

О.О. Шаповалова¹, А.С. Камардін¹, О.А. Петухова²

¹Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків

²Національний університет цивільного захисту України, Харків

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИКОНАННІ ЛОГІСТИЧНИХ ЗАВДАНЬ

В статті розглянуто питання застосування розробки програмної реалізації системи підтримки прийняття управлінських рішень для задач транспортної логістики, зокрема, вибору оптимального варіанту доставки товару групі споживачів. Система призначена для надання підтримки особі, що приймає рішення (ОПР) у визначенні найкращого варіанту з множини наявних альтернатив за економічними критеріями та має практичну спрямованість. З точки зору математики розглядається так звана задача комівояжера, для розв'язання якої застосовується алгоритм двофазної оптимізації транспортної мережі. На другому етапі отриманий розв'язок за критерієм вартості додатково порівнюється з варіантами, що пропонують альтернативні спеціалізовані підприємства типу «Нова пошта» та «Інтайм».

Програмне рішення розроблялось з застосуванням веб-технологій, є кросплатформним та може працювати як з мобільним, так і зі стаціонарним пристроєм (смартфоном, комп'ютером). Для розрахунків вартості доставки вантажів з використанням спеціалізованих компаній використовується стороннє API. Інструментарій JavaScript (та бібліотеки React.js, Redux), з застосуванням якого розроблялась система, дозволяє організувати обмін даними між нею, стороннім API «Нова пошта» та GoogleAPI для показу маршруту транспортування на мапі, а також здійснювати експорт-імпорт даних в офісні додатки.

Розроблена системи підтримки прийняття рішень є достатньо гнучкою та може бути застосована для рішення логістичних задач в будь-якій сфері народного господарства.

Ключові слова: двофазна оптимізація, задача «комівояжера», логістика, алгоритм мурашиних колоній, алгоритм імітації віджигу, генетичний алгоритм.

Вступ

Постановка проблеми. При сучасному рівні розвитку різних форм торгівлі, включаючи інтернет-сектор, питання доставки товару до споживача та мінімізації витрат цього етапу бізнес-процесу досі хвилюють як підприємців, так і вчених, що працюють в області вирішення логістичних завдань. Рішення оптимізаційних задач транспортної логістики, в тому числі з використанням ІТ-засобів, є актуальним завданням і має як наукове, так і практичне значення. Одним з важелів підвищення ефективності функціонування торговельного або транспортного підприємства є рівень розв'язання логістичних завдань. Задачі маршрутизації є ключовими в галузі транспортних перевезень та логістики. Використання комп'ютерних методів оптимізації при плануванні та реалізації завдань доставки надає економію не менше 5–20 %, отже розробка системи підтримки прийняття рішень є актуальною та економічно обґрунтованою задачею сьогодення.

Проте до теперішнього часу існуючі методи розв'язання задач дискретної оптимізації процесів, що відбуваються в логістичних системах, не є досконалими і не дають однозначних рішень [1; 5]. Також останнім часом розробляються принципово нові наукові підходи розв'язку задач дискретної оп-

тимізації, які базуються на використанні квазіінтелектуальних методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Просторові теорії логістики пов'язані з оптимізацією діяльності транспортно-логістичних компаній, впливом логістичного обслуговування товарних потоків на кінцеві результати бізнесу, моделюванням в транспортній логістиці на основі інтеграції потоків, вибором раціональних маршрутів в системі управління транспортуванням готової продукції.

Дослідженням можливості застосування розв'язків різних модифікацій задачі комівояжера для рішення практичних задач логістики займалися як вітчизняні, так і зарубіжні автори [1; 4; 9–11]. Крім того, науковці спрямовують свої зусилля на покращенні точності обчислень, скороченні їх часу та розширенні меж щодо розмірності задачі, користуючись модифікаціями ефективніших методів та алгоритмів розв'язання оптимізаційних задач, зокрема методом еластичної мережі [3], генетичних алгоритмів [1; 10–11], мурашиної колонії [7–8], імітації віджигу [12], динамічного програмування [5] та їх комбінацій [6; 9].

J. Kennedy, M. [8], Dorigo, M. Birattari, D. [7], Ченцови [5] в своїх роботах пропонують застосування алгоритмів мурашиних або бджолиних коло-

ній при розв'язанні такого класу задач та показують їх переваги та специфіку.

У роботах [4; 11] розглядаються методи вирішення завдань маршрутизації з умовами передування, що використовують ітераційні режими на основі беллмановських вставок з перерахунком умов передування вихідної задачі; передбачається, що розмірність останньої досить велика, що не дозволяє в зв'язку з труднощами обчислень безпосередньо застосовувати динамічне програмування в "глобальному" варіанті.

У роботі [2] для вирішення завдання комівояжера автори пропонують застосувати метод імітаційного моделювання. Такий підхід може бути доцільним як для моделювання транспортних мереж, так і у разі реалізації моделі ланцюжка поставок. Модель поставки товарів заснована на трьох основних методологіях імітаційного моделювання: системній динаміці, агентно- і дискретно-подієвому моделюванні та створена за допомогою системи імітаційного моделювання AnyLogic.

У низці досліджень [4; 6; 9; 11] застосовується комбінація декількох методів та алгоритмів, що дозволяє уникнути недоліків кожного з них та використати переваги алгоритма-партнера.

Аналіз літературних джерел та отриманих авторами результатів дозволив дійти висновку щодо доцільності застосування гібридних технологій, зокрема двофазної оптимізації при розв'язанні логістичних завдань.

Постановка завдання. Метою статті є викладення результатів роботи зі створення системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє вирішувати задачі вибору оптимального варіанта доставки товару на основі двофазної оптимізації транспортної мережі з урахуванням ринкових пропозицій та можливостей власного автопарку.

Об'єктом даного дослідження є бізнес-процеси транспортної логістики з подальшою формалізацією та автоматизацією їх обробки з метою створення системи підтримки прийняття рішень. Предметом дослідження при цьому є методи, процедури, алгоритмічне та спеціальне математичне забезпечення для розв'язання задач маршрутизації та транспортної логістики.

До завдань дослідження належать:

- аналіз правил, прийомів і методів підтримки прийняття рішень в задачах логістики з метою підвищення ефективності управління з використанням сучасних методів обробки інформації;

- адаптація спеціального математичного та алгоритмічного забезпечення під потреби логістичної СППР;

- створення програмного продукту, що реалізує спеціальне математичного та алгоритмічне забезпечення для розв'язання логістичних задач.

Виклад основного матеріалу

Основне місце в транспортній логістиці займають завдання складання оптимальних маршрутів, які дозволяють скоротити пробіг транспортних засобів і таким чином мінімізувати часові, фінансові та інші витрати на перевезення вантажів. Інформаційна логістична система, організована як сукупність взаємопов'язаних засобів обчислювальної техніки, програмування, алгоритмів і моделей, повинна забезпечити підтримку під час прийняття рішення нагальних логістичних завдань з урахуванням існуючих обмежень. Задачі маршрутизації, які доводиться вирішувати при прийнятті логістичного рішення, вимагають від особи, що приймає рішення (ОПР), обирати найбільш прийнятні за економічними та часовими критеріями варіанти в реальному масштабі часу. Відповідно до цього завдання прийняття логістичних рішень складається з таких компонентів як формулювання логістичних цілей (критеріїв) та пошуку прийнятних варіантів рішень за ними.

Основою моделювання оптимізації транспортних маршрутів в задачах транспортної логістики є рішення класичної задачі «комівояжера». Програмне забезпечення для вирішення транспортного логістичного завдання повинно забезпечувати ОПР наступні можливості:

- вибору оптимального маршруту за заданими критеріями з урахуванням існуючих обмежень;
- надання інформації про транспортні засоби, їх завантаженість;
- надання даних про територіальні області, які задіяні при вирішенні завдання;
- розрахунку часових і фінансових витрат.

Загальне формулювання завдання побудови оптимальних рішень може бути представлено у вигляді модифікованого алгоритму розв'язання задачі «комівояжера» на основі двофазної оптимізації транспортної мережі [3]. Введемо наступні поняття та позначення:

- загальний час процесу T ;
- час очікування обслуговування одного пункту збирання t' ;
- транспортні ресурси та паливно-мастильні матеріали (ПММ).
- $N = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – сукупність пунктів мережі (ПМ) або вузлів, які повинні бути включені до маршруту;
- I – вузол-джерело, $I \in N$;
- K – вузол-призначення, $K \in N$;
- $1 \leq i \leq p$ – кількість збірних областей (ЗО), закріплених за даною мережею;
- $S_{i,j}$ – відстань від i -го до j -го вузла;
- $V_{i,j}$ – швидкість руху на ділянці від i -го до j -го вузла;

- $t_{i,j}$ – час руху від i -го до j -го вузла;
- $C_{i,j}$ – бінарна змінна, що приймає значення 1 або 0 в залежності від наявності або відсутності зв'язку між відповідними вузлами;
- $f_i(x_{i1}, \dots, x_{in})$ – значення цільової функції, що характеризує процес транспортування об'єктів в $3O_{ii}$ представляє собою рішення задачі «комівояжера» для закріпленої сукупності ПМ.

Критерієм, за яким оцінюється вартість доставляння вантажу між i -м вузлом та j -м вузлом у задачі «комівояжера», є відстань. Таким чином, з огляду на те, що $V_{i,j}$ – найвища швидкість на ділянці від вузла i до вузла j , час руху представлено як:

$$T_{i,j} = S_{i,j} / V_{i,j}. \quad (1)$$

Значення функції f характеризує час виконання завдання з доставляння вантажу в порівнянних одиницях (години, хвилини):

$$f: X \rightarrow T, \quad (2)$$

де $T \{t_1, t_2, \dots, t_p\}$ та $X \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ – непусті множини.

Сукупність ПМ, які знаходяться в зоні обслуговування $3O$, представлена як підмножина множини пунктів даної мережі. Причому на множині пунктів мережі встановлено відношення еквівалентності: обслуговування i -ї $3O$, що забезпечує розбиття множини на непересічні підмножини.

Таким чином, знаходимо:

$$\min \max T = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K T_{i,j} C_{i,j}, \quad (3)$$

за умови

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^K C_{i,j} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^K C_{j,i} = \begin{cases} 1, & \text{if } i = 1 \\ -1, & \text{if } i = K \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (4)$$

при матричному обмеженні елементів множини ПМ, де рядки матриці відповідають $3O$, а стовпці – ПМ.

$$\begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ \begin{matrix} 3O1 \\ 3O2 \\ \dots \\ 3Op \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & a_{p3} & \dots & a_{pn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

Елементи матриці визначаються наступним чином:

$$\|a_{ij}\| = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_j \text{ включений в маршрут } i\text{-ї } 3O; \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (6)$$

В ході дослідження було розроблено спеціальний алгоритм, що дозволяє отримати субоптимальне рішення задачі (3) з обмеженнями (4–6), який використовує модифікований алгоритм рішення задачі «комівояжера».

Для отримання субоптимального рішення проводилась цілеспрямована зміна початкового розбиття множини ПМ по закріплених $3O$.

Зв'язки між підмножинами ПМ, що належить зонам обслуговування сусідніх $3O$, представлені у вигляді мета-матриці (7).

$$\begin{matrix} & 3O1 & 3O2 & 3O3 & \dots & 3Op \\ \begin{matrix} 3O1 \\ 3O2 \\ \dots \\ 3Op \end{matrix} & \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{p1} & c_{p2} & c_{p3} & \dots & c_{pn} \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (7)$$

де

$$\|c_{ij}\| = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 3O_i \text{ і } 3O_j \text{ сусідні;} \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (8)$$

У моделі задачі для сусідніх $3O$ припустимий перерозподіл ПМ. Передаємо пункти збирання між сусідніми $3O$, при цьому значення цільових функцій також змінюються:

- значення $f_i(x_{i1}, \dots, x_{in})$ зменшується,
- значення $f_j(x_{j1}, \dots, x_{jn})$ збільшується.

Процес передачі ПМ з однієї $3O$ в іншу буде можливий доти, поки одна з підмножин не стане порожньою. Таким чином, в загальному випадку формування вихідної множини альтернатив вирішується в два етапи: породження можливих альтернатив і перевірки їх на припустимість. Відповідно до нього задається припустима похибка рішення задачі та точність обчислень. Процедура виконується поетапно, потужності підмножин $3O_i$ і $3O_k$ змінюються доти, поки не буде виконана умова:

$$|f_i(x_{i1}, \dots, x_{in}) - f(x_{k1}, \dots, x_{kn})| < \Delta t. \quad (9)$$

Кроки повторюються, поки існує пара сусідніх $3O$ для яких виконано:

$$|f_i(x_{j1}, \dots, x_{in}) - f(x_{k1}, \dots, x_{kn})| > \Delta t. \quad (10)$$

Визначаються максимальне і мінімальне фінальні значення функцій, і якщо виконано (11), то задача вважається розв'язаною:

$$|f_{\max} - f_{\min}| < \Delta T. \quad (11)$$

У разі, якщо нерівність (9) не виконано, то дається нове зменшене значення точності обчислень Δt і процеси повторюються.

Якщо фізичні умови (пропускна здатність ма-
шрутів, технічні характеристики матеріального
забезпечення ЗО і топологія з'єднань) будуть такі,
що величина Δt задовольняє нерівності (p – кіль-
кість ЗО, даного об'єкта):

$$\Delta t < \frac{\Delta T}{p}, \quad (12)$$

то завдання вирішується за обраними величинами
похибок. Однак, реально величина Δt обмежена ча-
сом проходження транспорту по шляху, що з'єднує
пункти мережі сусідніх ЗО.

У разі безперервних функцій f_i , алгоритм заве-
ршується, коли виконано рівність:

$$f_1 = f_2 = \dots = f_p. \quad (13)$$

Для програмної реалізації наведеного алгори-
тму було розроблено програмний продукт (ПП), що
надає користувачу наступні можливості:

- створення списку заказів із описом характе-
ристик вантажу;
- створення списку доступних транспортних
засобів та їх характеристик;
- загрузку готового списку вантажу за допо-
могою MS Excel таблиці;
- розрахунок вартості доставки вантажів за
використанням спеціалізованих компанії («Нова
пошта», «Інтайм»);
- розрахунок вартості доставки вантажів з ви-
користанням можливостей власного автотранспорту.

Реалізація програмного рішення була виконана
зі створенням веб-засобу, який може використову-
ватися будь-яким мобільним або стаціонарним при-
строєм (смартфоном, комп'ютером) з довільною
операційною системою та браузером. Для розрахун-
ків вартості доставки вантажів з використанням
спеціалізованих компанії було використано сторон-
нє API (англ. application programming interface –
прикладний програмний інтерфейс) підприємства
«Нова пошта».

Програмний продукт (ПП) було створено з за-
стосуванням можливостей JavaScript (та бібліотеки
React.js, Redux), що дозволяє організувати обмін
даними між розробленим ПП, стороннім API «Нова
пошта» та GoogleAPI для показу маршруту транспор-
тування на мапі.

Програмний продукт має дружній інтуїтивно
зрозумілий інтерфейс з панелями опису власних
транспортних засобів та характеристик товарів з
зазначенням пунктів доставляння, розрахунку вар-
тості доставки за різними схемами, вікном відобра-
ження маршруту на мапі.

В панелі опису власних транспортних засобів
після вибору функції «Додати транспорт» користу-
вачу надається можливість додати характеристики
транспортного засобу та зберегти дані (рис. 1).

| Інформація о транспорте | | |
|-------------------------|-------------|----------------|
| Бренд | | Модель |
| ГАЗ | | ГАЗЕЛЬ |
| Ширина (см) | Высота (см) | Длина (см) |
| 200 | 250 | 350 |
| Грузоподъемность (кг) | | Тип топлива |
| 3500 | | Газ |
| Зарплата за (грн/км) | | Суточные (грн) |
| 0,5 | | 100 |
| СОХРАНИТЬ | | ЗАКРЫТЬ |

Рис. 1. Вікно опису транспортного засобу

Панель для розрахунку вартості доставки має оп-
цію завантаження файлу табличного процесору з да-
ними щодо вантажу з наступними полями: місто; ад-
реса; ім'я клієнта; вага; ширина; висота; довжина; но-
мер телефону; назва товару; вартість товару (рис. 2).

| City | address | User name | weight | width | height | length | phone number | cargo name | cost |
|-----------|--------------------------|-----------|--------|-------|--------|--------|--------------|---------------|-------|
| Одеса | Мельницкая 22 | Антон | 50 | 70 | 185 | 70 | 9239299292 | Холодильник | 10000 |
| Київ | Данила Щербаківського 29 | Павло | 1 | 20 | 10 | 20 | 8377834535 | Телефон | 40000 |
| Тернопіль | Каміна, 6 | Ольга | 50 | 70 | 100 | 70 | 2838392343 | Швейна машина | 4000 |
| Львів | Євгена Коновальця, 53 | Кирило | 200 | 200 | 160 | 100 | 2098376623 | Шкаф | 6000 |
| Полтава | Дмитра Коряка, 27А | Олена | 30 | 100 | 100 | 70 | 2938767722 | Стіл | 2000 |
| Черкаси | Стасова, 29 | Яна | 300 | 150 | 150 | 150 | 9837466221 | Кухня | 10000 |
| Суми | Герасима Кондратьєва, 80 | Катерина | 50 | 70 | 100 | 70 | 9837261122 | Швейна машина | 4000 |
| Чернігів | Реміснична вулиця, 55 | Ольга | 120 | 120 | 50 | 200 | 8372226638 | Ліжко | 5500 |

Рис. 2. Формати вхідних даних

За результатами завантаження файлу користу-
вачу надається можливість ознайомитись з резуль-
татами розрахунку вартості доставки за прайсом
компанії «Нова пошта» (рис. 3).

| Стоимость перевозки Новой почтой | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------|
| № | Маршрут | Заказ | Стоимость |
| 1 | Харьков-Одесса (Мельницкая, 7) | Холодильник | 1038 грн |
| 2 | Харьков-Киев (Галицкого, 56) | телефон | 55 грн |
| 3 | Харьков-Одесса | швейная машина | 472 грн |
| Сумма: | | | 1565 грн |

Рис. 3. Приклад розрахунку вартості доставки
компанією «Нова пошта»

Також користувач має можливість ознайоми-
тись з варіантами маршрутів, за яким можна здій-
снити доставку товару за обраними адресами за умо-
ви мінімізації сумарної відстані та вартісними ха-
рактеристиками цих варіантів.

Інформацію щодо пересування між окремими
адресами подано у табличній формі з наступними
полями: відстань; час, який необхідний для доставки
всіх товарів; витрати на оплату роботи водія; вар-
тість бензину; сумарна вартість (рис. 4).

| Доставка своим автотранспортом (Газ, Газель) | | | | | |
|--|------------|--------|----------|----------|----------|
| Маршрут | Расстояние | Время | Работа | Бензин | Сумма |
| Харьков-Киев (Галицкого) | 485 км | 7 час | 308 грн | 2330 грн | 2638 грн |
| Харьков-Киев (Галицкого) | 480 км | 6 час | 299 грн | 2303 грн | 2600 грн |
| Харьков | 3 км | 1 час | 4 грн | 16 грн | 19 грн |
| Харьков-Одесса (Мель) | 719 км | 12 час | 470 грн | 3452 грн | 3921 грн |
| Итого | 1687 км | 57 час | 1079 грн | 8099 грн | 9178 грн |

Рис. 4. Приклад розрахунку вартості доставки
власним автотранспортом

Маршрути можуть бути візуалізовані на Google мапі (рис. 5).



Рис. 5. Приклад маршруту на мапі

Якщо користувач вважає за потрібне перейти в режим ручного керування та виключити частину позицій з розгляду, він має можливість обирати вантажі зі списку та розрахувати вартість перевезення, комбінуючи товари за власним розсудом (рис. 6).

| | | № | Заказ | Город получатель |
|---|----------------|---|-------------|------------------|
| + | Холодильник | | | |
| + | Телефон | 1 | Телефон | Киев |
| | Швейная машина | 2 | Холодильник | Одесса |

Рис. 6. Вибір вантажу зі списку

Висновки

Під час виконання задачі підтримки прийняття рішень при вирішенні логістичної задачі було досліджено методи, алгоритмічне і спеціальне математичне забезпечення підтримки прийняття рішень для задач транспортної логістики.

Були виконані поставлені завдання, такі як аналіз методів підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності управління з використанням сучасних методів обробки інформації; було розроблено математичну модель та алгоритм розрахунку логістичної задачі.

На підґрунті запропонованого алгоритму засобами JavaScript (та бібліотеки React.js, Redux) було розроблено систему підтримки прийняття логістичних рішень, в яку для розрахунку вартості доставки компанії «Нова пошта» інтегровано її API та для показу маршруту транспортування на мапі – GoogleAPI. СППР виконує розрахунок вартості транспортування вантажу за допомогою компанії доставки та за допомогою власного транспортного засобу та обирає оптимальний маршрут за критерієм мінімізації довжини шляху за умови виконання низки обмежень.

Список літератури

1. Дмитриев А.П. Модификация алгоритма оптимизации последовательности отбора для решения задачи коммивояжера [Электронный ресурс] / А.П. Дмитриев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – С. 45-59. – Режим доступа до журн.: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20628>.
2. Дроздовская В.И. Решение задачи коммивояжера с помощью имитационного моделирования [Электронный ресурс] / В.И. Дроздовская, А.С. Дроздовский, А.Э. Алехина // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – №10. – Режим доступа до журн.: <https://web.snauka.ru/issues/2016/10/72955>.
3. Булашкова М.Г. Сетевые методы решения задачи коммивояжера [Электронный ресурс] / М.Г. Булашкова, А.Н. Ломакина, Е.А. Чаузова, С.А. Зотова // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 5. – С. 72-78. – Режим доступа до журн.: <https://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=30093>.
4. Петунин А.А. Элементы динамического программирования в конструкциях локального улучшения эвристических решений задач маршрутизации с ограничениями [Электронный ресурс] / А.А. Петунин, А.А. Ченцов, А.Г. Ченцов, П.А. Ченцов // Автоматизация и телемеханика. – 2017. – № 4. – С. 106-125. <https://doi.org/10.1134/90005117917040087>.
5. Ченцов А.Г. Динамическое программирование и эвристические методы в задачах маршрутизации [Электронный ресурс] / А.Г. Ченцов, П.А. Ченцов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2017. – №9. – С. 169-181. – Режим доступа до журн.: <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=24154>. <https://doi.org/10.23683/2311-3103-2017-9-169-181>.
6. Diwaker Ch. ACO-SA: enhanced optimization for TSP [Электронный ресурс] / Ch. Diwaker // International Journal of Advanced Research in Computer Science. – 2017. – Vol. 8, No. 7. – P. 294-297. – Режим доступа до журналу www.ijarcs.info.
7. Dorigo M. Ant colony optimization / M. Dorigo, M. Birattari // Encyclopedia of Machine Learning. – Springer, 2010. – P. 36-39.
8. Kennedy J. Particle swarm optimization / J. Kennedy // Encyclopedia of Machine Learning. – Springer, 2010. – P. 760-766.
9. Kumbharana N. A comparative study of ACO, GA and SA for solving travelling salesman problem / N. Kumbharana, G.M. Pandey // International Journal of Societal Applications of Computer Science. – 2013. – Vol. 2. – P. 224-228.
10. Odili J.B. Solving the Traveling Salesman's Problem Using the African Buffalo Optimization / J.B. Odili, M.N. Kahar // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2016. – Vol. 2016. – P. 154-166. <https://doi.org/10.1155/2016/1510256>.
11. Wang C. Solving travelling salesman problem using multiagent simulated annealing algorithm with instance-based sampling / C. Wang, M. Lin, Y. Zhong // International Journal of Computing Science and Mathematics (Inderscience). – 2015. – Vol. 6(4). – P. 336-353.
12. Zhan S. List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem / S. Zhan, J. Lin, Z. Zhang, Y. Zhong // Computational Intelligence and Neuroscience (Hindawi). – 2016. – Vol. 3(1). – P. 1-12.

References

1. Dimitriev, A.P. (2015), "Modifikatsiya algoritma optimizatsii posledovatelnosti otbora dlya resheniya zadachi kommiyovozhyora" [Modification of the sequence optimization algorithm to solve the traveling salesman problem], *Modern problems of science and education*, No. 2-1, pp. 45-59, www.science-education.ru/ru/article/view?id=20628.
2. Drozdovskaya, V.I., Drozdovskiy, A.S. and Alehina, A.E. (2016), "Reshenie zadachi kommiyovazhera s pomoschyu imitatsionnogo modelirovaniya" [The solution of the traveling salesman problem with the help of simulation modeling], *Modern scientific research and innovations*, No. 10, <https://web.snauka.ru/issues/2016/10/72955>.
3. Bulashkova, M.G., Lomakina, A.N., Chouzova, E.A. and Zotova, S.A. (2012), "Setevyye metody resheniya zadachi kommiyovozhyora" [Network methods for solving the traveling salesman problem], *The successes of modern natural science*, No. 5. – pp. 72-78. www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=30093.
4. Petunin, A.A., Chentsov, A.A., Chentsov, A.G. and Chentsov, P.A. (2017), "Elementy dynamicheskogo programmirovaniya v konstruktsiyakh lokalnoho uluchsheniya эвристических решений задач маршрутизации с оhranченными" [Elements of dynamic programming in local improvement constructions for heuristic solutions of routing problems with constraints], *Autom. Remote Control*, Vol. 4, pp. 106-125.
5. Chentsov, A.G. and Chentsov, P.A. (2017), "Dinamicheskoe programmirovaniye i evristicheskie metody v zadachah marshrutizatsii" [Dynamic programming and heuristic methods in routing problems], *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*, No. 9, pp. 169-181, www.izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=24154 DOI 10.23683/2311-3103-2017-9-169-181.
6. Diwaker, Ch. (2017), ACO-SA: enhanced optimization for TSP, *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 8, No. 7, pp. 294-297, www.ijarcs.info.
7. Dorigo, M. and Birattari, M. (2010), Ant colony optimization, *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer, pp. 36-39.
8. Kennedy, J. (2010), Particle swarm optimization, *Encyclopedia of Machine Learning*, Springer, pp. 760-766.
9. Kumbharana, N. and Pandey, G.M. (2013), A comparative study of ACO, GA and SA for solving travelling salesman problem, *International Journal of Societal Applications of Computer Science*, Vol. 2, pp. 224-228.
10. Odili, J.B. and Kahar, M.N. (2016), Solving the Traveling Salesman's Problem Using the African Buffalo Optimization, *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol. 2016, pp. 154-166. ID 1510256, <https://doi.org/10.1155/2016/1510256>.
11. Wang, C., Lin, M. and Zhong, Y. (2015), Solving travelling salesman problem using multiagent simulated annealing algorithm with instance-based sampling, *International Journal of Computing Science and Mathematics (Inderscience)*, Vol. 6(4), pp. 336-353.
12. Zhan, S., Lin, J., Zhang, Z. and Zhong, Y. (2016), List-Based Simulated Annealing Algorithm for Traveling Salesman Problem, *Computational Intelligence and Neuroscience (Hindawi)*, Vol. 3(1), pp.1-12.

Надійшла до редколегії 5.08.2018

Схвалена до друку 11.09.2018

Відомості про авторів:**Шаповалова Олена Олександрівна**

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри
Харківського національного університету
будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4566-6634>

Камардін Антон Сергійович

магістр Харківського національного університету
будівництва та архітектури,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2138-6606>

Петухова Олена Анатоліївна

кандидат технічних наук доцент
доцент кафедри Національного університету
цивільного захисту України,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4832-1255>

Information about the authors:**Olena Shapovalova**

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Lecturer of Kharkiv National University
of Construction and Architecture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4566-6634>

Anton Kamardin

Graduate Student
of Kharkiv National University
of Construction and Architecture,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2138-6606>

Olena Petukhova

Candidate of Technical Sciences Associate Professor,
Senior Lecturer of Department of National University
of Civil Protection of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4832-1255>

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Е.А. Шаповалова, А.С. Камардин, Е.А. Петухова

В статье рассмотрены вопросы применения разработки программной реализации системы поддержки принятия управленческих решений для задач транспортной логистики, в частности, выбора оптимального варианта доставки товара группе потребителей. Система предназначена для оказания поддержки лицу, принимающему решение (ЛПР) в определении наилучшего варианта из множества имеющихся альтернатив по экономическим критериям и имеет практическую направленность. С точки зрения математики рассматривается так называемая задача коммивояжера, для решения которой применяется алгоритм двухфазной оптимизации транспортной сети. На втором этапе полученное решение по критерию стоимости дополнительно сравнивается с вариантами, предлагаемыми альтернативными специализированными предприятиями типа «Новая почта» и «Интайм».

Программное решение разрабатывалось с применением веб-технологий, является кроссплатформенным и может работать как с мобильными, так и со стационарными устройствами (смартфонами, компьютерами). Для расчета стоимости доставки грузов с использованием специализированных компаний используется стороннее API. Инструментарий JavaScript (и библиотеки React.js, Redux), с применением которых разрабатывалась система, позволяют организовать обмен данными между системой, сторонним API «Новая почта» и GoogleAPI для показа маршрута транспортировки на карте, а также осуществлять экспорт-импорт данных в офисные приложения.

Разработанная система поддержки принятия решений является достаточно гибкой и может быть применена для решения логистических задач в любой сфере народного хозяйства.

Ключевые слова: *двухфазная оптимизация, задача «коммивояжера», логистика, алгоритм муравьиных колоний, метод имитации отжига, генетический алгоритм.*

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SOLVING LOGISTIC TASKS

O. Shapovalova, A. Kamardin, O. Petukhova

The issues of application of software implementation of the decision support system for making management decision in the tasks of transport logistics were considered in the article. In particular, authors pay attention to the choice of the optimal option for the delivery of goods to a group of consumers. The system is intended to support the decision maker in determining the best option among the many available alternatives by economic criteria and has a practical focus. From the point of view of mathematics, the so-called traveling salesman problem is considered. For solving this one the algorithm of two-phase optimization of the transport network is applied. In the second stage, the solution obtained by the cost criterion is further compared with the options offered by alternative specialized enterprises such as "Nova Pochta" and "Intime".

The software was developed using web technologies, it is cross-platform and can work with both mobile and stationary devices (smartphones, computers). To calculate the cost of delivery of goods using specialized companies, a third-party API is used. The JavaScript toolkit (and the React.js, Redux libraries) used to develop the system allows users to exchange data between the system, the third-party API "New Mail" and GoogleAPI to show the transport route on the map, and also export and import data to office applications.

The developed decision support system is flexible enough and can be applied to solve logistics tasks in any sphere of the national economy.

Keywords: *two-phase optimization, the problem of sales traveler, logistics, ant colony idioms algorithm, genetic algorithm.*