

*Канд. техн. наук Д.В. Константинов,
Д.О. Бурлакова*

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ПРЯМУВАННЯ ПРИМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

Представив д-р техн. наук, професор Є.С. Альошинський

Вступ. У сучасних умовах в основі залізничних приміських пасажирських перевезень лежать незмінні протягом кількох десятиріч технології перевізного процесу, які обмежують здатність пасажирського комплексу гнучко реагувати на коливання попиту споживачів ринку приміських пасажирських перевезень. Виходячи з цього, для зниження збитковості приміських пасажирських перевезень необхідним є застосування організаційних технологій, в основу яких покладені концепції, що відповідають вимогам змінної основи організації перевезень та базуються на застосуванні принципів маркетингу і одного із напрямків науки управління потоками – пасажирської логістики.

Зв'язок з науковими програмами. Згідно з Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. №651-р та Програмою реструктуризації галузі одним із основних напрямків розвитку організації приміських пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення гнучких технологій поїздоутворення, що є одним з напрямків вирішення проблеми ресурсозбереження [1].

Аналіз останніх досліджень. Досвід сучасних технологій організації пасажирських перевезень на залізницях Європейського Союзу вказує на необхідність та важливість застосування при вирішенні задач регулювання рухом сучасних методів математичного моделювання, на підставі яких є можливою

швидка адаптація до змін попиту на перевезення в умовах конкуренції на ринку транспортних послуг. Передовими науковцями країн західної Європи досліджуються задачі визначення раціональних маршрутів прямування та розроблення графіка руху пасажирських поїздів, а також вибору типу і періодичності їх курсування по кожному напрямку за допомогою розроблення більш гнучких технологій [2, 3].

В роботі [4] пропонується використовувати генетичний алгоритм для вирішення задачі розрахунку розкладу поїздів на мережі Іспанських залізниць, що є одним з найбільш перспективних та ефективних шляхів удосконалення існуючої на вітчизняних залізницях методики вибору варіантів курсування приміських поїздів, що надасть можливість шляхом перебору всіх можливих варіантів маршрутів та порівняння витрат на їх організацію реалізувати нову систему курсування приміських поїздів, побудовану на принципі адаптації.

Постанова завдання. Запропоновані раніше в [5,6,7] шляхи реалізації адаптивної технології приміських перевезень, а саме технологія оперативного регулювання складів та вибору маршрутів прямування на станціях обороту приміських поїздів, для взаємного узгодження та практичної реалізації потребують ув'язки їх роботи. Це можливо здійснити шляхом створення загальної системи організації приміських перевезень, завданням якої буде розроблення

маршрутів приміського руху на основі збору звітних даних щодо оперативної регульованої роботи на станціях та результатів визначення доцільності вибору подальшого напрямку прямування. Результатом роботи такої системи буде створення найбільш економічно та технологічно доцільних маршрутів прямування приміських поїздів у межах певного періоду в певних вузлах, що дозволить надати системі приміських перевезень ще більшої гнучкості в роботі за рахунок розвитку та узагальнення механізмів адаптації. Розроблення такої системи доцільно реалізувати на основі еволюційних методів моделювання з використанням генетичних алгоритмів [2-4].

Основний матеріал. Еволюційний алгоритм являє собою метод, що здійснює процедуру пошуку, побудовану на механіках природного відбору та

наслідування. В ньому використовується еволюційний принцип виживання найбільш пристосованих осіб. Класичний генетичний алгоритм є різновидом еволюційних алгоритмів, основна ідея якого полягає в зображенні хромосоми у вигляді вектора дійсних чисел, що дозволяє розглядати генотип об'єкта дослідження ідентичним його фенотипу [8]. Загальну послідовність стадій реалізації генетичного алгоритму подано у вигляді блок-схеми на рис. 1.

Моделювання маршрутів прямування приміських поїздів полягає в пошуку оптимальних варіантів їх курсування в межах певного вузла, що визначає необхідність його моделювання. Моделлю такого вузла може бути зважений граф $G(v,r)$, де вагами ребер є гени h_{ij}^k , приклад якого подано на рис. 2.

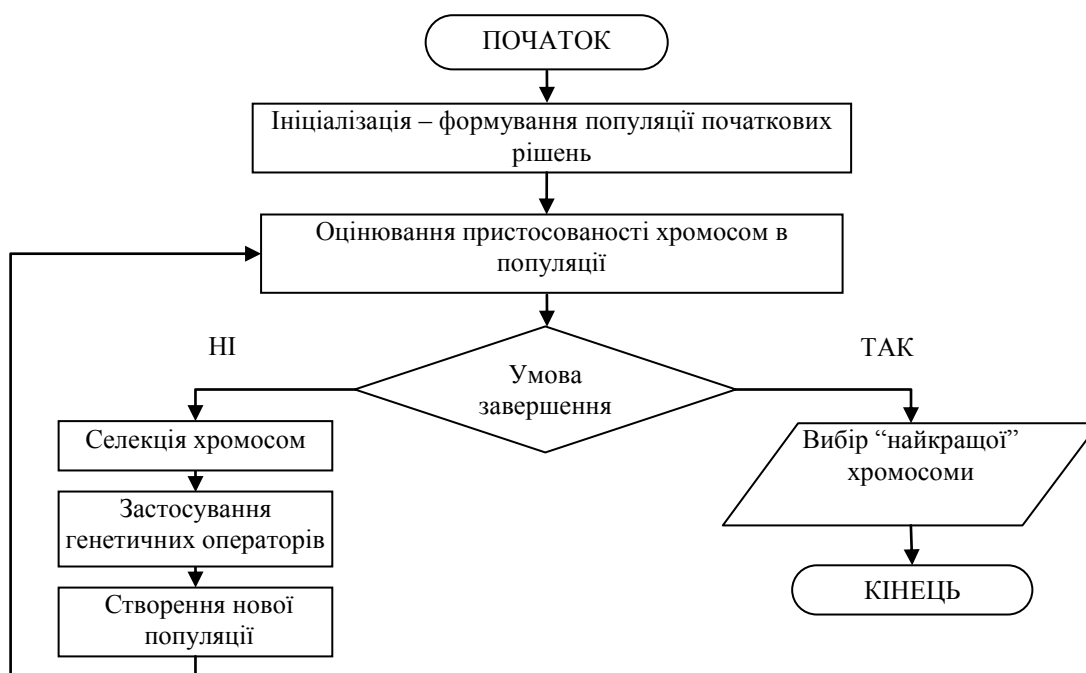


Рис. 1. Схема послідовності стадій реалізації генетичного алгоритму

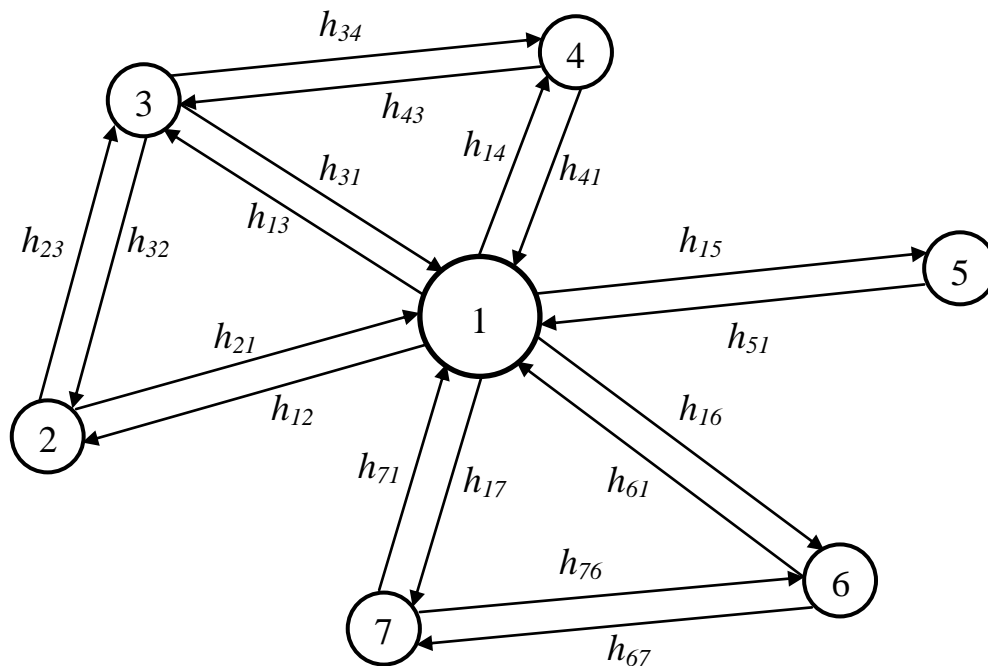


Рис. 2. Граф певного залізничного вузла $G(v,r)$

Завдання пошуку оптимального маршруту курсування приміського поїзда в межах певного вузла полягає у знаходженні деякої сукупності дільниць прямування поїзда від i -х станцій відправлення до j -х станцій призначення, послідовне проходження яких поїздом формує загальний маршрут, який, порівняно з іншими варіантами, є більш ефективним відносно критерію оптимізації, враховуючи, що станції i та j є станціями обороту приміських поїздів на певних напрямках. Тому, враховуючи необхідність

формування генотипу (набору оптимальних маршрутів) певного вузла в умовах моделювання на основі генетичного алгоритму згідно із завданням пошуку певної оптимальної комбінації маршрутів, доцільно подати як хромосому деякий маршрут, що складається з певної сукупності дільниць i - j залізничного вузла, де кожний ген відповідно моделює дільницю прямування між певною парою станцій i - j . Структуру хромосоми зображено у вигляді

$$H = \sum_{i,j=1}^v h_{ij} \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k, h_{ij}^{k+1}, \dots, h_{ij}^m\} \quad h_{ij}^k = \begin{cases} 1 - \text{можливий} \\ 0 - \text{неможливий} \end{cases}, \quad (1)$$

де v – кількість станцій у вузлі, що моделюється;

h_{ij}^k – ген, що моделює певний з варіантів прямування від станції відправлення i

до станції призначення j і набуває значення 1 або 0;

m – загальна кількість генів у певному маршруті;

k – певний ген маршруту із загальної сукупності m , $k \in m$.

Отже, генотипом графа $G(R)$ буде набір хромосом $H \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k\}$, кожна з яких відповідно моделює один певний маршрут для приміського поїзда. При цьому гени в кожному певному маршруті розташовуються іншим чином, моделюючи послідовність дільниць прямування у маршруті. Для поданого графа $G(R)$ залізничного вузла хромосома буде мати вигляд

$$H = \{h_{12}^1, h_{21}^2, h_{13}^3, h_{31}^4, \dots, h_{ij}^k\}, \quad (2)$$

Початковим етапом вирішення завдання пошуку оптимальної комбінації в моделі генетичного алгоритму є формування вихідної популяції, що здійснюється шляхом випадкового перебору та розстановки генів і їх значень у заданій сукупності хромосом із зображенням як двійникової послідовності фіксованої довжини:

$$H1 = \{h_{12}^1, h_{23}^2, h_{21}^3, h_{14}^4, h_{32}^5, h_{67}^6, h_{43}^7, h_{34}^8, h_{31}^9, h_{17}^{10}, h_{76}^{11}, h_{15}^{12}, h_{61}^{13}, h_{51}^{14}, h_{41}^{15}, h_{13}^{16}, h_{71}^{17}, h_{16}^{18}\}$$

$$H2 = \{h_{43}^1, h_{34}^2, h_{16}^3, h_{15}^4, h_{61}^5, h_{14}^6, h_{67}^7, h_{41}^8, h_{17}^9, h_{71}^{10}, h_{32}^{11}, h_{21}^{12}, h_{12}^{13}, h_{51}^{14}, h_{23}^{15}, h_{13}^{16}, h_{76}^{17}, h_{31}^{18}\}$$

Кожен ген у хромосомі моделює певну дільницю прямування від станції відправлення i до станції призначення j та

може набувати значення 1 або 0. Отже, хромосоми з початкової популяції для графа $G(R)$ будуть мати вигляд

$$H1 = \{1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$H2 = \{0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1\}$$

(3)

При цьому в комбінації генів кожної хромосоми показано певний маршрут прямування, гени якого розташовуються

послідовно згідно з порядком прямування дільницями маршруту, що відображається на графі вузла $G(R)$ (рис. 3).

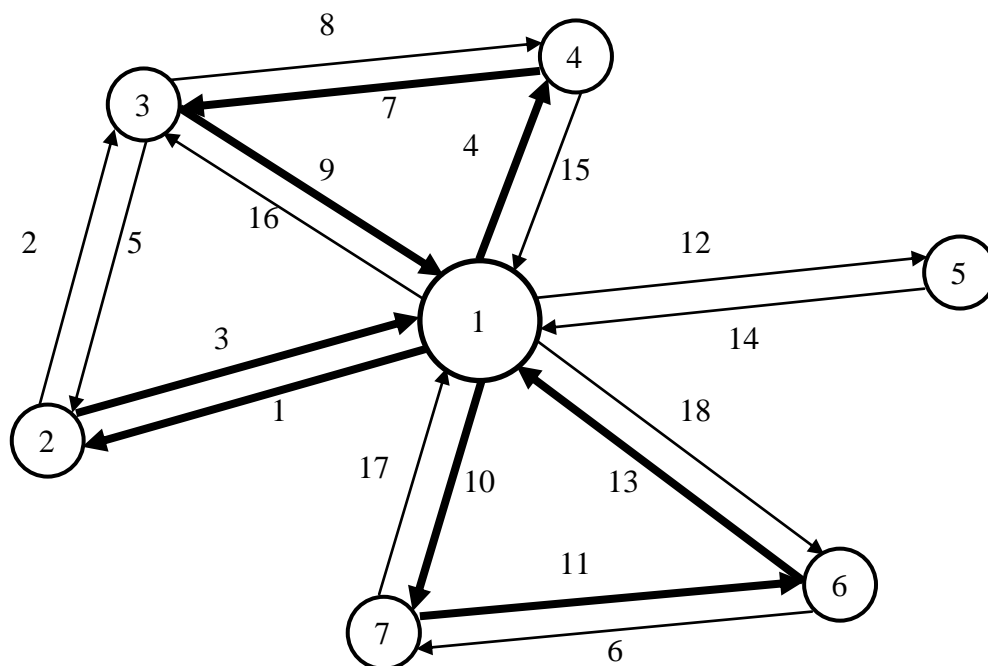


Рис. 3. Маршрут прямування згідно з хромосомою H1

Оцінювання пристосованості хромосом у популяції зводиться до розрахунку фітнес функції пристосованості для кожної хромосоми вихідної популяції. Завдання пошуку оптимального маршруту прямування полягає у визначенні варіанта прямування у вузлі з мінімальними експлуатаційними витратами, що вказує на необхідність спрямування задачі фітнес функції на винайдення мінімального рішення, яке буде відповідати мінімальним витратам на прямування приміського поїзда.

При цьому необхідно врахувати деякі особливості формування маршрутів в умовах використання генетичного алгоритму:

1. Кінцевою станцією прибуття j в останньому гені h_{ij}^m кожного обраного маршруту має бути початкова станція відправлення i в першому гені h_{ij}^1 , що вказує на необхідність формування замкнутих кільцевих маршрутів.

2. Станція прибуття j кожного певного гена h_{ij}^k має збігатися зі станцією відправлення i наступного гена h_{ij}^{k+1} .

$$FF1(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } i \in h_{ij}^1 = j \in h_{ij}^{1+m} \text{ та } j \in h_{ij}^k = i \in h_{ij}^{k+1} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}, \quad (4)$$

$$FF2(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } \sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k \leq L_{\max}^{TO-2} \text{ та } \sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k \leq T_{\max}^{лб} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases} \quad (5)$$

Задачею моделювання є пошук оптимального маршруту із сукупності змодельованих випадковим чином і перевічених у системі обмежень згідно з формулами (4) та (5). Критерієм пошуку є мінімальні сумарні витрати від прямування змодельованого хромосоною маршруту, що складаються з суми витрат на прямування по кожній ділянці відповідно до обраних генів

3. Сумарна довжина діляниць прямування обраних генів кожного

маршруту $\sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k$ не повинна перевищувати максимальну відстань руху між двома суміжними технічними операціями ТО-2 з приміським рухомих складом – L_{\max}^{TO-2} .

4. Сумарний час прямування по i - j ділянцях обраних генів згідно із

сформованим маршрутом $\sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k$ не повинен перевищувати тривалості безперервної роботи локомотивних бригад $T_{\max}^{лб}$.

Визначені умови зведено в систему обмежень, яка закладена у фітнес функції для обмеження сукупності змодельованих маршрутів шляхом перевірки їх на виконання умов та відсіювання найменш пристосованих хромосом:

$$FF3(H) = \min \sum_{i,j=1}^n c_{ij}^k h_{ij}^k, \quad (6)$$

де c_{ij}^k - рівень витрат на прямування згідно з геном h_{ij}^k , що визначається витратами на оперативне регулювання по станції відправлення в системі рівнянь згідно з [5].

Таким чином, оцінювання пристосованості хромосом у популяції здійснюється шляхом перевірки їх на виконання трьох зазначених умов. Отже, фітнес функція має складатися з трьох частин, кожна з яких здійснює обчислення

значення виконання певної вимоги згідно з виразами (4), (5) та (6). При цьому загальне рішення, що складається з суми значень згідно з рішенням кожної умови, спрямовується на винайдення найменшої величини:

$$FF(H) = (FF1(H) + FF2(H) + FF3(H)) \Rightarrow \min \quad (7)$$

Якщо відомо або задано мінімальне значення функції пристосованості зупинка алгоритму може бути здійснена після досягнення цього значення, що буде означати винайдення оптимального рішення. Винайдення на даному етапі оптимального рішення, що відповідає найменшим витратам на прямування певного маршруту, є завершенням роботи моделі генетичного алгоритму у зв'язку з виділенням найкращої хромосоми.

Якщо ж у сукупності отриманих рішень жодне не відповідає оптимальному значенню, наступним етапом моделювання є селекція хромосом, яка являє собою вибір, згідно з розрахованими при оцінюванні пристосованості хромосомами в популяції значень фітнес функції тих хромосом, які будуть задіяні у створенні нащадків для наступної популяції. Цей вибір здійснюється відповідно принципу природного відбору, згідно з яким найбільші шанси на участь у створенні нових осіб мають хромосоми з найкращими згідно з поставленим завданням значеннями фітнес функції. В даній задачі в процесі селекції хромосом виділяються ті, що мають мінімальні значення $FF(H)$. Вони формують батьківську популяцію.

Наступним етапом до хромосом, відібраних за допомогою селекції, застосовуються генетичні оператори. В класичному генетичному алгоритмі використовують два основних генетичних оператора – оператор схрещування та оператор мутації. В процесі використання оператора схрещування хромосоми з батьківської популяції об'єднуються в пари випадковим шляхом з вірогідністю 0,5,

після чого для кожної відібраної пари випадковим чином визначається точка схрещування l_k у діапазоні $[1, k-1]$. В результаті схрещування пари батьківських хромосом хромосома нащадка складається на позиціях від 1 до l_k з генів одного з батьків, а на позиціях від l_k до $k-1$ з генів іншого. Для пари з перших двох хромосом (3) початкової популяції результат схрещення буде мати вигляд

$$\begin{aligned} H1 &= \{1,0,1,1,0,0,1,0,1,1,0,0,1,0,1,0,0,1\} \\ H2 &= \{0,0,1,0,1,1,0,1,1,1,1,0,1,0,0,0,0,0\} \end{aligned} \quad (8)$$

При використанні оператора мутації відбувається зміна значення гена в хромосомі на протилежне з певною вірогідністю. Для виконання операції схрещування та мутації запропоновано використовувати кросовер $BLX-\alpha$ з параметром $\alpha = 0,5$ [9] та нерівномірну мутацію Михалевича [10] з вірогідністю 0,05.

Хромосоми, отримані в результаті використання генетичних операторів до тимчасової батьківської популяції, включаються у склад нової початкової популяції, яка бере участь у новій ітерації генетичного алгоритму, для якої знову обчислюється оцінювання пристосованості хромосом в популяції. Такий цикл операцій повторюється, доки не буде винайдено хромосому з найкращим значенням фітнес функції.

Результатом вирішення завдання пошуку оптимального маршруту певного приміського поїзда у вузлі є винайдення хромосоми з мінімальним значенням $FF(H)$ відносно інших та зображення

оптимального рішення на прикладі графа залізничного вузла $G(R)$ у вигляді маршруту прямування приміського поїзда

між станціями обороту, що показано на рис. 4.

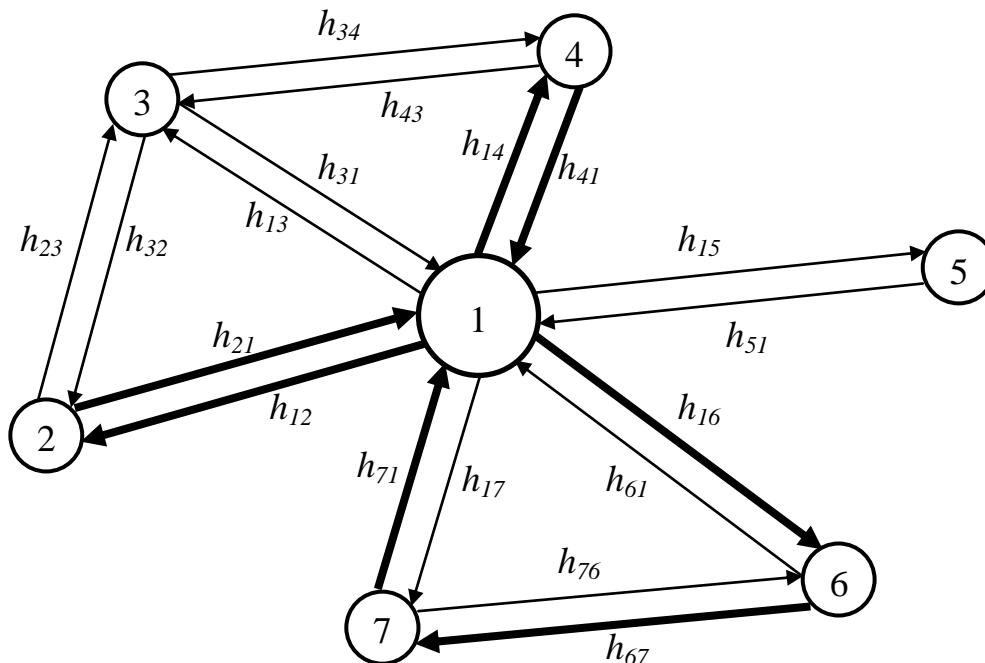


Рис. 4. Оптимальний маршрут приміського поїзда згідно з хромосомою з мінімальним значенням $FF(H)$

Отримані результати. Реалізацію вищеописаної моделі здійснено за допомогою програмного продукту MATLAB з використанням Toolbox Genetic Algorithm and Direct Search на основі прикладу вирішення задачі Traveling Salesman Problem.

Результатом вирішення завдання пошуку оптимального маршруту певного приміського поїзда у вузлі є винайдення хромосоми з мінімальним значенням відносно інших та зображення оптимального рішення на прикладі графа залізничного вузла у вигляді маршруту прямування приміського поїзда між станціями обороту, що показано на рис. 5.

Висновок. Реалізація на основі запропонованої моделі системи підтримки прийняття рішення на рівні відділу

управління приміських перевезень дозволить автоматизувати процес формування приміських маршрутів на напрямках прямування приміських поїздів та удосконалити існуючі графіки руху та обороту приміських поїздів. Використання запропонованої моделі у комплексі з моделями прогнозування приміських пасажиропотоків, оперативного регулювання складів приміських поїздів та визначення оптимальних напрямків прямування по станціях відправлення [5,6,7] на основі створення розподіленої СППР дозволить якісно покращити інформаційне забезпечення і рівень автоматизації приміських перевезень та організувати загалом роботу приміського комплексу на принципах пасажирської логістики. Це надасть можливість знизити

експлуатаційні витрати та реалізувати на даній основі перспективну технологію організації руху приміських поїздів за

модульним принципом в умовах використання нових зразків рухомого складу.

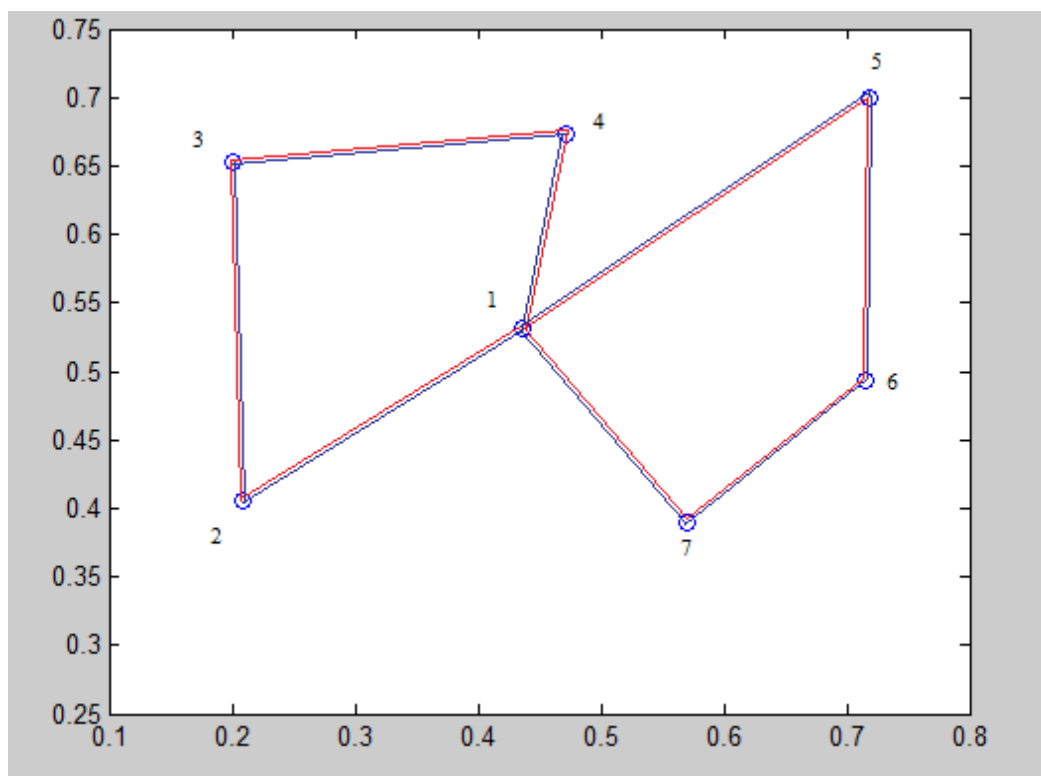


Рис. 5. Результат роботи моделі у порівнянні з існуючим найкращим маршрутом

Список літератури

1. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 груд. 2006 р. N 651-р [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uz.gov.ua/>
2. Caprara A., Kroon L., Monaci M., Peeters M., Toth P., "Passenger Railway Optimization". - DEIS, Università di Bologna, Italy; NS Reizigers, Department of Logistics The Netherlands; DEI, Università di Padova, Italy; Electrabel, Risk Asset and Liability Management, Belgium // Work supported by the Future and Emerging Technologies unit of the EC (IST priority), under contract no. FP6-021235-2 (project ARRIVAL), January 2006, p. 52.
3. Caimi G., Fuchsberger M., Laumanns M., and Schupbach K. "Periodic Railway Timetabling with Event Flexibility". - Seminar: ATMOS 2007 - 7th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modeling, Optimization, and Systems, ISBN 978-3-939897-04-0, November 2007, p.124-141.
4. Tormos, A. Lova, F. Barber, L. Ingolotti, M. Abril, and M.A. "Salido. A. Genetic Algorithm for Railway Scheduling Problems". - Chapter 8 in *etaheuristics title for Scheduling In Industrial and Manufacturing Applications* (Springer Series in Computational Intelligence), project number FP6-02135-2 ARRIVAL, January 2007, p. 22.

5. Константинов, Д.В. Удосконалення технології організації приміських перевезень / Д.В. Константинов, Т.В. Бутько // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – №102. – С. 15–23.

6. Константинов, Д.В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні / Д.В. Константинов // Зб. наук. праць / УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – №111. – С. 68–81.

7. Константинов, Д.В. Моделювання оперативного регулювання маршрутами приміського руху на основі нечіткої логіки та нейронних мереж / Д.В. Константинов, Т.В. Бутько // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(80). – С. 13–19.

8. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский: пер.с польск. И.Д.Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

9. Wright, A. "Genetic algorithms for real parameter optimization" // Foundations of Genetic Algorithms, V. 1. – 1991. – P. 205-218.

10. Michalewicz, Z. "Genetic Algorithms, Numerical Optimization and Constraints, Proceedings of the 6th International Conference on Genetic Algorithms", Pittsburgh, July 15-19, 1995. - P. 151-158.

Ключові слова: приміські поїзди, пасажирський комплекс, генетичний алгоритм, моделювання маршрутів, оптимальний маршрут.

Анотації

В роботі розглянуто питання раціоналізації організації маршрутів приміських поїздів на залізницях України. Розроблено модель, за допомогою якої можна здійснювати формування оптимальних маршрутів прямування приміських поїздів на основі використання еволюційного моделювання та генетичних алгоритмів.

В работе рассмотрен вопрос рационализации организации маршрутов пригородных поездов на железных дорогах Украины. Разработана модель, с помощью которой можно осуществлять формирование оптимальных маршрутов следования пригородных поездов на основе использования эволюционного моделирования и генетических алгоритмов.

In this paper we addressed the issue of streamlining the organization of routes commuter trains on the railways of Ukraine. We developed a model with which to carry out the formation of optimal routes for commuter trains using evolutionary modeling and genetic algorithms.