

УДК 656.212.5:681.3

В.М. Пахомова¹, Л.О. Мищанюк¹

¹Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,
Україна, 49010, г. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

Інтелектуальна підсистема вибору раціональних маршрутів вантажних потягів

В.Н. Пахомова¹, Л.А. Мищанюк¹

¹Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна,
Украина, 49010, г. Днепропетровск, ул. Лазаряна, 2

Интеллектуальная подсистема выбора рациональных маршрутов грузовых поездов

V.N. Pahomova¹, L.A. Mischanyuk¹

¹Dnepropetrovsky National University of Railway Transport named after Academician Lazaryana,
Ukraine, 49010, Dnepropetrovsk, st. Lazaryana, 2

Intelligent subsystem rational choice of routes of freight trains

У статті представлена розроблена інтелектуальна підсистема вибору раціональних маршрутів вантажних поїздів на основі елітної стратегії мурашиного алгоритму в залізничній мережі Придніпровської залізниці за різними системами маршрутизації: кільцевої та маятникової.

Ключові слова: залізнична мережа, інтелектуальна підсистема, кільцева та маятникова системи маршрутизації, мурашиний алгоритм, елітна стратегія

В статье представлена разработанная интеллектуальная подсистема выбора рациональных маршрутов грузовых поездов на основе элитной стратегии муравьиного алгоритма в железнодорожной сети Приднепровской дороги при различных системах маршрутизации: кольцевой и маятниковой.

Ключевые слова: железнодорожная сеть, интеллектуальная подсистема, кольцевая и маятниковая системы маршрутизации, муравьиный алгоритм, элитная стратегия

The paper presents the developed intelligent subsystem choice of rational route freight trains on the basis of an elite strategy of ant algorithm in the Dnieper railway network of the road at various routing systems: a ring and a pendulum.

Keywords: railway network, the intelligent subsystem, ring and edge routing system, the ant algorithm, an elite strategy

Вступ

На даний час у багатьох країнах світу, в тому числі державах Євросоюзу, Росії та Україні, зростає розуміння важливості вирішення глобальних проблем транспортних комплексів. Це, перш за все, пов'язано з вимогами підвищення безпеки та ефективності перевезень, з ростом мобільності суспільства, зменшення впливу транспорту на навколишнє середовище та інших. У вирішенні цих проблем найважливіше місце займає створення та використання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) [1]. У наш час на українських залізницях діє понад 1000 автоматизованих систем, основна із них система АСК ВП УЗ-Є (Автоматизована Система Керування Вантажними Перевезеннями Укрзалізниці Єдина) дає можливість вести поїзну, контейнерну, локомотивну моделі Дороги з передачею інформації в аналогічній моделі рівня Укрзалізниці [2]. Це дозволило вести оперативний контроль навантаження (вивантаження) вагонів і контейнерів, дислокацію локомотивів і локомотивних бригад, контроль проходження поїздів, облік і видачу попереджень у поїзної роботи.

На залізниці існують дві основні системи маршрутизації вантажних перевезень: маятникова та кільцева [3]. Маятникова система полягає у взаємному транспортному зв'язку двох станцій, між якими постійно обертаються закріплені за даним маршрутом поїзди. Кільцева система характеризується транспортним зв'язком ряду залізничних станцій з послідуною передачею вантажів від однієї станції в іншу [4]. При виборі системи вантажних перевезень необхідно домагатися найкоротших шляхів просування вантажів та максимально високого коефіцієнту пробігу.

Формулювання цілей роботи

Розробити алгоритм створення інтелектуальної підсистеми вибору раціональних маршрутів вантажних потягів на основі мурашиного алгоритму в залізничній мережі Придніпровської залізниці за різними системами маршрутизації: кільцевої та маяткової.

Постановка задачі

Залізничну мережу Придніпровської залізниці запропоновано представити у вигляді неорієнтованого графу $G=(N,A)$ з кількістю вузлів N і кількістю ребер A , в якому кожному ребрі (i,j) призначене число d_{ij} . Вершини графу відповідають станціям можливого слідування, навантаження, розвантаження та оборту потягів, а множина ребер, що з'єднують вершини графа, відповідають прокладеним залізничним дорогам між цими станціями. У якості d_{ij} взята довжина залізничної дороги із станції i до станції j . Граф розрахункової ділянки мережі Придніпровської залізниці приведений на рис. 1. Довжина любого шляху $p_{im} = (i, j, k, \dots, l, m)$ визначається як $d_{ij} + d_{jk} + \dots + d_{lm}$. При кільцевій схемі обороту потягів необхідно вирішити задачу комівояжера, яка полягає у знаходженні оптимального (мінімального) маршруту, що проходить через всі станції один раз з послідуочим поверненням на станцію відправлення. При маяткової схемі обороту потягів необхідно визначити мінімальне остовне дерево.

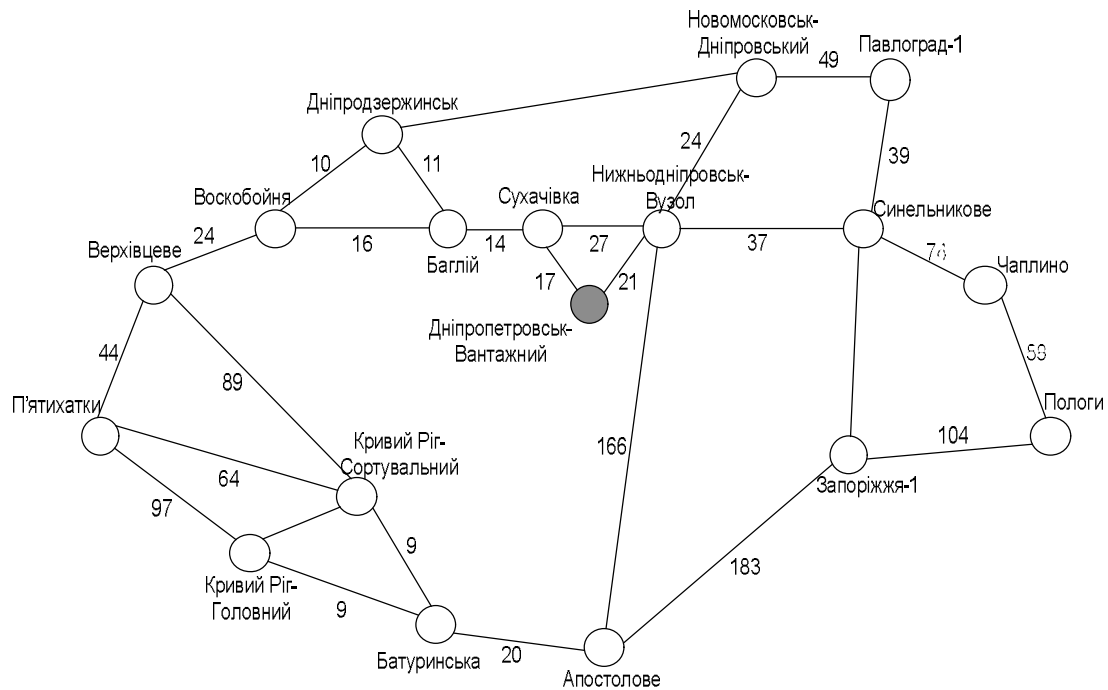


Рисунок 1 – Граф залізничної мережі Придніпровської залізниці

Примітка: довжина залізниць приведена в км

Вирішення задачі

На сьогодні існує велика кількість математичних методів, за допомогою яких можна вирішити задачу маршрутизації на залізничному транспорті, але за останні роки при оптимізації складних систем дослідники все частіше застосовують природні механізми пошуку найкращих рішень. Сьогодні інтенсивно розробляється науковий напрям Natural Computing («Природні обчислення»), який поєднує методи з природними механізмами прийняття рішень, а саме: Genetic Algorithms – генетичні алгоритми; Evolution Programming – еволюційне програмування; Neural Network Computing – нейромережні обчислення; DNA Computing – ДНК обчислення; Cellular Automata – клітинні автомати; Ant Colony Algorithms – мурашині алгоритми [5].

Для рішення поставлених задач пропонується алгоритм мурашиних колоній. Ймовірність включення ребра в маршрут окремої мурахи пропорційна кількості феромонів на цьому ребрі, а кількість відкладеного феромону пропорційно довжині маршруту. Мураха забезпечується набором простих правил, які дозволяють йому вибирати шлях в графі. Він підтримує список вузлів, які він вже відвідав [6].

На сьогоднішній день існує п'ять основних модифікацій мурашиного алгоритму: Elitist Ant System, Ant-Q, Ant Colony System, Max-min Ant System, ASrank. Відмінними особливостями існуючих модифікацій алгоритму є введення елітних мурах, механізм виділення та випаровування. Всі ці модифікації розроблялися на основі класичного мурашиного алгоритму, що базується на ймовірнісному виборі [7]. Для рішення поставлених задач використана модифікація алгоритму ACS (Ant Colony System).

Удосконаленням є введення в алгоритм так названих «елітних мурах». Досвід показує, що проходячи ребра, що входять в найкоротші шляхи, мурахи з більшою ймовірністю будуть знаходити ще більш коротші шляхи. Таким чином, ефективною стратегією є штучне збільшення рівня феромону на самих найкращих маршрутах.

Для цього на кожній ітерації алгоритму кожний з елітних мурах проходить шлях, що є самим найкоротшим із знайдених на даний момент [8].

Мураха-дослідник вибирає напрямок переміщення із i в j на основі псевдовипадкового правила переходу. Ймовірність переходу k -ї мурахи зі станції i на станцію j на t -й ітерації розраховується за випадково-пропорційним правилом [9]

$$\begin{cases} P_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}, & \text{якщо } j \in J_i^k \\ P_{ij}^k(t) = 0, & \text{якщо } j \notin J_i^k \end{cases}, \quad (1)$$

де $\tau_{ij}(t)$ – кількість феромону між станціями залишеного за час t , $\eta_{ij}(t)$ – видимість, величина обернена до відстані: $\eta_{ij} = 1/D_{ij}$, де D_{ij} – відстань між станціями i та j , α і β – два регульовані параметри, які є вагами інтенсивності сліду феромону та видимості. Якщо $\alpha = 0$, то найвірогіднішим буде перехід у найближчу станцію. Якщо $\beta = 0$, тоді працює лише феромонне підсилення, що призводить до швидкого завершення роботи алгоритму через збігання маршрутів усіх мурах до одного субоптимально розв'язку.

Після завершення маршруту кожна мураха k відкладає на ребро (i, j) таку кількість феромону [9]

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L^k(t)}, & \text{якщо } (i, j) \in T^k(t) \\ 0, & \text{якщо } (i, j) \notin T^k(t) \end{cases}, \quad (2)$$

де $T^k(t)$ – маршрут, зроблений мурахою k на ітерації t ; $L^k(t)$ – його довжина; Q – регульований параметр, значення якого обирають одного порядку з довжиною оптимального маршруту.

Для забезпечення можливості експлуатації простору рішень потрібно забезпечити випаровування феромону – це зменшення кількості відкладеного на попередніх ітераціях феромону. Інтенсивність випаровування феромону задається за допомогою коефіцієнта випаровування $\rho \in [0, 1]$. Кінцеве правило оновлення феромону, яке стосується всіх ребер, приймає вигляд [9]

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t), \quad (3)$$

де $\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t)$; m – кількість мурах в колонії.

Для покращення характеристик мурашиного алгоритму використовують елітних мурах, які підсилюють ребра найкращого маршруту T^* , знайденого від початку пошуку. Кількість феромону, що відкладається на ребрах маршруту T^* , приймаються рівною Q/L^* , де L^* – довжина маршруту T^* . Підсилений слід феромону вздовж маршруту T^* буде спрямовувати інших мурах до пошуку розв'язків, що містять декілька ребер найкращого на даний момент маршруту T^* . Якщо в мурашнику є e елітних мурах, то ребра найкращого маршруту T^* отримають загальне підсилення

$$\Delta\tau_e = e \cdot \frac{Q}{L^*}, \quad (4)$$

де e – кількість елітних мурах; Q – параметр, що має значення порядку довжини оптимального маршруту; L^* – довжина маршруту найкращого маршруту T^* .

Програмна реалізація

Існує велика кількість мов програмування, на яких можна реалізувати мурашиний алгоритм. Для реалізації мурашиного алгоритму обрано пакет MATLAB, який в порівнянні з традиційними мовами програмування дозволяє на порядок скоротити час вирішення типових задач і значно спростити розробку нових алгоритмів [10]. Для створення програм з графічним інтерфейсом в склад MATLAB входить спеціалізоване середовище GUIDE (Graphic User Interface Development Environment) [11]. Для рішення поставлених задач створено програмну модель «ACS», структура якої представлена на рис. 2.

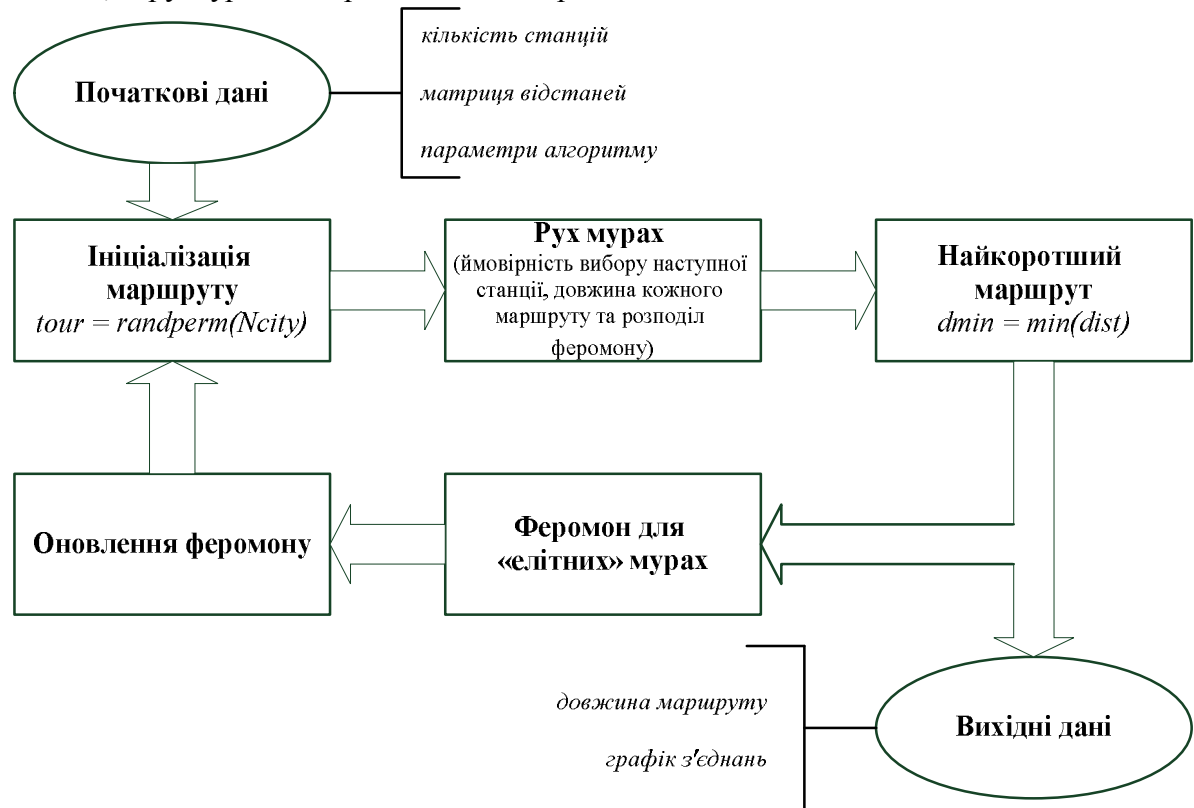


Рисунок 2 – Структура програмної моделі «ACS»

Вхідні параметри моделі: кількість залізничних станцій $Ncity=18$, координати їх розміщення $xcity$, $ycity$ та відстані між ними, які представлені у вигляді матриці $dcity$. Параметри алгоритму: кількість мурах $Nants=700$; видимість мурах $vis=1/dcity$; початкова ініціалізація феромона $phmone=0.1 \cdot ones(Ncity, Ncity)$; параметри, що є вагами інтенсивності сліду феромону та видимості $a=1$, $b=6$; коефіцієнт інтенсивності випаровування $rr=0,5$; параметр, що містить позначення порядку довжини оптимального маршруту $Q=3$; кількість елітних мурах $e=5$; максимальна кількість ітерацій алгоритму $maxit=10$. Рух мурах починається зі встановленої точки, тобто зі станції навантаження та відправлення потягів: Дніпропетровськ-Вантажний. Програма виконує 10 ітерацій та виводить граф оптимального маршруту.

Кільцева система маршрутизації

У результаті роботи програмної моделі «ACS», що знаходить оптимальний маршрут в залізничній мережі Придніпровської залізниці за кільцевої системою маршрутизації, на екран виводиться Figure 1 (рис. 3), що показує вершини графу та відповідне з'єднання станцій. Знайдений маршрут склав 800 км, для його знаходження знадобилось 10 ітерацій, загальний час розрахунку складає 8,7 с.

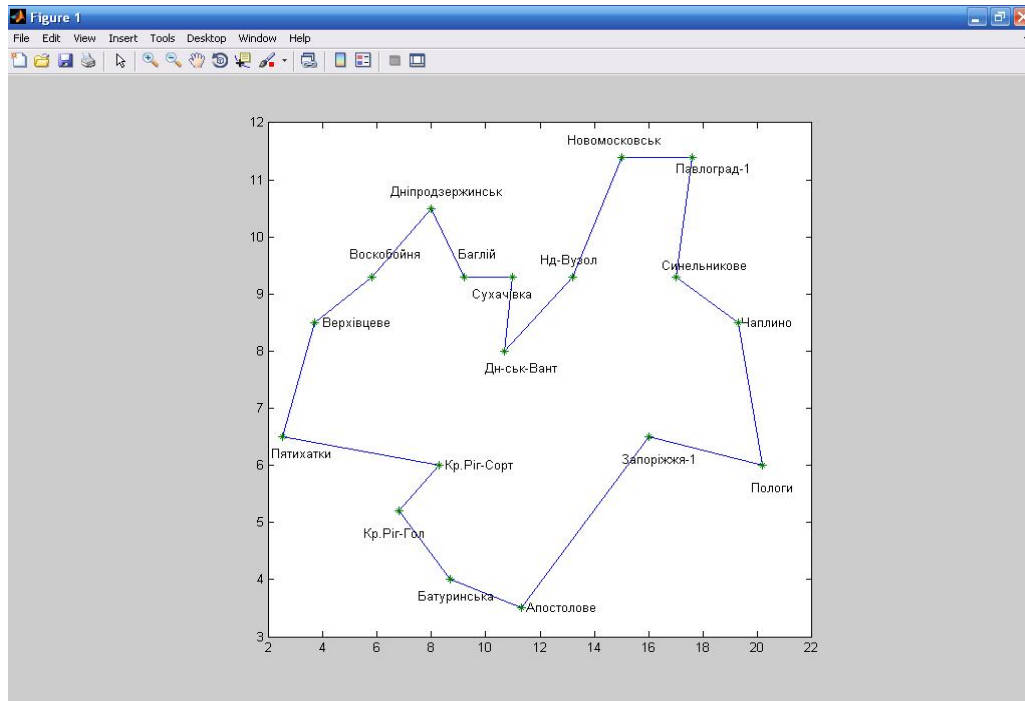


Рисунок 3 – Оптимальний маршрут в залізничній мережі Придніпровської залізниці за кільцевої системою маршрутизації

Маятниковая система маршрутизації

У результаті роботи програмної моделі «ACS», що знаходить оптимальний маршрут в залізничній мережі Придніпровської залізниці за маятковою системою маршрутизації, на екран виводиться графік Figure 1 (рис. 4), що показує оптимальний маршрут з'єднань. Довжина знайденого маршруту складає 764 км, загальний час розрахунку програми склав 1 хв. 31 с.

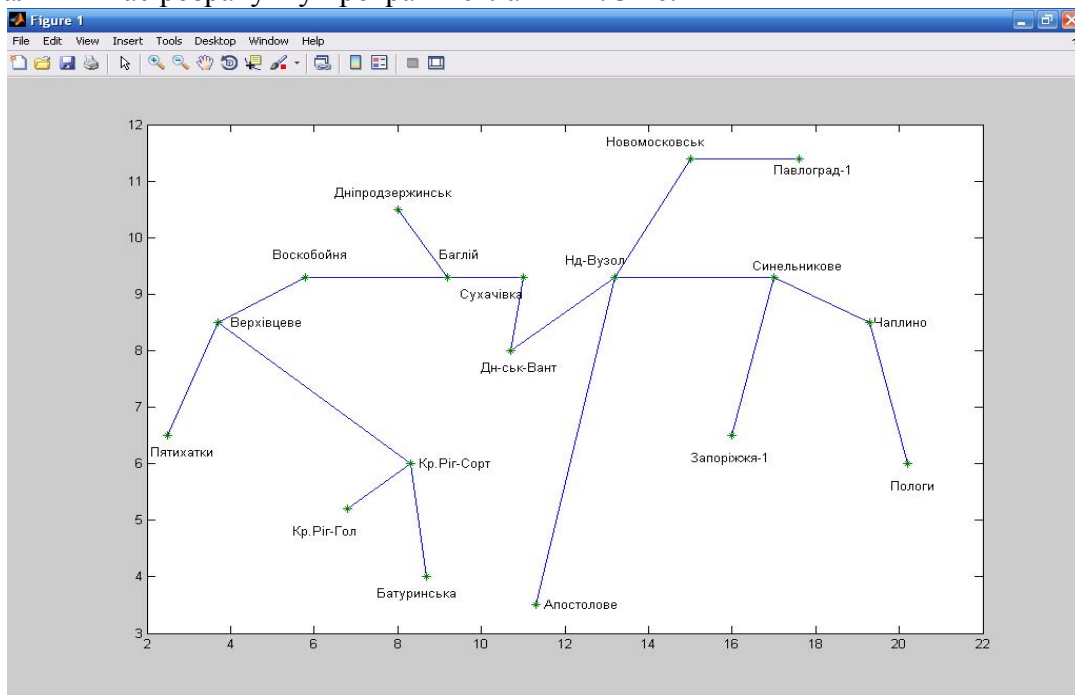


Рисунок 4 – Оптимальний маршрут в залізничній мережі Придніпровської залізниці за маятковою системою маршрутизації

Розробка інтерфейсу підсистеми

При запуску програми на екрані відобразиться головне вікно АРМу, в якому необхідно обрати схему обороту потягів, задати станції відправлення та прибуття, налаштувати параметри алгоритму та натиснути кнопку «Маршрут»; при натисканні якої відображається розрахований маршрут. Приклад роботи програми представлений на рис. 5, прокладений маршрут від ст. Дніпропетровськ-Вантажний до ст. Батуринська, довжина якого 169 км та час затрачений на розрахунок 23,9 с.

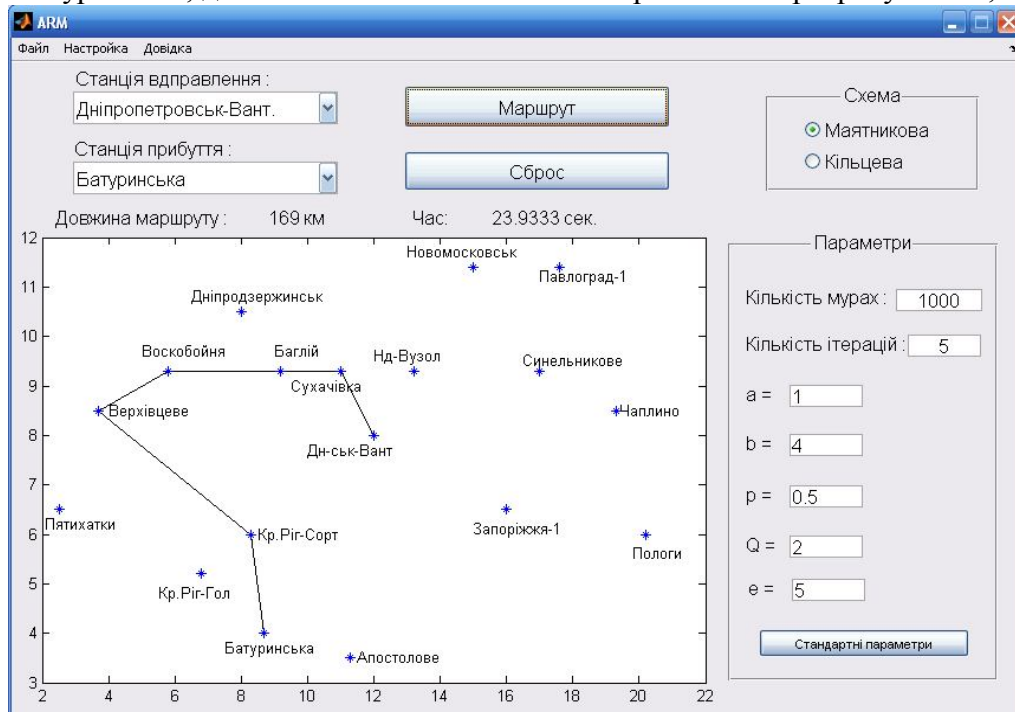


Рисунок 5 – Приклад роботи програми

У головному вікні програмної моделі є панель меню: Файл, Настройка, Довідка. У меню «Файл» є підпункти: «Зберегти» (Ctrl+S) та «Вихід» (Ctrl+Q). Меню «Настройка» дозволяє вибрати колір ліній, якими буде з'єднуватись маршрут; при натисканні кнопки «Колір» на екран буде виведено палітру кольорів, з якої можна обрати необхідний. Меню «Довідка» виводить на екран інформацію про програмну модель.

Висновки

Розроблена програмна модель інтелектуальної підсистеми вибору раціональних маршрутів вантажних потягів на основі мурашиного алгоритму в залізничній мережі Придніпровської залізниці за різними системами маршрутизації: кільцевої та маятникової. Формування оптимального маршруту прямування вантажних потягів може бути корисним в рамках існуючої автоматизованої системи управління вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ-Є).

Література

1. Пшинько А. Н. Железнодорожные интеллектуальные транспортные системы и концепция международной программы подготовки магистров в области ИТС CITISET [Текст] / А. Н. Пшинько и др. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – № 4. – С. 52-57.

2. Жуковицький І. В. Створення нових можливостей АСК ВП УЗ із підтримки оперативного планування призначення локомотивів до складу вантажних поїздів [Текст] / І. В. Жуковицький, А. Б. Устенко, О. Л. Зиненко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – №5. – С. 51-56.
3. Бутко Т. В. Розробка раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів на основі системи мурашиних колоній [Текст] / Т. В. Бутко, А. В. Прохорченко, Є. В. Чеклова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – 3/5(39). – С. 9-13.
4. Энциклопедия ж.д. Маршрутизация перевозок грузов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.jd-enciklopedia.ru/15-upravlenie-perevozhnym-processom/15-6-marshrutizaciya-perevozok-gruzov/>
5. Штовба С. Д. Муравьиные алгоритмы [Текст] / С. Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4(4). – с.70-75.
6. Джонс М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях [Текст] / М. Т. Джонс; пер. с англ. А. И. Осипов. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 312 с.
7. Дидук В. А. Разработка алгоритма направленной маршрутизации для беспроводных сенсорных сетей [Текст] / В. А. Дидук, А. М. Коваленко, Е. Г. Трофименко // Праці Одеського політехнічного університету. – 2011. – Вип. 1(35). – С. 151-154.
8. Муравьиные алгоритмы [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/105302/>
9. Штовба С. Д. Мурашині алгоритми оптимізації [Текст] / С. Д. Штовба, О. М. Рудий // Вісник ВПІ. – 2004. – №4. – С. 62-69.
10. Продукты MATLAB и Simulink [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.sl-matlab.ru/services/products/detail.php?ID=430>
11. Бадриев И. Б. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB [Текст] / И. Б. Бадриев, В. В. Бандеров, О. А. Задворнов. – Казань: Казанский государственный университет. – 2010. – 113 с.

Literatura

1. Railway intelligent transport systems and the concept of an international training program for master's degrees in ITS CITISET [Text] / A. N. Pshinko // Informatsiyno-keruyuchi system on the zaliznichnomu transporti . – 2012. – № 4. – P. 52-57.
2. Zhukovitsky I. V. Stvorenniya novih mozhlivostey ASK VP UZ iz pidtrimki operational planuvannya pryznachennya lokomotiviv to the warehouse vantazhni poїzdov [Text] / I. V. Zhukovitsky, A. B. Ustenko, O. L. Zinenko // Informatsiyno-keruyuchi system on the zaliznichnomu transporti. – 2011. – № 5. – P. 51-56.
3. Bucko T. V. Rozrobka ratsionalnih marshrutiv pryamuvannya pasazhirskih poїzdov on osnovi Sistemi murashinih koloniy [Text] / T. Butko, A. Prohorchenko, E. Cheklova // East European Journal of advanced technologies. – 2009. – 3/5 (39). – P. 9-13.
4. Encyclopedia of Railways. The routing of freight [Electronic resource] / Access mode: <http://www.jd-enciklopedia.ru/15-upravlenie-perevozhnym-processom/15-6-marshrutizaciya-perevozok-gruzov/>
5. Shtovba S. D. Ant Algorithms [Text] / S. D. Shtovba // Exponenta Pro. Mathematics in the Appendix. – 2003. – № 4 (4). – P. 70-75.
6. Jones M. T. Programming iskusstvennogo intelligence in Annex [Text] / M. T. Jones; trans. from English. A. I. Osipov. – M.: DMK Press, 2004. – 312 p.
7. Diduk V. A. Development directed routing algorithm for wireless sensor networks [Text] / V. A. Diduk, A. M. Kovalenko, E. G. Trofymenko // Pratsi Metro Manila politehnichnogo universitetu. – 2011. – Vip.1(35). – P. 151-154.
8. Muravnye algorithms [Electronic resource] / Access mode: <http://habrahabr.ru/post/105302/>
9. Shtovba S. D. Murashini algorithmic optimizatsii [Text] / S. D. Shtovba, O. M. Rudy // News VPI. – 2004. – № 4. – P. 62-69.

10. Products MATLAB and Simulink [Electronic resource] / Access mode: <http://www.sl-matlab.ru/services/products/detail.php?ID=430>
11. Badriev I. B. Development of a graphical user interface in the delirium of MATLAB [Text] / I. Badriev, V. Bandera, O. Zadvornov. – Kazan: Kazan State universitet. – 2010. – 113 p.

RESUME

V.N. Pahomova, L.A. Mischanyuk

Intelligent subsystem rational choice of routes of freight trains

This paper developed an intelligent subsystem choice of rational route freight trains.

On the basis of the elite strategy of ant algorithm proposed in [9] developed a software model «ACS» in the environment MATLAB. The input parameters of the model are: the number of freight stations, the coordinates of their location and the distance between them, as well as the parameters of the algorithm (the number of ants and their visibility; initialize the pheromone, the parameters are weighted pheromone trail intensity and visibility; evaporation intensity factor, the number of elite ants, and the maximum the number of iterations of the algorithm).

For the Dnieper railway network based on the model of the road «ACS» the optimal routes of freight trains at various routing systems: a ring and a pendulum.

Intelligent subsystem rational choice of routes freight trains can find the application in the existing automation system freight.

В.Н. Пахомова, Л.А. Мищанюк

Интеллектуальная подсистема выбора рациональных маршрутов грузовых поездов

В данной статье разработана интеллектуальная подсистема выбора рациональных маршрутов грузовых поездов.

На основе элитной стратегии муравьиного алгоритма, предложенной в работе [9], разработана программная модель «ACS» в среде MATLAB. Входными параметрами модели являются: количество грузовых станций, координаты их размещения и расстояние между ними, а также параметры алгоритма (число муравьев и их видимость; инициализация феромона; параметры, являющиеся весами интенсивности следа феромона и видимости; коэффициент интенсивности выпаривания; число элитных муравьев; максимальное количество итераций алгоритма).

Для железнодорожной сети Приднепровской дороги на основе модели «ACS» определены оптимальные маршруты движения грузовых поездов при различных системах маршрутизации: кольцевой и маятниковой.

Интеллектуальная подсистема выбора рациональных маршрутов грузовых поездов может найти свое применение в существующей автоматизированной системе управления грузовыми перевозками.