

*В.В. ЛИТВИН*, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НУ "ЛП", Львів,  
*Д.І. УГРИН*, канд. техн. наук, доц., зав. каф., ЧФ НТУ "ХПИ",  
Чернівці

## **МЕТОДИКА ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ ТУРИСТИЧНИХ МАРШРУТІВ АЛГОРИТМАМИ НАСЛІДУВАННЯ МУРАШИНОЇ КОЛОНІЇ**

У статті подано методику вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів туризму. Здійснено формальний математичний опис задачі проектування маршрутно-туристичної мережі. На основі проведеного аналізу чисельних методів їх вирішення зроблено висновок, що одним з найбільш перспективних на сьогоднішній день є метод оптимізації наслідуванням мурашиної колонії. На прикладі показано, як в алгоритми вирішення прикладних дискретних задач оптимізації впровадити складові самоорганізації мурах. Лл.: 2. Бібліогр.: 16 назв.

**Ключові слова:** пошук оптимальних маршрутів туризму, метод оптимізації наслідуванням мурашиної колонії, чисельний метод.

**Постановка проблеми.** Розвиток туристичних маршрутів визначається взаємозв'язком зростання міських та регіональних територій, чисельності населення, планування та розміщення різних туристичних функціональних зон. Рівень розвитку туристичних подорожей залежить від організації і технічних можливостей транспортних систем. Створення ефективної транспортної системи міста та міжрегіональних сполучень – це складна комплексна проблема України, що включає ряд завдань, різних за значимістю, складності і трудомісткості, серед яких визначення маршрутів руху транспорту до туристичних місць, обґрунтування типу, виду і кількості рухомого складу по кожному маршруту, розподіл маршрутів по перевізникам, розробка розкладу і оптимізація режимів руху на маршруті і таке інше.

Формування маршрутно-туристичної мережі є важливим етапом розробки ефективної транспортної системи для туристичної галузі. Від того, наскільки раціонально розроблена маршрутна мережа, наскільки вдало і гармонійно вона інтегрована в транспортну мережу відвідування туристичних осередків, залежать задоволення туристів перевезеннями і ефективність роботи туристичних компаній.

Під маршрутною мережею туризму розуміють сукупність всіх маршрутів руху туристичного транспорту на території міста, району, регіону, міжрегіональних сполучень тощо. Маршрут руху, у свою чергу, являє собою шлях руху транспортного засобу між початковим і кінцевим пунктами зупинок відповідно до розкладу.

**Аналіз літератури.** У нашій країні питаннями розвитку

маршрутного транспорту і шляхів почали цікавитися ще в кінці XIX століття. Одні з перших робіт в даній області належать Полякову А.А. та Ларіонову В.С. [1, 2]. Підводячи підсумок робіт того періоду, можна зробити висновок, що основна увага дослідників приділена формуванню комплексу вимог, що пред'являються до маршрутних схем. Методи побудови маршрутів руху і рекомендації щодо формування маршрутних мереж у роботах того періоду розглянуті поверхнево, сформульовані лише загальні положення щодо їх проектування. Однак уже тоді, автори сформулювали припущення, що для задоволення потреб міського населення в перевезеннях, формування мережі маршрутів повинно відбуватися на основі даних про фактичні переміщення населення по території міста чи між населеними пунктами, тобто матриці пасажирських кореспонденцій. Також в роботах того періоду вперше сформульовані критерії оптимізації міських маршрутних мереж, серед яких – найкоротший шлях між початковим і кінцевим пунктом маршруту, мінімальний час, що витрачається на переміщення усіма пасажирами і т.д.

У середині XX століття з розвитком економіко-математичних методів почався новий етап у формуванні наукових знань про функціонування систем пасажирського транспорту. Найбільш відомими авторами цього періоду є Яворський В.В. і Ольховський С.Ю. та ін. [3 – 5].

На основі аналізу робіт багатьох дослідників запропонована узагальнююча методика формування раціональної маршрутної мережі сполучень туризму (рис. 1), що дозволяє практично повністю задовольнити потреби людей в туристичних поїздках. Застосування такої методики для великого міста, регіону чи держави з щільною туристичною динамікою дозволить організувати ефективну маршрутну систему, що згладжує транспортні проблеми дорожньої комунікації.

Всі існуючі підходи для проектування раціональних маршрутних мереж пасажирського транспорту для туризму можна розділити на три групи:

1. Автоматизоване проектування маршрутів пасажирського транспорту туризму на основі формалізованих математичних моделей.
2. Часткова автоматизація процесу побудови маршрутів пасажирського транспорту туризму і експертна оцінка результатів фахівцем.
3. Прийняття рішень на основі досвіду і неформалізованого аналізу експертів.



Рис. 1. Методика проектування маршрутної мережі туризму

Одним з методів вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів на графах є алгоритм оптимізації наслідуванням мурашиної колонії, інакше мурашиний алгоритм (англ. Ant Colony Optimization, ACO). Автором ідеї є Марко Дориго [8]. Суть підходу полягає у використанні моделі поведінки мурах, що шукають шлях від колонії до джерела їжі, і являє собою метаевристичну оптимізацію. Колонія мурах може розглядатися як багатоагентна система, в якій кожен агент (мурашка) функціонує автономно за дуже простим правилом. На противагу майже примітивної поведінки агентів, поведінка всієї системи виходить злагодженою. На сьогодні вже відомі результати мурашиної оптимізації таких складних комбінаторних задач, як: задачі комівояжера для задання оптимізації маршрутів вантажівок, завдань розмальовки графа, квадратичної задачі про призначення, оптимізації мережеских графіків, задання календарного планування та інших [9 – 14]. Незважаючи на стрімкі успіхи мурашиних алгоритмів, переважна більшість фахівців по дослідженню операцій не знайомі з цією технологією оптимізації.

У реальному світі, мурахи (спочатку) ходять у випадковому порядку і по знаходженню продовольства повертаються у свою колонію. Мурахи використовують два способи передачі інформації: прямий – обмін їжею, мандибулярний, візуальний і хімічний контакти та непрямий – стігмержі (stigmergy). Стігмержі – це рознесений в часі тип взаємодії, коли один суб'єкт взаємодії змінює деяку частину навколишнього середовища, а решта використовують інформацію про її стан пізніше, тобто, коли знаходяться в її околиці. Біологічно стігмержі здійснюються через феромон (pheromone) – спеціальний секрет, що відкладається як слід при переміщенні мурашки. Феромон – досить стійка речовина. Він може сприйматися мурахами кілька діб. Чим вище концентрація феромону на стежці, тим більше мурах буде по ній рухатися. Якщо інші мурахи знаходять такі стежки, вони, найімовірніше, підуть по ним. Замість того, щоб відстежувати ланцюжок, вони зміцнюють її при поверненні, якщо в кінцевому підсумку знаходять джерело живлення. З часом феромон випаровується, що дозволяє мурахам адаптувати свою поведінку під зміни зовнішнього середовища. Чим більше часу потрібно для проходження шляху до мети і назад, тим сильніше випарується феромонна стежка. На короткому шляху, для порівняння, проходження буде більш швидким і як наслідок, щільність феромонів залишається високою. Випаровування феромонів також має властивість пошуку шляхів до локально-оптимального рішення. Якби феромони не випаровувалися, то шлях, обраний першим, був би найпривабливішим. У цьому випадку, дослідження просторових рішень були б обмеженими. Таким чином, коли одна мураха знаходить, наприклад, короткий шлях

від колонії до джерела їжі, інші мурахи, швидше за все підуть цим шляхом, і позитивні відгуки в кінцевому підсумку призводять всіх мурах до одного, найкоротшого шляху.

Мурашині алгоритми ґрунтуються на імітації природних механізмів самоорганізації мурах, використання яких ілюструється далі в статті на прикладі оптимізації маршруту комівояжера. Як основа поведінки колонії мурах самоорганізація являється множиною динамічних механізмів, що забезпечують досягнення системою глобальної мети в результаті низькорівневої взаємодії її елементів. Принциповою особливістю такої взаємодії є використання елементами системи тільки локальної інформації. При цьому виключається будь-яке централізоване управління і звернення до глобального образу, що репрезентує систему в зовнішньому світі.

Самоорганізація являється результатом взаємодії наступних чотирьох компонентів:

1. Випадковість.
2. Багаторазовість.
3. Позитивний зворотний зв'язок.
4. Негативний зворотний зв'язок.

**Мета статті** – розробка методики вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів туризму алгоритмами оптимізації наслідуванням мурашиної колонії.

**Дослідження маршрутизації транспорту туризму.** Застосування жорстко формалізованих математичних моделей дає оптимальне рішення з точки зору строго закладеного в програму алгоритму, однак при такому підході неможливо врахувати сформовані в регіоні традиції і звички пасажирів, переміщення, екологічне становище і інші вимоги, що не піддаються формальному опису. Тому найбільш ефективним вважається другий підхід, при якому експерт проводить аналіз отриманих результатів і приймає остаточне рішення.

Основою всього проектування є визначення величини пасажиропотоків за напрямками транспортних кореспонденцій. У свою чергу вони визначаються на основі транспортних розрахункових районів. Чим правильніше туристична територія розділена на транспортні райони, тим правильніше (точніше) величини пасажиропотоків і, тим самим, найбільшою мірою маршрутна мережа пасажирського транспорту відповідає потребам туриста.

Для вирішення завдання проектування маршрутних мереж транспорту туризму необхідно подати її у вигляді математичної моделі.

Транспортну мережу туризму опишемо у вигляді орієнтованого графа  $G(V, E)$ , де  $V$  – множина вершин (пункти туристичних зупинок),  $E$  –

множина дуг мережі (реальної ділянки дороги, що зв'язує зупинкові туристичні пункти). Напрямок дуги визначає хід проходження автотранспорту. Магістралі з двостороннім рухом відповідно мають парні протилежно орієнтовані дуги.

При дослідженні потокоутворюючих факторів в множині вершин  $V$  виділимо дві підмножини: перша  $S \subseteq V$ , що містить пункти, які породжують потоки, які є елементами множини  $S$ . Їх назвемо джерелами. Другу підмножину  $D \subseteq V$ , яка містить пункти, що поглинають потоки, назвемо підмножиною стоків. Стосовно задачі моделювання потоків для зимніх періодів пікового відпочинку у горах, джерелами є міста і інші населені пункти, а стоками – для прикладу, туристичні райони карпатського регіону. Множину всіх потокоутворюючих пар представимо у вигляді декартового добутку  $W = \{w = (i, j) : i \in S, j \in D\}$ .

Кожній парі "джерело-стік"  $w = (i, j) \in W$  відповідає свій попит на перевезення,  $\rho_W$  – загальний обсяг користувачів, які з пункту  $i$  повинні прибути в пункт  $j$ . А набір  $\{\rho_W : w \in W\}$  називається матрицею кореспонденцій.

Шляхом (маршрутом) в мережі  $G$ , що з'єднує вершини  $i$  та  $j$ , назвемо послідовність дуг:

$$f_1 = (i \rightarrow k_1), f_2 = (k_1 \rightarrow k_2), \dots, f_l = (k_{l-1} \rightarrow k_l), f_{l+1} = (k_l \rightarrow j),$$

де  $f_t \in F$  при всіх  $t = 1, \dots, l+1$ .

Передбачається відсутність петель і циклів в маршрутах. Позначимо через  $R_W$  – множину альтернативних маршрутів, слідуючи яким для кожної пари  $w = (i, j) \in W$ , що виходить із джерела  $i$  потік досягає стоку  $j$ . Сукупність усіх шляхів у мережі  $G$  позначимо через  $P = \prod_{w \in W} R_W$ .

Нехай  $x_p$  – це величина потоку, що йде по шляху  $p \in P$ . Традиційно для транспортних задач потокові змінні повинні бути невід'ємними і задовольняти балансовим обмеженням. Тому для кожної пари  $w$  потоки  $x_p$ , де  $p \in P$ , повинні належати множині

$$X_W = \left\{ x_p \geq 0 : p \in P, \sum_{p \in P} x_p = \rho_W \right\}.$$

Об'єднаємо величини  $x_p$  у вектор  $x = (x_p : p \in P)$ . Тоді допустимою областю для вектора  $x$  є множина, яка утворена як декартовий добуток всіх  $X_W$  :

$$X = \prod_{w \in W} X_W = \left\{ x \geq 0 : \sum_{p \in R_W} x_p = \rho_w, w \in W \right\}. \quad (1)$$

Подолання кожного з шляхів  $p \in P$  супроводжується деякими витратами (час, паливо, гроші, амортизація автомобіля, зношеність дороги і т.п.). Кількісна характеристика таких витрат залежить від інтенсивності і щільності руху в мережі. Як правило, в моделях розглядаються часові або фінансові витрати. Позначимо через  $G_p$  – питомі витрати користувачів на проїзд по шляху  $p$ . Оскільки на витрати по одному маршруту можуть впливати завантаження інших шляхів, то в загальному випадку  $G_p$  являють собою функції від завантаження всієї мережі, тобто  $G_p = G_p(x)$ .

Рішення подібних транспортних завдань часто зводиться до вирішення варіаційних нерівностей, а в окремому випадку оптимізаційної задачі, що дозволяє адаптувати чисельні методи для їх рішення.

В даний час відомо досить багато методів вирішення задачі маршрутизації транспорту. Завдання маршрутизації транспорту є узагальненням відомої задачі комівояжера, при якому необхідно побудувати відразу кілька замкнутих маршрутів, що проходять через деяку загальну вершину (депо). Ці завдання відносяться до класу задач комбінаторної оптимізації та є NP-складними. Методів знаходження їх точних рішень і перевірки наближених на оптимальність за кінцевий час не існує.

Існує точний алгоритм для вирішення завдання маршрутизації транспорту на основі методу гілок і границь, але в силу швидкого зростання часу обчислень його неможливо застосовувати для задач з більш ніж 25 – 30 вершинами.

Останнім часом найбільший інтерес проявляється до наближених алгоритмів. На початку 60-х років ХХ століття активний розвиток отримали евристичні методи, а в наші дні їх називають класичними. В останні двадцять років основні зусилля були спрямовані на розвиток так званих метаевристичних методів [6, 7]. Ці методи не є закінченими евристиками, готовими для практичного застосування. Вони представляють собою деякий метод для побудови закінченої евристики для конкретного завдання.

Більшість цих методів засновані на спостереженнях за живою і неживою природою. Їх відмінна риса полягає в здатності подолання точки локального оптимуму для продовження пошуку. Тому потенційно

в порівнянні з класичними евристичними методами здатні знаходити більш якісні рішення.

**Формулювання узагальненого мурашиного алгоритму.** Будь-який мурашиний алгоритм, незалежно від модифікацій, сформулюємо в наступному вигляді (рис. 2):

Поки умови виходу не виконані:

- створюємо мурах;
- шукаємо рішення;
- оновлюємо феромон;
- додаткові дії {опціонально}.

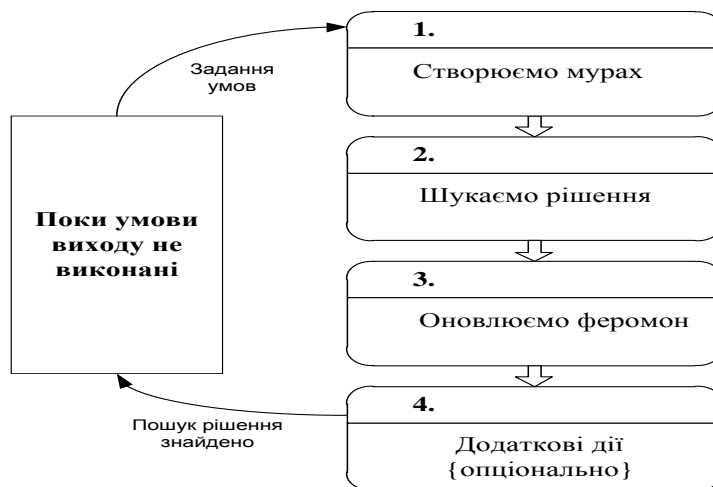


Рис. 2. Формулювання узагальненого мурашиного алгоритму

Для того, щоб побудувати відповідний мурашиний алгоритм для вирішення будь-якої задачі, потрібно:

1. Подати задачу у вигляді набору компонент і переходів або набором неорієнтованих зважених графів, на яких мурахи можуть будувати рішення.

2. Визначити значення сліду феромону.

3. Визначити евристику поведінки мурашки, коли будуємо рішення.

4. Якщо можливо, то реалізувати ефективний локальний пошук.

5. Вибрати специфічний алгоритм і застосувати для розв'язання задачі.

6. Налаштувати параметр алгоритму.

Також визначальними є: 1) кількість мурах; 2) баланс між вивченням і використанням; 3) поєднання з жадібними евристичними або локальним пошуком; 4) момент, коли оновлюється феромон.



### Застосування мурашиних алгоритмів для туристичних задач.

Завдання формулюється як задача пошуку мінімального за вартістю замкнутого маршруту по всіх вершинах без повторень на повному зваженому графі з  $n$  вершинами. Змістовно вершини графа є містами, які повинен відвідати турист, а ваги ребер відображають відстані (довжини) або вартості проїзду. Ця задача є NP-складною, і точний переборний алгоритм її рішення має факторіальну складність.

Моделювання поведінки мурах пов'язано з розподілом феромону на стежці – ребрі графа. При цьому ймовірність включення ребра в маршрут окремого мурахи пропорційна кількості феромону на цьому ребрі, а кількість відкладеного феромону є пропорційною довжині маршруту. Чим коротше маршрут, тим більше феромону буде відкладено на його ребрах, а отже, більша кількість мурах буде включати його в синтез власних маршрутів. Моделювання такого підходу використовує тільки позитивний зворотний зв'язок, що призводить до передчасної збіжності – більшість мурашок рухається за локально-оптимальним маршрутом. Уникнути цього можна, моделюючи негативний зворотний зв'язок у вигляді випаровування феромону.

Опишемо локальні правила поведінки мурах при виборі шляху:

1. Мурахи мають власну "пам'ять". Оскільки кожне місто може бути відвідане тільки один раз, то у кожного мурашки є список вже відвіданих міст – список заборон. Позначимо через  $J_{i,k}$  список міст, які необхідно відвідати мурасі  $k$ , що знаходиться в місті  $i$ .

2. Мурахи володіють "зором" – видимість є евристичним бажанням відвідати місто  $j$ , якщо мураха знаходиться в місті  $i$ . Будемо вважати, що видимість є оберненопропорційна відстані між містами  $\eta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}}$ .

3. Мурахи володіють "нюхом" – вони можуть вловлювати слід феромону, що підтверджує бажання відвідати місто  $j$  з міста  $i$  на підставі досвіду інших мурах. Кількість феромону на ребрі  $(i, j)$  в момент часу  $t$  позначимо через  $\tau_{ij}(t)$ .

4. На основі цього ми можемо сформулювати імовірісно-пропорційне правило, що визначає ймовірність переходу  $k$ -го мурашки з міста  $i$  в місто  $j$ :

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}, & j \in J_{i,k}, \\ P_{ij,k}(t) = 0, & j \notin J_{i,k}, \end{cases}$$

де  $\alpha$ ,  $\beta$  – це параметри, що задають ваги сліду феромону. При  $\alpha = 0$  алгоритм вироджується до жадібного алгоритму (буде обране найближче місто). Зауважимо, що вибір міста є імовірнісним, а правило 1 лише визначає ширину зони міста  $j$ ; у загальній зоні всіх міст задається випадкове число, яке і визначає вибір мурашки. Правило 1 не змінюється в ході алгоритму, але у двох різних мурах значення ймовірності переходу будуть відрізнятися, тому що вони мають різний список дозволених міст.

5. Пройшовши ребро  $(i, j)$ , мураха відкладає на ньому деяку кількість феромону, яка повинна бути пов'язаною з оптимальністю зробленого вибору. Нехай  $T_k(t)$  є маршрут, пройдений мурахою  $k$  до моменту часу  $t$ ,  $L_k(t)$  – довжина цього маршруту, а  $Q$  – параметр, що має значення порядку довжини оптимального шляху. Тоді кількість феромону, що відкладається, може бути задана у вигляді

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & (i, j) \in T_k(t); \\ 0, & (i, j) \notin T_k(t). \end{cases}$$

Правила зовнішнього середовища визначають, в першу чергу, випаровування феромону. Нехай  $p \in [0,1]$  є коефіцієнтом випаровування, тоді правило випаровування має вигляд

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t); \Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t),$$

де  $m$  – кількість мурах в колонії.

На початку алгоритму кількість феромону на ребрах приймається рівною невеликому додатному числу. Загальна кількість мурах залишається постійною і рівною кількості міст, а кожен мураха починає маршрут зі свого міста.

Додаткова модифікація алгоритму може складатися у веденні так званих "елітних" мурах, які підсилюють ребра найкращого маршруту, знайденого з початку роботи алгоритму. Позначимо через  $T^*$  найкращий поточний маршрут, через  $L^*$  – його довжину. Тоді, якщо в колонії є  $e$  елітних мурах, то ребра маршруту отримують додаткову кількість феромону

$$\Delta\tau_e = e \cdot \frac{Q}{L^*}.$$

Складність даного алгоритму, як нескладно помітити, залежить від часу життя колонії  $t_{\max}$ , кількості міст ( $n$ ) і кількості мурах в колонії ( $m$ ).

Найважливішою складовою транспортної інфраструктури проведення туристичних поїздок, які багато в чому визначають динаміку розвитку сучасних регіонів, є маршрутна система пасажирського транспорту. У процесі розвитку туристичного регіону його маршрутна система потребує періодичного перегляду. Це може бути пов'язано з численними поточними змінами у забудові туристичних баз і санаторіїв, зміною розташування місць прокладання туристичних маршрутів, модернізацією вулично-дорожньої мережі туристичних територій.

Перепроектування маршрутної мережі транспорту повітряним, водним чи наземним методом до привабливих туристичних осередків (або розробка нової раціональної маршрутної мережі) є трудомістким процесом, що включає кілька етапів робіт. Найбільш ефективним підходом вирішення даного завдання є її автоматизація з допомогою експерта, який проводить аналіз отриманих результатів і приймає остаточне рішення. Однак автоматизація завдань даної галузі вимагає проведення наукових досліджень з метою їх формалізації та розробки алгоритмів, придатних для використання на практиці.

**Висновки.** У результаті виконаної роботи розроблено методику розв'язання задач пошуку оптимальних туристичних маршрутів алгоритмами (наслідування) мурашиних колоній. Крім того, на прикладі показано, як в алгоритми вирішення дискретних задач оптимізації впровадити складові самоорганізації мурах. У перспективі планується застосувати використання мурашиних алгоритмів для розв'язування задач комівояжера великої розмірності в туристичній галузі.

**Список літератури:** 1. *Жеронимус Б.Л.* Математико-статистический метод выборочного обследования пассажиропотоков / *Б.Л. Жеронимус, Д.Д. Джумаев.* – Автомобильный транспорт. – 1966. – № 4. – С. 43-44. 2. *Блатнов М.Д.* Пассажирские автомобильные перевозки // *М.Д. Блатнов* – М.: Транспорт, 1981. – 222 с. 3. *Дли М.И.* Алгоритмы поддержки принятия решений по управлению инфраструктурными проектами на основе моделей муравьиных колоний / *М.И. Дли, В.В. Гимаров, С.И. Глушко* // Весник СГТУ. – 2012. – № 1 (64). – Вып. 2. – С. 423-427. 4. *Глушко С.И.* Многоколонийные алгоритмы муравьиных колоний для решения двухкритериальной задачи выбора маршрута / *С.И. Глушко* // Информационные технологии, энергетика и экономика: Сб. тр. X Междунар. Науч.-техн. конф. – Смоленск: Универсум, . – 2013. – Т. 2. – С. 25-28. 5. *Ольховский С.Ю.* Моделирование функционирования и развития маршрутизированных систем городского пассажирского транспорта: монография / *С.Ю. Ольховский, В.В. Яворский.* – Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 138 с. 6. *Мартинова Ю.А.* Анализ опыта проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта / *Ю.А. Мартинова* // Интернет-журнал "Науковедения". – 2014. – № 2. – С. 121-131. 7. *Goss S.* Self-organized shortcuts in the Argentine ant / *S. Goss, S. Aron, J.L. Deneuborg* // *Naturwissenschaften.* – 1989. – Vol. 76.– P. 579-581. 8. *Dorigo M.* Optimization, learning and natural algorithm / *M. Dorigo* – Ph.D.

thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992. **9.** Dorigo M. Th. Stutzle, *Ant Colony Optimization*, / M. Dorigo. – 2004. – Massachusetts Institute of Technology. – 306 p. **10.** Bonavear E. *Swarm Intelligence: from Natural to Artificial Systems* / E. Bonavear, M. Dorigo. – Oxford University Press, 1999. – 307 p. **11.** Corne D. *New Ideas in Optimization* / D. Corne, M. Dorigo, F. Glover. – McGrawHill, 1999. – 450 p. **12.** Dorigo M. *Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization* / M. Dorigo // Reader for CEU Summer University Course "Complex System". – Budapest, Central European University, 2001. – P. 1-38. **13.** Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы / С.Д. Штовба // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. – 2003. – № 4. – С. 70-75. **14.** МакКоннелл Дж. Основы современных алгоритмов / Дж.МакКоннелл. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. **15.** Duhamel C. A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem / C. Duhamel, P. Lacomme, A. Quilliot, H. Toussaint // *Computers & Operations Research*. – 2011. – V. 38. – № 3. – P. 617-640. **16.** Adamidis P. An evolutionary algorithm for a real vehicle routing problem / P. Adamidis, C. Voliotis, E. Pliatsika // *Int. Journal of Business Science and Applied Management*. – 2012. – V. 3. – № 7. – P. 33-41.

#### **References:**

1. Geronimus, B.L. and Dzhumaev, D.D. (1966), "Mathematical-statistical method sample survey of passenger volumes", *Road transport*. No. 4, pp. 43-44.
2. Blatnov, M.D. (1981), *Passenger road transport*. Transport. Moskov, 222 p.
3. Dli, M.I., Gimarov, V.V. and Glushko, S.I. (2012), "Algorithms of support of decision-making on management of infrastructure projects on the basis of models of ant colonies", *Vesnik SGTU*, Vol. 1 (64). Release 2, pp. 423-427.
4. Glushko, S.I. (2013), "Multicolonial algorithms of ant colonies for the solution of a two-criteria problem of the choice of a route", *Information technologies, power and economy: X International. Sci. – Tehn. Conf.* Vol. 2, Universum. Smolensk, pp. 25-28.
5. Olkhovskiy, S.Yu. and Yavorskiy, V.V. (2001), *Modelling functioning and development mashrutizirovanih urban passenger transport systems*: monograph, Publishing house, SibADI, Omsk, 138 p.
6. Martynova, Yu.A. (2014), "Analysis of design experience of rational route networks urban passenger transport", *Internet magazine "Science of Science"*. No. 2, pp. 121-131.
7. Goss S., Aron, S. and Deneuborg, J.L. (1989). "Self-organized shortcuts in the Argentine ant", *Naturwissenschaften*, Vol. 76, pp. 579-581.
8. Dorigo, M. (1992), *Optimization, learning and natural algorithm*, Ph.D. thesis, Politecnico di Milano, Italy, pp. 45-57.
9. Dorigo, M. and Stutzle, Th. (2004), *Ant Colony Optimization*. Massachusetts Institute of Technology, 306 p.
10. Bonavear, E. and Dorigo, M. (1999), *Swarm Intelligence: from Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press. 307 p.
11. Corne, D., Dorigo, M. and Glover, F. (1999), *New Ideas in Optimization*. McGrawHill, 450 p.
12. Dorigo, M. (2001), *Swarm Intelligence, Ant Algorithms and Ant Colony Optimization*, Reader for CEU Summer University Course "Complex System", Central European University, Budapest, pp. 1–38.
13. Shtovba, S.D. (2003), "Ant algoritmy", *Exponenta Pro. Mathematics in Applications*, No. 4, pp.70-75.
14. MakKonnell, Dzh. (2004), *Fundamentals of modern algorithms*, Tehnosfera, Moskov, 368 p.
15. Duhamel, C., Lacomme, P., Quilliot, A. and Toussaint, H. (2011), "A multi-start evolutionary local search for the two-dimensional loading capacitated vehicle routing problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 38, pp. 617-640.

**16.** Adamidis, P., Voliotis, C. and Pliatsika, E. (2012), "Ant evolutionary algorithm for a real vehicle routing problem". *Int. Journal of Business Science and Applied Management*, Vol. 3, pp. 33-41.

*Надійшла (received) 01.03.2016*

*Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Леонов С.Ю.*

Vasyl Lytvyn, Dr. Tech. Sci., Professor  
Department of Information Systems and Networks  
National University "Lviv Polytechnic"  
Str. Bandery, 12 S., Lviv, Ukraine, 79013  
Tel.: +38032-582-538, E-mail: yevhen.v.burov@lpnu.ua  
ORCID: 0000-0002-9676-0180

Dmytro Ugryn, Cand. Tech. Sci.  
Department of Information Systems  
National Technical University 'Kharkiv Polytechnic Institute  
Str. Holovna, 203A ,Chernivtsi, Ukraine, 58000  
Tel.: + 38050-989-1546, E-mail: ugrind@mail.ru  
ORCID: 0000-0003-4858-4511

УДК 004.652.4+004.827

**Методика вирішення завдань пошуку оптимальних туристичних маршрутів алгоритмами наслідуванням мурашиної колонії / Литвин В.В., Угрин Д. І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2016. – № 21 (1193). – С. 47 – 60.**

У статті подано методику вирішення завдань пошуку оптимальних маршрутів туризму. Здійснено формальний математичний опис задачі проектування маршрутної туристичної мережі. На основі проведеного аналізу чисельних методів їх вирішення зроблено висновок, що одним з найбільш перспективних на сьогоднішній день є метод оптимізації наслідуванням мурашиної колонії. На прикладі завдання комівояжера показано, як в алгоритми вирішення дискретних задач оптимізації впровадити складові самоорганізації мурах. Ил.: 2. Библиогр.: 16 назв.

**Ключові слова:** пошук оптимальних маршрутів туризму, метод оптимізації наслідуванням мурашиної колонії, чисельний метод.

УДК 004.652.4 + 004.827

**Методика решения задач поиска оптимальных туристических маршрутов алгоритмами подражания муравьиной колонии / Литвин В.В., Угрин Д. И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2016. – № 21 (1193). – С. 47 – 60.**

В статье представлена методика решения задач поиска оптимальных маршрутов туризма. Осуществлено формальное математическое описание задачи проектирования маршрутной туристической сети и на основе проведенного анализа численных методов их решения сделан вывод, что одним из наиболее перспективных на сегодняшний день является метод оптимизации подражанием муравьиной колонии. На примере задачи коммивояжера показано, как в алгоритмы решения дискретных задач оптимизации внедрить составляющие самоорганизации муравьев. Ил.: 2. Библиогр.: 16 назв.

**Ключевые слова:** поиск оптимальных маршрутов туризма, метод оптимизации подражанием муравьиной колонии, численный метод.

UDC 004.652.4 + 004.827

**Methods of solving search algorithms optimal travel routes imitation ant colony / Lytvyn V.V., Ugryn D.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2016. – № 21 (1193). – P. 47 – 60.**

In the article modeling techniques meet the challenges of finding optimal routes of tourism. Done formal mathematical description of the problem of designing a tourist route network and, based on the analysis of numerical methods for solving them concluded that one of the most promising to date is a method of optimizing imitation ant colony. For example, the traveling salesman problem shows how in algorithms for solving optimization problems of discrete components to implement self ants. Figs.: 2. Refs.: 16 titles.

**Keywords:** search optimal routes of tourism, optimization method imitation ant colony, numerical method.