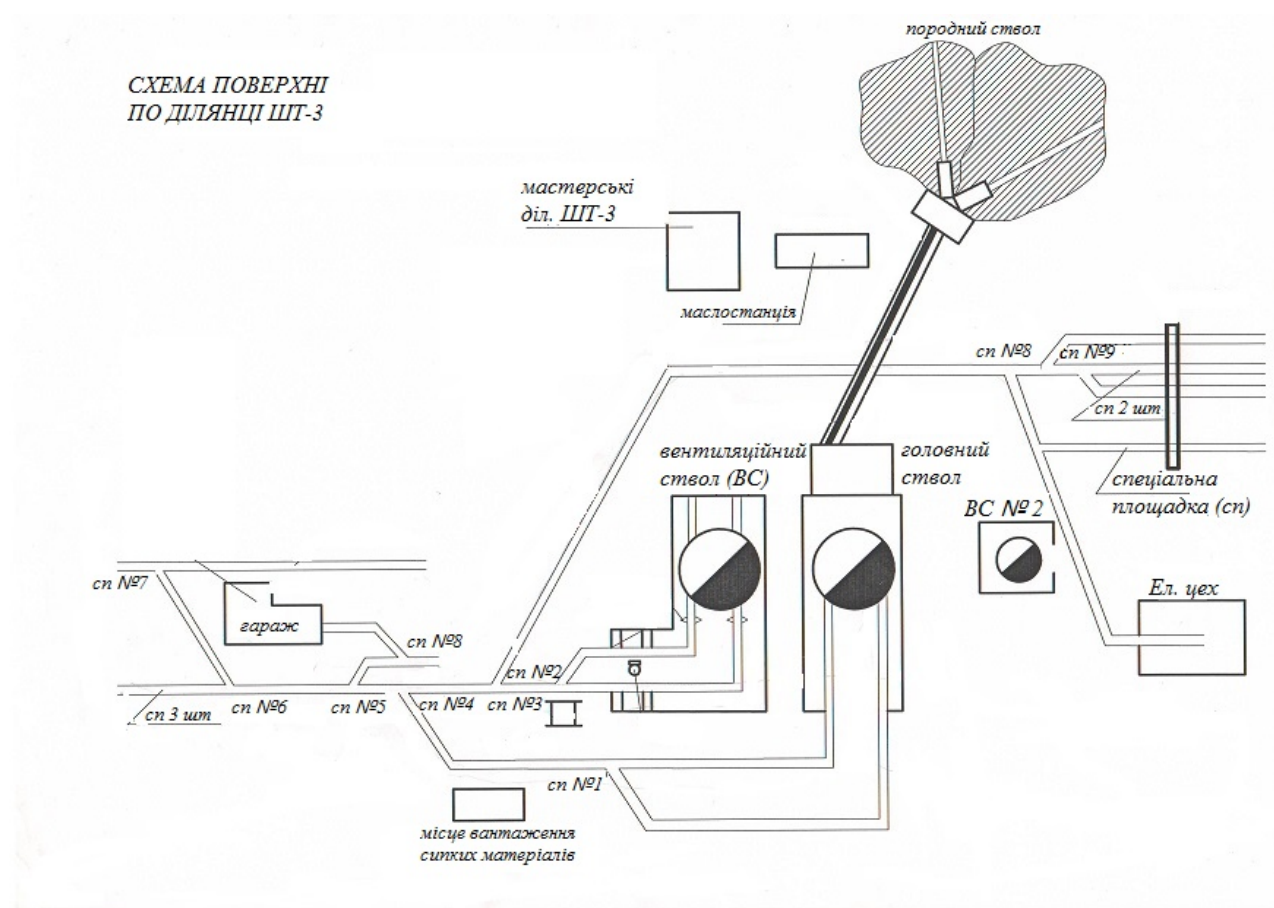


Рисунок 2 – Схема поверхні ділянки ШТЗ

Для оцінки ефективності запропонованого способу було проведено ряд експериментів по пошуку оптимального маршруту між 11 основними пунктами транспортування на обраній ділянці. За еталонний результат було обрано маршрут, знайдений шляхом використання метода гілок та меж. Згідно цього метода, оптимальний час транспортування становить 1,674 години, а алгоритмічна складність складає  $\frac{(n-1)!}{2}$ , де  $n$  – кількість пунктів транспортуван-

ня. Далі для запропонованого способу визначалася відносна похибка, що обчислюється як:

$$\varepsilon = \frac{|t - t^*|}{t^*} 100\%, \quad (6)$$

де  $t$  – час, отриманий методом гілок та меж;  $t^*$  – час, отриманий запропонованим способом. При цьому кількість ітерацій в запропонованому способі змінювалася від 10 до 100.

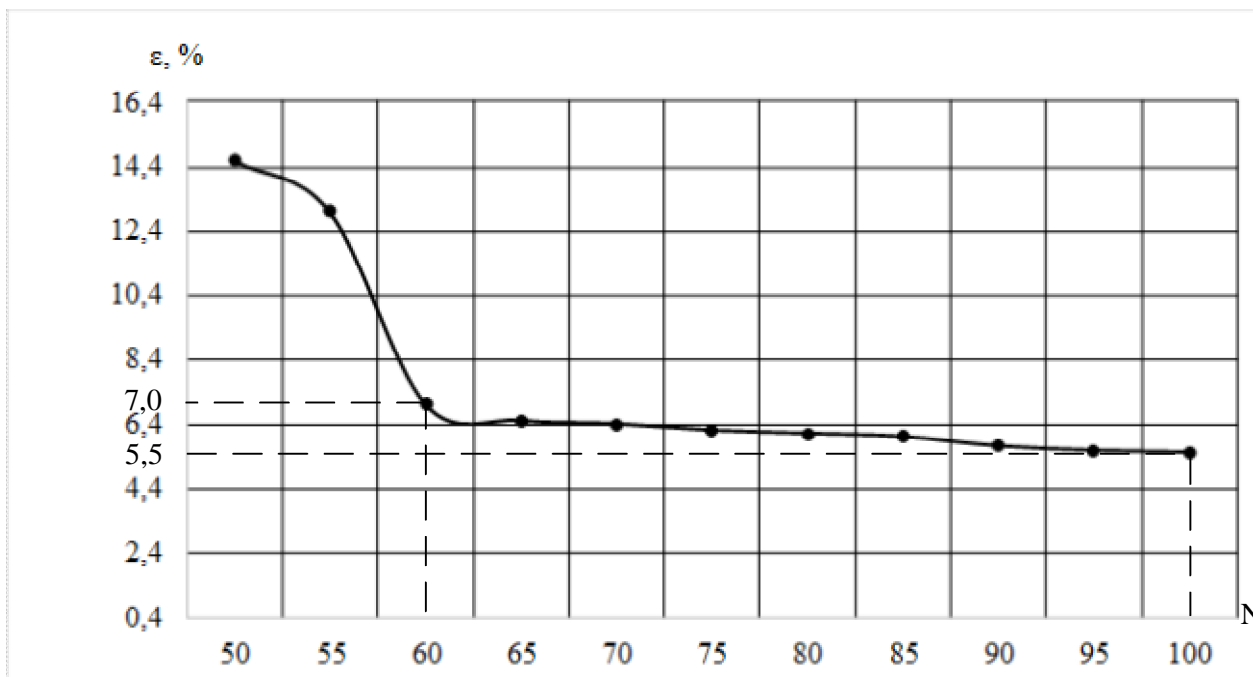


Рисунок 3 – Залежність відносної похибки від кількості ітерацій у запропонованому способі

З аналізу рисунку 3 можна зробити висновок, що для отримання результату, наближеного до точного, в запропонованому способі достатньо використовувати 60 ітерацій (похибка складає 7%), а при використанні 100 ітерацій похибка складатиме 5,5 %.

Оскільки використання точних методів на великій кількості пунктів транспортування не є доцільним через велику алгоритмічну складність та неможливість врахування обмежень, результати роботи запропонованого способу порівнювалися з результатами роботи алгоритмів такого ж класу. Для порівняння було взято три модифікації генетичного алгоритму [8, 13-14], як одного з найпопулярніших метаевристичних алгоритмів, та запроповану еволюційну стратегію. Для всіх способів випадковим чином було сформовано вхідні дані, тобто було взято по 100 хромосом в початковій популяції, кожна з яких містить стільки генів, скільки номерів пунктів транспортування. Результати експериментів показали, що для пошуку маршруту, наближеного до оптимального, для 11 пунктів транспортування генетичним алгоритмам типу 1, типу 2 та типу 3 знадобилося 94, 79 та 63 ітерації відповідно, а запропонованому способу - 59 ітерацій (рис. 4). При цьому отриманий час транспортування складає 3,1, 2,47 та 1,86 годин для генетичних алгоритмів, та 1,8 для запропонованого способу (див. табл. 1).

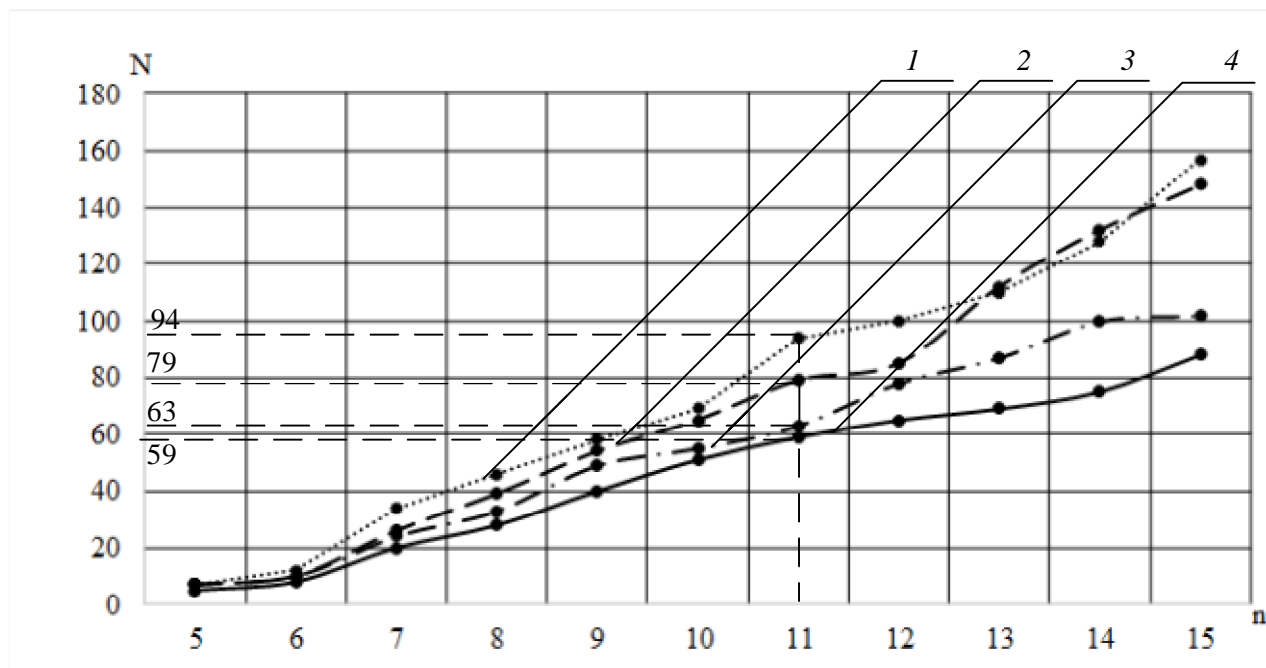


Рисунок 4 – Залежність кількості ітерацій від кількості пунктів транспортування для:  
 1 – генетичного алгоритму 1-го типу, 2 – генетичного алгоритму 2-го типу;  
 3 – генетичного алгоритму 3-го типу, 4 – модифікованої еволюційної стратегії

З рисунку 4 видно, що, із збільшенням кількості пунктів збільшується кількість ітерацій, за яку буде знайдено оптимальне рішення, але для запропонованого способу це значення менше, ніж у порівняних.

Таблиця 1 – Отриманий час транспортування

Генетичний алгоритм			Еволюційна стратегія
Тип 1	Тип 2	Тип 3	
t, годин	t, годин	t, годин	t, годин
3,1	2,47	1,86	1,8

З аналізу даних, наведених у таблиці 1, можна зробити висновок, що запропонований спосіб дозволяє отримувати результат, наближений до точного за значно менший час (60 ітерацій проти  $(10!)/2$ ).

**Висновки.**

1. В роботі запропоновано спосіб пошуку оптимального маршруту транспортування матеріалів на основі модифікованої еволюційної стратегії з цілочисельними особинами.

2. Для оцінки запропонованого способу було проведено ряд експериментів, під час яких результати роботи запропонованої еволюційної стратегії було порівняно з модифікованими генетичними алгоритмом [8] та зі звичайним генетичним алгоритмом. Результати показали, що, час транспортування скоротився з 3-2,5 годин до 1,8, а кількість ітерацій значно зменшилася, тобто час пошуку оптимального маршруту також скоротився. У порівнянні з модифікованим генетичним алгоритмом різниця не істотна, що доводить ефективність метаевристичних способів.

Для оцінки ефективності запропонованого способу було порівняно результат роботи з методом гілок та меж. Результати показали, що, при 60 ітераціях запропонований спосіб дає похибку у 7%, а при використанні 100 ітерацій похибка становить 5,5%.

3. Використання трьох популяцій та наявність штрафної функції дозволяє вирішувати задачі умовної комбінаторної оптимізації.

4. Використання динамічної кількості (залежить від номеру ітерації) кращих особин, що відбираються в третю популяцію з другої, забезпечує збіжність методу.

#### Список використаної літератури

1. Щербина, О.А. Метаэвристические алгоритмы для задач комбинаторной оптимизации / О.А. Щербина // Таврический вестник информатики и математики, 2014. – № 1. – С. 56 – 72.
2. Сергиенко, И.В. Классификация прикладных методов комбинаторной оптимизации / Сергиенко И.В., Л.Ф. Гуляницкий, С.И. Сиренко // Кибернетика и системный анализ, 2009. – № 5. – С. 71 – 83.
3. Ємець, О.О. знаходження максимального потоку в мережі з додатковими комбінаторними обмеженнями / О.О. Ємець, Є.М. Ємець, Ю.Ф. Олексійчук // Таврический вестник информатики и математики, 2011. – № 1. – С. 43 – 50.
4. Смерічевська, С.В. Стратегія формування транспортно-логістичних кластерів в Україні: інноваційний та інтелектуальний підходи: монографія / С.В. Смерічевська, Є.Є. Федоров, Т.В. Ібрагімхалілова. – Донецьк: Ноулідж, 2013 – 328 с.
5. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
6. Laporte, G. Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem / G. Laporte, M. Gendreau, J-Y. Potvin etc // International Transactions in Operational Research, 2000. – № 7. – pp. 285 – 300.
7. Скобцов, Ю.А. Метаэвристики: монография / Ю.А. Скобцов, Е.Е. Федоров; — Донецк : Ноулідж, 2013. – 426 с.
8. Дикова, Ю.Л. Поиск оптимальной транспортировки материалов в условиях шахты на основе модифицированного генетического алгоритма / Ю.Л. Дикова // Наукові праці ДонНТУ. Серія “Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка”, 2016 – № 1. – С. 109 – 114.
9. Beyer, H.-G. How to analyse evolutionary algorithms / H.-G. Beyer, H.-P. Schwefel, I. Wegener // Theor. Comp. Sci, 2002. – vol. 287. – pp. 101 – 130.
10. Родзин, С.И. Поиск оптимальных решений комбинаторных задач: теория, эволюционные алгоритмы и их приложения для проблемно-ориентированных информационных систем / С.И. Родзин, О.Н. Родзина // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование, 2014. – № 4(19). – С. 1 – 15.
11. Borisovsky, P.A. A study on performance of the (1+1)-evolutionary algorithm / P.A. Borisovsky, A.V. Eremeev // Foundations of Genetic Algorithms 7; ed. by De Jong K., R. Poli, J. Rowe. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003. – pp. 271 – 287.
12. Базилевич, Р. Розв'язування задачі комівояжера великих розмірностей методом спільних ребер / Р. Базилевич, Р. Кутельмах, А. Томчук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології, 2014. – № 800. – С. 278 – 285
13. Goldberg, D.E. Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning / D.E. Goldberg. – MA: Addison-Wesley, 1989. – 412 p.
14. Меньяйлов, Е.С. Обзор и анализ существующих модификаций генетических алгоритмов / Е.С. Меньяйлов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, 2015. – № 70. – С. 244 – 254.



## References

1. Scherbina, O.A. (2014), «Metaevristicheskie algoritmyi dlya zadach kombinatornoy optimizatsii», *Tavrisheskiy vestnik informatiki i matematiki*, № 1, pp. 56 – 72.
2. Sergienko, I.V., Gulyanitskiy L.F. and Sirenko S.I. (2009), «Klassifikatsiya prikladnyih metodov kombinatornoy optimizatsii», *Kibernetika i sistemnyi analiz*, № 5, pp. 71 – 83.
3. Emets, O.O., Emets E.M. and OleksIychuk Yu.F. (2011), «Znahodzhennya maksimalnogo potoku v merezhl z dodatkovimi kombInatorni-mi obmezhenniyami», *Tavrisheskiy vestnik informatiki i matematiki*, № 1, pp. 43 – 50.
4. SmerIchevska, S.V., Fedorov E.E. and Ibragimhaiilova T.V. (2013), *StrategIya formuvannya transportno-logIstichnih klasterIv v Ukrayini: Innovatsiyniy ta intelektualniy podhodi* [Strategy of formation of transportation and logistics clusters in Ukraine: innovation and intellectual approach], Noulidzh, Donetsk, Ukraine.
5. Rutkovskaya, D. (2006), *Neyronnyie seti, geneticheskie algoritmyi i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems], Goryachaya liniya – Telekom, Moskow, Russian Federation.
6. Laporte, G., Gendreau M., Potvin J-Y. and etc (2000). «Classical Heuristics for the Vehicle Routing Problem», *International Transactions in Operational Research*, № 7, pp. 285 – 300.
7. Skobcov, Y.A. and Fedorov, E.E. (2013), *Metaevristiki* [Metaheuristics], Noulidzh, Donetsk, Ukraine.
8. Dikova, Yu.L. (2016), «Poisk optimalnoy transportirovki materialov v usloviyah shahtyi na osnove modifitsirovannogo geneticheskogo algoritma», *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya "Informatika, kibernetika ta obchislyvalna tehnika"*, № 1, pp. 109-114.
9. Beyer, H.-G., Schwefel H.-P. and Wegener I. (2002). «How to analyse evolutionary algorithms», *Theor. Comp. Sci.*, vol. 287, pp. 101 – 130.
10. Rodzin, S.I and Rodzina O.N. (2014), « Poisk optimalnyih resheniy kombinatornyih zadach: teoriya, evolyutsionnyie algoritmyi i ih prilozheniya dlya problemno-orientirovannyih informatsionnyih sistem», *Informatika, vyichislitel'naya tehnika i inzhenernoe obrazovanie*, №4 (19), pp. 1 – 15.
11. Borisovsky, P. A. and Eremeev A.V. (2003) «A study on performance of the (1+1)-evolutionary algorithm», *Foundations of Genetic Algorithms 7*, pp. 271 – 287.
12. Bazilevich, R., Kutelmah R. and Tomchuk A. (2014). « Rozv'yazuvannya zadachi komivoyazhera velikih rozmirnostey metodom spilnih reber», *Visnik Natsionalnogo universitetu "Lvivska politehnika". Komp'yuterni nauki ta informatsiyni tehnologiyi*, № 800. – pp. 278 – 285.
13. Goldberg, D. E. (1989), «Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning», Addison-Wesley, Boston, MA, USA.
14. Meniaylov, E.S. (2015). « Obzor i analiz suschestvuyuschih modifikatsiy geneticheskikh algoritmov», *Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternye integrirovannyye tehnologii*, № 70, pp. 244-254.

Надійшла до редакції:  
26.04.2016

Рецензент:  
д-р техн. наук, доц. Вовна О.В.

**Ю.Л. Дикова**

**ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»**

**Разработка и исследование способа оптимальной транспортировки материалов в условиях шахтных предприятий на основе эволюционной стратегии**

*В работе рассматривается решение задачи транспортировки материалов в условиях шахты на основе эволюционной стратегии. Предлагаемый способ решает задачу поиска оптимального маршрута с учетом таких ограничений, как тип транспортного средства, мар-*

шрут между узлами участков и экономические ограничения. Проведенные численные исследования доказывают эффективность модификации эволюционной стратегии, а именно, предложенный способ позволяет минимизировать время транспортировки с 2,5-3 часов до 1,8 и выбрать наиболее подходящее транспортное средство для конкретного маршрута.

**Ключевые слова:** транспортировка материалов, эволюционная стратегия, ограничения, оптимальный маршрут.

*Yu.L. Dikova*

*Donetsk National Technical University*

***Development and research of a way of optimal transport of materials in terms of mine enterprises based on evolutionary strategy***

*To date, there is an intensive introduction of modern computer systems on mine enterprises. Among these systems, there are systems of mine logistics, the main purpose of the application of which is to solve the streaming process management inefficiency problems, such as the transportation of materials in all necessary areas. The study of transportation issues has shown that, in contrast to the usual optimum route search problem to be solved by means of computer logistics systems, the choice of transport route should take into account features such as economic constraints, limitations on the use of a particular vehicle, especially laying routes, etc. This leads to the necessity of solving the problem of combinatorial optimization with constraints. To solve this class of problems the main methods such as accurate, neural networks, heuristic and metaheuristic have been analyzed. At the choosing the most appropriate method, the main criteria were the presence of quasi-optimal solution in a short period of time, the possibility of taking into account various constraints, ease of implementation of the method. The paper proposes a method for optimal transportation of materials in a mine with an application of modified evolutionary strategy. Modification of the algorithm is to use the three populations of individuals that provides a variety of both individuals and the preservation of the best individuals and allows taking into account all the constraints. The result of the process is the vector of numbers of points of transportation of materials with a minimum value of the fitness function. To evaluate the effectiveness of the proposed method, numerical studies were conducted in which the result of the proposed method was compared with the result obtained by the method of branches and borders. The comparison showed that the 60 iterations of the proposed method gives results with a relative error of 7%, while increasing the number of iterations, the error is reduced to 5.5%. Also experiments were conducted in which constraints were taken into account. To compare the results of a modified evolutionary strategy 3 modifications of the genetic algorithm as a representative metaheuristic method were taken. The experimental results showed that the proposed modification of the evolutionary strategy reduces the number of iterations to find the optimal solution by 34%, and the resulting transit decreased from 2.5-3 hours to 1.8. The results prove the effectiveness of the proposed modifications.*

**Keywords:** *material handling, evolutionary strategy, constraints, best route.*



**Дікова Юлія Леонідівна**, Україна, закінчила Донецький національний технічний університет, асистент кафедри комп'ютерної інженерії ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова 2, м. Красноармійськ, 853000, Україна). Основний напрям наукової діяльності – комп'ютерні системи діагностики та контролю.