

### Література

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. — М.: БНИТИ, 1998.
2. Замков О. О., Толстопятенко А. В., Черемных Ю. Н. Математические методы в экономике: Учебник // Под общ. ред. д.э.н., проф. А. В. Сидоровича; МГУ им. М. В. Ломоносова. — М.: Изд-во «Дело и Сервис», 2001. — 368 с.
3. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Юнити — Дана, 2000.
4. Мак Томас. Математика рискованного страхования / Пер. с нем. — М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. — 432 с.
5. Ниворожжина Л. И., Морозова З. А. Математическая статистика с элементами вероятностей в задачах с решениями: Учебное пособие. — М.: ИКЦ «МарТ», 2005. — 608 с.
6. Орлов А. И. Теория принятия решений: Учебное пособие. — М.: Изд-во «МарТ», 2004. — 656 с.
7. Пономаренко О. І., Перестюк М. О., Бурим В. М. Сучасний економічний аналіз: У 2-х ч. Ч. І. Мікроекономіка: навч. посіб. — К.: Вища шк., 2004. — 262 с.
8. Gerbal Keller. Statistics for management and economics. — South-Western GENGAGE Learning. — 889 s.

УДК 519.866:164

**Н. В. Ситник**, канд. екон. наук,  
професор кафедри інформаційних систем в економіці  
ДВНЗ «Київський національний економічний  
університет імені Вадима Гетьмана»

**С. О. Черненко**, аспірант кафедри  
інформаційних систем в економіці  
ДВНЗ «Київський національний економічний  
університет імені Вадима Гетьмана»

## МОДЕЛЬ ТА ГЕНЕТИЧНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ ПОРТОВИХ ОПЕРАТОРІВ

У статті розглянуто сукупність методів, що можуть бути використані при розв'язанні оптимізаційних задач, зокрема, задачі визначення оптимальних транспортних маршрутів для портового оператора, встановлено неефективність використання методів, що засновані на знаходженні глобального оптимального максимуму, розроблена математична модель визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора та запропонована структура генетичного алгоритму, що використовує розроблену математичну модель як фітнес-функцію при визначенні прийнятності знайдених рішень.

В статье рассмотрена совокупность методов, что могут быть использованы при решении оптимизационных задач, в частности, задачи определения оптимальных транспортных маршрутов портового оператора, установлена неэффективность использования методов, основанных на нахождении глобального оптимального максимума, разработана математическая модель определения оптимальных транспортных маршрутов для портового оператора и предложена структура генетического алгоритма, который использует разработанную математическую модель как фитнес-функцию при определении приемлемости найденных решений.

The article outlines the set of methods that could be used for solving the optimization tasks, in particular, tasks of finding optimal transport routes of port operator, the inefficiency of methods that are based on finding global optimal maximum has been determined, the mathematical model of defining optimal transport routes of port operator has been developed, the structure of the genetic algorithm that uses developed mathematical model as fitness-function for determining the acceptance of found solution has been offered.

**Ключові слова:** портовий оператор, оптимальний транспортний маршрут, оптимізаційна задача, генетичний алгоритм, математична модель, фітнес-функція, схрещування, мутація, популяція, глобальний оптимальний максимум, локальний оптимальний максимум.

**Ключевые слова:** портовый оператор, оптимальный транспортный маршрут, оптимизационная задача, генетический алгоритм, математическая модель, фитнес-функция, скрещивание, мутация, популяция, глобальный оптимальный максимум, локальный оптимальный максимум.

**Keywords:** port operator, the optimal vehicle routing, optimization problems, genetic algorithm, mathematical model, fitness function, mating, mutation, population, global optimal maximum, local optimum maximum.

Одним із основних елементів в організаційно-правовій моделі управління портами є портовий оператор, функції якого полягають у виконанні вантажно-розвантажувальних робіт на борту суден, пероні та набережній.

Крім того намагаючись бути конкурентоспроможними та надавати максимальну кількість можливих послуг, портові оператори крім стандартних розвантажувально-навантажувальних робіт виконують функції транспортних компаній, отримуючи замовлення від клієнтів на зберігання та транспортування товару з пункту прийому до місця розташування клієнта, що знаходиться за межами території порту, де функціонує портовий оператор. Кількість таких транспортних замовлень у сучасного портового оператора є надзвичайно великою, тому гостро постає питання про організацію їх виконання, а відповідно й побудову оптимальних транспортних маршрутів [1]. Крім того, важливим моментом тут є те, що портовий оператор не завжди виступає транспортною компанією і передоручає виконання транспортування товарів стороннім логістичним компаніям. В такому випадку, класична задача пошуку оптимальних транспортних маршрутів ускладнюється ще й складним вибором можливих субпідрядників логістичних послуг.

Серед усієї сукупності задач, які доводиться виконувати портовому оператору у повсякденній операційній діяльності однією з найскладніших та найважливіших, з точки зору мінімізації витрат та підвищення ефективності діяльності, є задача визначення оптимальних транспортних маршрутів.

Ускладнена специфікою роботи портового оператора класична задача пошуку оптимальних маршрутів відноситься до класу оптимізаційних задач, тому проаналізуємо методи розв'язання оптимізаційних задач та запропонуємо найбільш прийнятний метод розв'язання задачі визначення оптимальних транспортних маршрутів портовим оператором.

В загальному випадку задача оптимізації або пошуку найкращого значення (набору значень) деякої заданої цільової функції є достатньо складним завданням [5, 299]. Наявність значних труднощів та специфічних особливостей в розв'язанні оптимізаційних задач призвело до появи великої кількості методів та алгоритмів для їх вирішення. Як показав аналіз, при їх розробці використовується досить різноманітний математичний апарат: від математичної логіки до теорії динамічних систем, що ускладнює проведення відповідної класифікації. Проте, всі розроблені на сьогодні методи, в залежності від необхідної якості отриманих результатів, можна звести до однієї з двох груп:

а) методи, які завжди призводять до знаходження глобального оптимального рішення, але потребують при цьому недопустимо великої кількості ітерацій та часу;

б) методи, які не завжди призводять до знаходження глобального оптимального рішення, але дають можливість отримати оптимальне локальне рішення. Дані методи характеризуються прийнятною кількістю ітерацій та часу.

До першої групи відносяться методи, в яких робиться спроба як повного перебору при невеликій розмірності задачі, так і максимального скорочення об'єму перебору в протилежному випадку [6; 8]. Відповідно має місце експоненціальна за-

лежність між збільшенням розмірності задачі та часом пошуку оптимального рішення. Найбільш широко використовуваними прийомами скорочення перебору є прийоми цілеспрямованого перебору, засновані на методі «гілок та границь» або методі «неявного перебору», метод динамічного програмування та метод Лагранжа. Методи даної групи при розв'язанні практичних оптимізаційних задач мають лише теоретичний інтерес і їх реалізація є ефективною лише для невеликої кількості задач.

До другої групи відносяться методи послідовного покращення рішень. Вони використовують прийом «зниження вимог», який полягає у відмові від пошуку оптимального глобального рішення та зосередженні на пошуку прийняттого рішення за прийнятну кількість ітерацій та часу. Основною ідеєю цих методів є така організація пошуку, при якій постійно виділяються все більш кращі допустимі рішення [4, 209—210]. Методи, засновані на такій ідеї, зазвичай називаються евристичними. До них відносять ітеративні алгоритми (найближчого сусіда, середньої величини), стохастичні алгоритми (випадковий пошук, направлений випадковий пошук), методи штучного інтелекту (генетичні алгоритми, нейронні мережі) тощо.

Таким чином, в загальному випадку, для розв'язання задачі визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора можуть використовуватися методи пошуку найкращого маршруту або ж методи пошуку не найкращого, але оптимального маршруту. Використовувати методи першої групи є сенс, коли множина пошуку рішень є мінімальною або ж коли час пошуку такого рішення не є важливим. Проте, специфіка діяльності портового оператора характеризується великою кількістю можливих маршрутів та чутливістю до часу планування маршруту, тому використання методів першої групи у випадку портового оператора не є ефективним та таким, що не дозволить мінімізувати час та витрати на виконання замовлення.

Генетичні ж алгоритми, будучи одними із еволюційних методів розв'язання оптимізаційних задач, є найбільш універсальними і дозволяють знайти більш хороші або більш раціональні рішення оптимізаційних задач за меншу кількість часу, а ніж інші методи, що зазвичай використовуються в таких випадках. При цьому, під «більш раціональними» розуміються рішення, що задовольняють користувача, так як в більшості реальних задач, в тому числі і в задачі пошуку оптимальних транспортних маршрутів портового оператора, відсутня необхідність пошуку глобально-оптимального.

Генетичні алгоритми поєднують в собі принцип виживання найбільш перспективних рішень та структурований випадково-детермінований обмін інформацією, в якому присутній елемент випадковості, що моделює природні процеси наслідування та мутації і представляють собою алгоритми пошуку, що побудовані на принципах, схожих до принципів природнього відбору та генетики [9, 263]. Метод пошуку оптимального рішення, що заснований на генетичних алгоритмах, та застосовуваний для розв'язання задачі визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора дозволить використати майже всю множину можливих рішень, зменшити час на такий пошук та, як результат, знайти оптимальні транспортні маршрути портового оператора [2, 110].

Розглянемо основні складові та розробимо математичну модель пошуку оптимальних транспортних маршрутів портового оператора та використаємо створену модель як основу для побудови генетичного алгоритму.

Портовий оператор виконує транспортне замовлення з доставки певного виду товару з транспортного вузла  $M_1$  до  $M_n$ , де  $n$  — кількість можливих транспортних вузлів. Між початковим та кінцевим вузлами існують проміжні пункти  $M_2, M_3, \dots, M_{n-1}$ , де можлива заміна транспорту на інший (як на власний, так і на транспорт іншої субпідрядної транспортної компанії). Транспорт з проміжних пунктів може рухатися в інші проміжні пункти або в кінцевий пункт призначення. Важливою умовою є те, між вузлами може існувати декілька транспортних сполучень (в залежності від

кількості транспортних компаній, що доступні в конкретному транспортному вузлі). Кожне транспортне сполучення має властивості часу, вартості та репутації (транспортної компанії) [3, 135]. Кожний транспортний вузол, в свою чергу, має властивості вартості, часу та місткості. За таких умов уся логістична мережа портового оператора може бути описана за допомогою наступного мульти-графа:

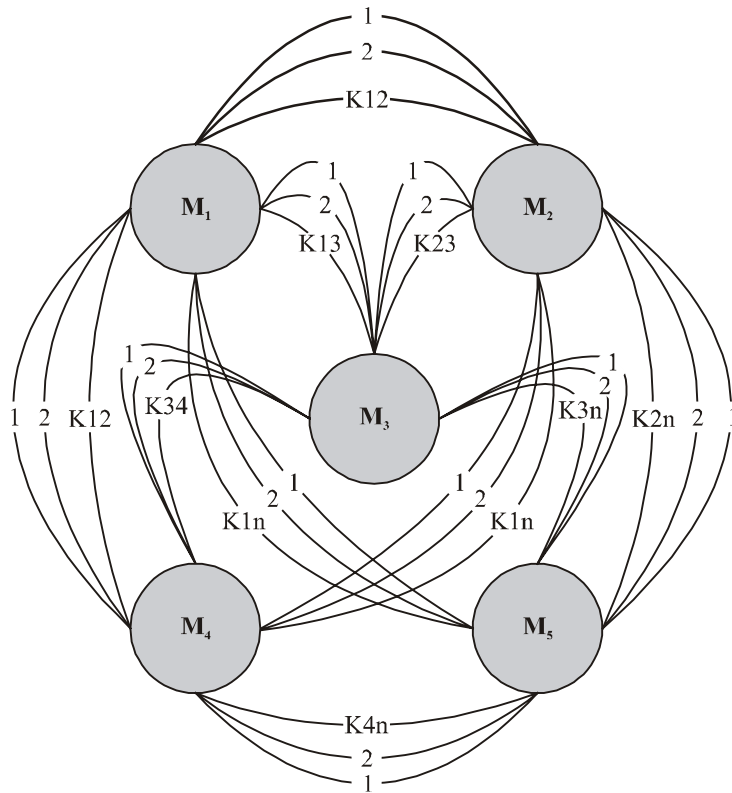


Рис. 1. Мульти-граф логістичної мережі портового оператора

Виходячи з вищенаведеного, введемо наступні позначення:

—  $R$  — сукупність транспортних вузлів та можливих транспортних сполучень на графі  $G$ :

$$R = \{M_1 \dots M_n; K_{M_i M_j}\}$$

—  $n$  — кількість транспортних вузлів

—  $M_i$  —  $i$ -ий транспортний вузол.  $i = 1, 2 \dots n$ . Якщо існує вузол  $M_i$ , то  $M_i(R) = 1$ , інакше —  $M_i(R) = 0$ .

—  $K_{ij}$  — кількість транспортних сполучень між вузлами  $M_i$  та  $M_j$ ,  $i, j = 1, 2 \dots n$

—  $E_{ijk}$  —  $k$ -те транспортне сполучення між вузлами  $i$  та  $j$ ,  $i, j = 1, 2 \dots n$ . Якщо існує  $k$ -те транспортне сполучення між вузлами  $M_i$  та  $M_j$ , то  $E_{ijk}(R) = 1$ . Якщо ж таке сполучення відсутнє, то  $E_{ijk}(R) = 0$ .

—  $C_{ijk}$  — вартість транспортного сполучення  $E_{ijk}$  (ціна послуг сторонньої логістичної компанії або ж вартість організації власного перевезення);

—  $T_{ijk}$  — час транспортного сполучення  $E_{ijk}$  (час проходження транспортного сполучення відповідною логістичною компанією або ж власною службою транспортування);

- $P_{ijk}$  — місткість транспортного сполучення  $E_{ijk}$  (кількість, об'єм, вага тощо, що можуть бути транспортовані відповідною логістичною компанією або ж власною службою транспортування);
- $A_{ijk}$  — репутація перевізника, що забезпечує транспортне сполучення  $E_{ijk}$
- $C'_i$  — вартість, що виникає в  $i$ -ому вузлі (отримання, розвантажування, завантажування тощо);
- $\tilde{T}_i$  — час, що необхідний для обробки товару в  $i$ -ому вузлі (час на розвантажування, завантажування, зміну транспорту тощо);
- $P_{M_i}$  — місткість  $i$ -го вузла (кількість, об'єм, вага, що можуть бути оброблені відповідним транспортним вузлом);
- $P_c$  — місткість транспортованого замовлення;
- $D_c$  — попередньо визначена мінімально допустима репутація стороннього перевізника;
- $T$  — час завершення виконання замовлення — встановлюється замовником.

Мета задачі — знайти оптимальний транспортний маршрут з найменшими витратами та обмеженнями часу, завантаженості вузлів/сполучень та найкращою репутацією сторонніх перевізників. Відповідно, математична модель оптимального транспортного маршруту для портового оператора матиме наступний вигляд:

$$Y = \min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{K_{M_{ij}}} C_{ijk} E_{ijk}(R) + \sum_{i=1}^n C'_i M_i(R) \right\} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{r_{ij}} \tilde{T}_{ijk} E_{ijk}(R) + \sum_{i=1}^n \tilde{T}_i M_i(R) \leq T \quad (2)$$

$$P_c \leq P_{E_{ijk}} \quad (3)$$

$$P_c \leq P_{M_i} \quad (4)$$

$$D_c \leq A_{ijk} \quad (5)$$

В даній математичній моделі маємо функцію мінімізації вартості перевезення (1) та обмеження за:

- а) часом перевезення (2);
- б) місткістю транспортного сполучення (3);
- в) місткістю транспортного вузла (4);
- г) репутацією перевізника (5).

Для зменшення кола пошукових рішень деякі попередні дії можуть бути виконані. Зокрема, базуючись на вимогах замовника та інформації про сторонніх перевізників модель може бути спрощена: перевізники і відповідні транспортні сполучення, що не задовольнятимуть умови (3), (4) та (5) можуть бути виключені із системи пошуку і відповідно модель оптимального транспортного маршруту буде спрощена до сукупності умов (1) та (2).

Базуючись на математичній моделі досліджуваної оптимізаційної задачі, використаємо генетичний алгоритм для її розв'язання. При цьому введемо поняття фітнес-функції. В теорії генетичних алгоритмів — це математична модель, що дозволяє оцінити пристосованість конкретного покоління, іншими словами, дозволяє оцінити значущість знайденого рішення [7, 114]. В нашому випадку, такою фітнес-функцією буде функція (1) з обмеженнями (2), (3), (4), (5). Базуючись на введених поняттях та розробленій фітнес-функції, алгоритм роботи генетичного алгоритму може бути представлений в наступному вигляді:

1) Ініціалізація інформаційної матриці транспортного мульти-графа:

$$K = (k_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} 0 & k_{21} & k_{31} & \dots & k_{n1} \\ k_{12} & 0 & k_{32} & \dots & k_{n2} \\ k_{13} & k_{23} & 0 & \dots & k_{n3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{1n} & k_{2n} & k_{3n} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

Якщо між транспортними вузлами відсутнє сполучення, то це відповідає значенню 0 в інформаційній матриці. Якщо ж транспортне сполучення існує, то в клітинку заноситься значення кількості транспортних сполучень.

2) Кодування та генерація початкових хромосом (початкова група рішень). Транспортний мульти-граф зводиться до одиничного вигляду. Випадковим чином обирається транспортне сполучення між відповідними вузлами, для яких існує ненульова кількість транспортних сполучень  $K_{ij} > 1$ . На основі сформованої матриці генерується початкове рішення (транспортний маршрут):

- a. Обирається початковий вузол;
  - b. Випадковим чином обирається транспортне сполучення із сусіднім вузлом;
  - c. Обране транспортне сполучення та вузол позначаються пройденими;
  - d. Випадковим чином обирається транспортне сполучення для останнього вибраного транспортного вузла із сусіднім вузлом;
  - e. Повторення вибору транспортних сполучень для решти вузлів, аж поки не буде досягнуто кінцевого вузла або вузол не матиме сусідніх не пройдених вузлів;
  - f. Якщо останній обраний вузол не має сусідніх не пройдених вузлів і не є кінцевим, то маршрут не обирається — генерація початкового рішення починається з початку;
  - g. Кожний знайдений маршрут (рішення) є відібраною хромосомою генетичного алгоритму;
- 3) Розрахунок значень фітнес-функції згенерованого набору хромосом;
  - 4) Сортування хромосом на основі розрахованих значень фітнес-функції;
  - 5) Вибір хромосом для проведення оператора схрещування;
  - 6) Застосування оператора схрещування та генерація нових хромосом;
  - 7) Застосування оператора мутації, що дозволяє кардинально змінити якість наступної популяції і, таким чином, охопити майже всю множину пошукових рішень;
  - 8) Підрахунок значення фітнес-функції для новостворених хромосом;
  - 9) Перевірка чи задовольняються правила зупинки розрахунку:
    - i. знайдене мінімальне значення фітнес-функції, яке не змінювалося протягом  $n$  ітерацій роботи генетичного алгоритму;
    - ii. досягнута попередньо визначена кількість ітерацій роботи генетичного алгоритму.

В результаті роботи такого генетичного алгоритму користувач отримує набір (або ж єдине найкраще рішення) оптимальних транспортних маршрутів, на основі яких і буде прийнято управлінське рішення. Важливим елементом такого генетичного алгоритму є а) охоплення майже всієї сукупності пошукових рішень та б) скорочений час пошуку оптимальних маршрутів через використання елементу випадковості генерації популяції рішень, а відповідно і збільшена ефективність/конкурентоздатність роботи портового оператора.

Схематично даний алгоритм можна зобразити наступним чином (рис. 1):

Таким чином, в умовах постійної конкуренції та необхідності розширення асортименту послуг, якості обслуговування, зниження собівартості та часу обслуговування замовлень важливу роль в управлінні транспортною діяльністю портових операторів відіграє система визначення оптимальних транспортних маршрутів. В сучасних реаліях така система не може бути побудована лише на людському факторі, так як множина можливих рішень та умов, що впливають на них, вже сьогодні збільшилися до такої кількості, що не може бути ефективно опрацьована людиною. За таких умов, автоматизована система визначення оптимальних транспортних

маршрутів, яка б давала користувачу можливість вибору серед локальних оптимальних рішень, стає вкрай необхідним елементом загальної інформаційної системи управління діяльністю портового оператора.

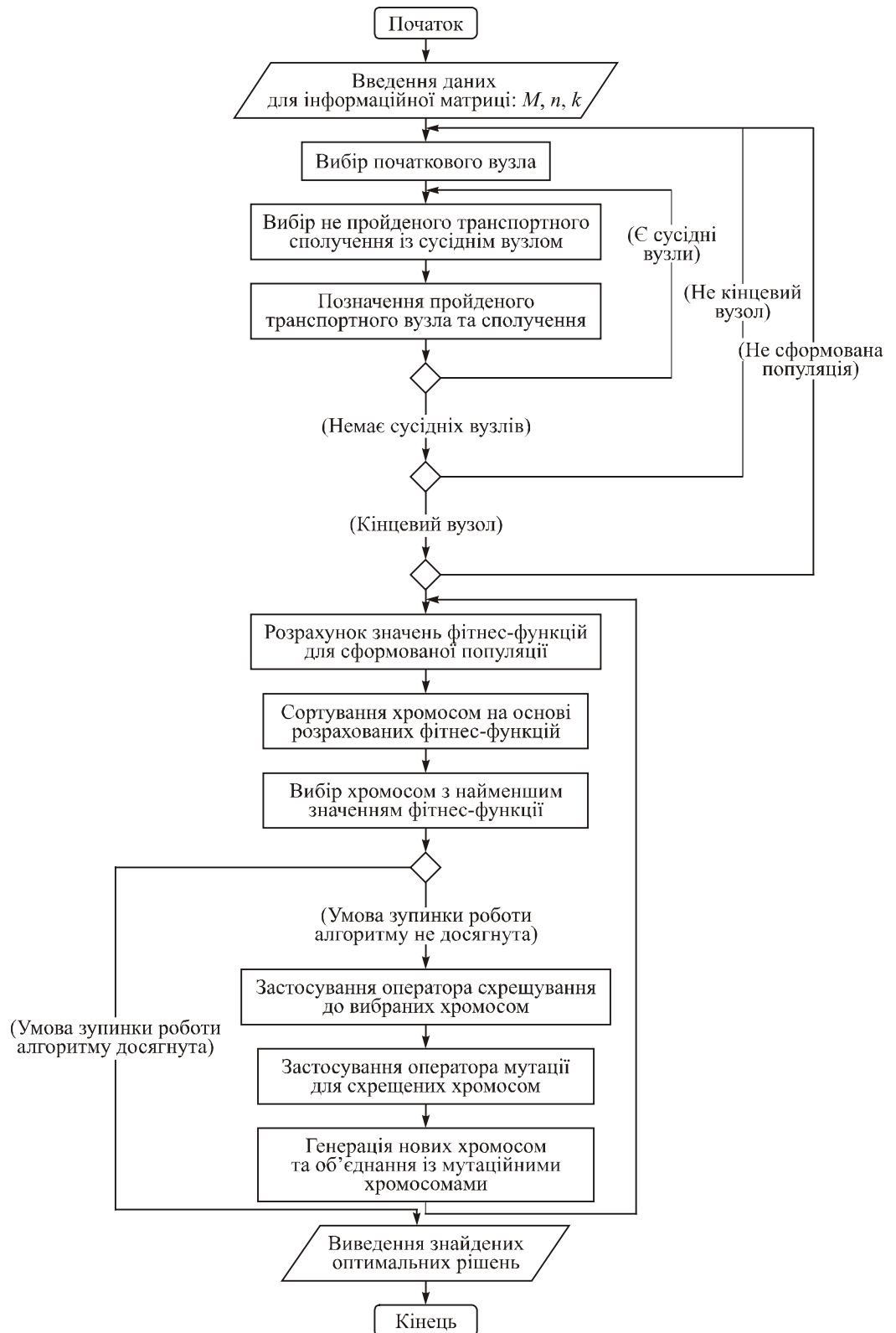


Рис. 1. Алгоритм роботи генетичного алгоритму визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора

Запропонована в даній статті модель визначення оптимальних транспортних маршрутів портового оператора та побудована на її основі структура генетичного алгоритму дають можливість покрити усю сукупність можливих рішень задачі, знайти хоч і не найкращі, але оптимальні та прийнятні для користувача транспортні маршрути та, що найголовніше, - знайти такі оптимальні рішення за прийнятний для користувача проміжок часу. На думку авторів, результати даного дослідження можуть ефективно бути використані при практичній розробці підсистеми підтримки прийняття рішень комплексної інформаційної системи управління портовим оператором.

### Література

1. *Ganesh V.* A framework for evaluating third-party logistics. // Communications of the ACM, Volume 48 (1). Association for Computing Machinery, Jan 1, 2005.
2. *Mitsuo Gen, Runwei Cheng.* Genetic Algorithms and Engineering Design. — Wiley-Interscience, 2007. — 432 p.
3. *P. Larrañaga, C.M.H. Kuijpers.* Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators // Artificial Intelligence Review, 1999. — p. 129 — 170.
4. *Tolga Bektas.* The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. // Omega. Volume 34, Issue 3, June 2006. — p. 209-219.
5. *Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И.* Методы и модели анали за данных: OLAP и Data Mining. — Спб.: БХВ-Петербург, 2004. — 336 с.
6. *Гэри М., Джонсон Д.* Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. — М.: «Мир», 1982. — 222 с.
7. *Джонс М. Т.* Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Пер. с англ. Осипов А. И. — М.: ДМК Пресс, 2004 — 312 с.
8. *Калинин В. Н., Резников Б. А., Варакин Е. И.* Теория систем и оптимального управления. Понятия, методы и модели оптимального выбора. МО СССР, 1987. — 589 с.
9. *Назаров А. В., Лоскутов А. И.* Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации. — Спб.: Наука и Техника, 2003. — 384 с.

УДК 339

**О. П. Савич,**  
здобувач кафедри маркетингу  
ДВНЗ «КНЕУ імені Вадима Гетьмана»

### ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПРОДАЖУ НА РИНКУ АВТОЗАПЧАСТИН

Анотація. Розглянуто питання управління системами продажу на вітчизняному ринку автозапчастин. Сформульовані методи уникнення конфліктів у каналах розподілу. Визначено фактори формування попиту на ринку автозапчастин. Запропоновано методіку розрахунку витрат на дистрибуцію як у всередині системи логістики, так і по поставках у різних каналах. Обґрунтовано доцільність застосування брендингу у маркетинговій діяльності оптових торгово-посередницьких підприємств на ринку автозапчастин.

Анотация. Рассмотрены вопросы управления системами продаж на отечественном рынке автозапчастей. Сформулированы методы избежания конфликтов в каналах распределения. Определены факторы формирования спроса на рынке автозапчастей. Предложена методика расчета затрат на дистрибуцию как в внутри системы логистики, так и по поставкам в разных каналах. Обоснована целесообразность применения брендинга в маркетинговой деятельности оптовых торгово-посреднических предприятий на рынке автозапчастей.

Annotation. The questions of management systems sales in the domestic market auto parts. Formulated methods of avoiding conflict in channels of distribution. The factors of the demand for auto parts market. The technique of calculating the cost of distribution both in logistics and supply for different channels. Expediency of branding in the marketing of wholesale trade and mediation firms in the market of auto parts.