**УДК 656.223.1** **DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.164.2016.92627**

# УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ПРЯМУВАННЯ МІЖРЕГІОНАЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ

**Канд. техн. наук Д. В. Константінов, О. М. Івать**

# УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ СЛЕДОВАНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ УКРАИНЫ

**Канд. техн. наук Д. В. Константинов, О. М. Ивать**

# IMPROVEMENT OF THE FORMATION SYSTEM FOR RATIONAL ITINERARY INTERREGIONAL PASSENGER TRAINS ON THE RAILWAYS OF UKRAINE

**Cand. of techn. sciences D. V. Konstantinov, O. M. Ivat**

*У роботі розглянуто питання про раціональну організацію маршрутів прямування міжрегіональних пасажирських поїздів на залізницях України. Запропоновано удосконалення моделі системи підтримки прийняття рішень на основі використання еволюційного моделювання та генетичного алгоритму, призначеної для формування маршрутів прямування. На основі удосконаленої моделі можливе створення автоматизованої системи управління формуванням оптимальних маршрутів прямування міжрегіональних пасажирських поїздів.*

***Ключові слова:*** *міжрегіональні поїзди, пасажирські перевезення, генетичний алгоритм, моделювання маршрутів, оптимальний маршрут.*

*В работе рассмотрен вопрос про рациональную организацию маршрутов следования межрегиональных пассажирских поездов на железных дорогах Украины. Предложено усовершенствование модели системы поддержки принятия решений на основе использования эволюционного моделирования и генетического алгоритма, предназначенной*

*для формирования маршрутов следования. На основе усовершенствованной модели возможно создание автоматизированной системы управления формированием оптимальных маршрутов следования межрегиональных пассажирских поездов.*

***Ключевые слова:*** *межрегиональные поезда, пассажирские перевозки, генетический алгоритм, моделирование маршрутов, оптимальный маршрут.*

*The paper examined the rational organization of routes for movement interregional passenger trains on the railways of Ukraine. In modern conditions in rail-based high-speed inter-regional passenger traffic are unchanged for several decades the transportation process technologies that limit the ability of passenger transport flexibility to respond to fluctuations in demand consumer market of passenger transportation. Therefore, to improve inter-regional passenger transport is necessary to use organizational technologies, which are based on the concept of flexible adaptive regulation of the transportation process and long-term operational nature in accordance with the principles of passenger logistics. An improved model of decision support system based on the use of evolutionary modeling and genetic algorithm designed to create a route. This can be achieved by combining and creating a common model of high-speed inter-regional transport, whose task will be to develop inter-regional train routes from the collection of the data on adjusting work stations and the results further determine the best direction to follow. Based on the improved model of the possible creation of an automated system of formation of optimum routes inter-regional movement of passenger trains.*

***Keywords:*** *interregional trains, passenger transport, the genetic algorithm, modeling route, the optimal route.*

**Вступ.** Одним з найважливіших завдань підвищення якості роботи транспорту є удосконалення роботи підсистем планування та управління. Необхідність обробки великого обсягу інформації, потрібної для прийняття ефективних управлінських рішень на різні періоди часу, потребує використання сучасних інформаційних технологій, які можуть функціонувати в якості систем підтримки прийняття рішень (СППР) на основі сучасних науково-математичних методів.

У сучасних умовах в основі залізничних швидкісних міжрегіональних пасажирських перевезень лежать недостатньо ефективні технології перевізного процесу, які обмежують здатність пасажирського комплексу гнучко реагувати на коливання попиту споживачів ринку пасажирських перевезень. Виходячи з цього для зниження збитковості пасажирських перевезень необхідним є застосування організаційних технологій, в основу яких покладено концепції гнучкого адаптивного регулювання перевізного процесу оперативного та довгострокового характеру відповідно до принципів пасажирської логістики.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Пасажирські перевезення залізничного транспорту збиткові. Однією з причин є невідповідність темпів зростання цін на продукцію та ресурси (металопрокат, залізобетонні шпали, запасні частини для рухомого складу, дизельне пальне та електроенергія тощо) темпом підвищення тарифів на пасажирські перевезення, неефективне використання місткостей пасажирських вагонів різних типів поїздів, недостатньо ефективне планування перевезень, незручність діючих розкладів руху для багатьох пасажирів, що призводить до підвищення експлуатаційних витрат порівняно з рівнями доходів.

За дослідженнями фахівців, загальна потреба в перевезенні пасажирів залізничним транспортом (крім приміського

сполучення) становить близько 60,5 млн осіб на рік. При цьому потенційний обсяг пасажирських перевезень з урахуванням наявного парку пасажирських вагонів без його поновлення та з урахуванням списання зменшився у 2013 р. на 200 тис. людей, у 2014 р. – на 4,9 млн осіб, у 2015 р. – на 3,1 млн людей, у 2016 р. – на 2,3 млн осіб і у 2017 р. може знизитись ще на 1,2 млн осіб. Послугами пасажирського транспорту за перший квартал 2016 року скористалося на 4,6 % менше українців. За січень-березень 2016 р. послугами пасажирського транспорту скористалися 1,7 млрд пасажирів, виконана пасажирська робота в обсязі 28,6 млрд пас.км, що становить відповідно 95,4 і 99,9 % обсягів січня-березня 2015 р. [1].

За останні п’ять років українські залізниці отримали збитки від пасажирських перевезень близько 30 млрд грн. Головними причинами цього є застарілий рухомий склад, низькі швидкості руху, низькі показники населеності та пасажиропотоків на фоні високих експлуатаційних витрат, що постійно зростають. Отже, потрібно шукати нові шляхи для досягнення прибутковості швидкісних пасажирських перевезень [2].

Запропоновані раніше в роботах [4, 5, 6, 7] моделі формування адаптивної системи пасажирських перевезень у приміському сполученні можуть бути раціонально використані для удосконалення системи міжрегіональних пасажирських перевезень. Але для взаємного узгодження результатів моделювання та можливості їх практичної реалізації виникає потреба ув’язати їх роботу в єдину інтеграційну систему адаптивного управління. Це можливо здійснити шляхом створення загальної моделі організації пасажирських перевезень, завданням якої буде розроблення маршрутів міжрегіонального руху на основі збору звітних даних щодо регулювальної роботи на станціях і результатів визначення оптимальних маршрутів прямування. Результатом роботи такої системи буде створення найбільш економічно і технологічно доцільних маршрутів прямування міжрегіональних поїздів на певних мережах, що дозволить надати системі пасажирських 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 [7].

За Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р та Програмою реструктуризації галузі, одним із основних напрямків розвитку організації пасажирських перевезень є формування та подальше удосконалення гнучких технологій управління перевізним процесом, що є одним з напрямків вирішення проблеми значної збитковості та покращення ресурсозбереження [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останніх роботах, присвячених питанню формування адаптивної системи організації приміських перевезень, було сформовано моделі удосконалення організації приміських перевезень, що спрямовані на вирішення завдань оперативного регулювання складів та управління процесом просування приміських поїздів, але можуть бути використані і в міжрегіональних перевезеннях. Однак зазначені моделі розроблено здебільшого для подальшого формування на їх основі СППР, що обмежує їх використання локальним характером застосування в межах станції і створює незручність при формуванні на їх основі комплексних рішень.

У роботі [7] було запропоновано використання генетичного алгоритму для моделювання системи формування оптимальних маршрутів прямування приміських поїздів, яка дозволяє формувати комплексні замкнені маршрути з урахуванням вимог безпеки руху

технічного і технологічного характеру, що також доцільно використовувати для удосконалення міжрегіональних пасажирських перевезень. Однак представлена в роботі [7] модель є відокремленою за своєю структурою від робіт [4, 5, 6] і потребує ув'язки з ними.

Одне з важливих завдань удосконалення транспортної системи швидкісних пасажирських перевезень на залізницях України є визначення раціонального напрямку розвитку залізничної мережі високошвидкісних і швидкісних перевезень на основі аналізу світового досвіду функціонування ринку швидкісних перевезень. Представлене в роботі [8] теоретичне обґрунтування раціональної топології мережі швидкісних залізничних перевезень може бути покладено в основу формування перспективної мережі маршрутів швидкісних міжрегіональних поїздів.

Відповідно до робіт [9, 10] розвиток мереж швидкісних міжрегіональних перевезень на залізницях розвинутих країн Європи є одним з найбільш пріоритетних напрямків надання транспортних послуг у сфері пасажирських перевезень, який при якісній організації в умовах використання сучасних транспортних технологій та інфраструктури має величезний фінансовий успіх і привабливість для вибагливих потреб сучасних пасажирів.

**Визначення мети та задачі дослідження.** Метою дослідження є розроблення загальної моделі формування маршрутів пасажирських поїздів міжрегіонального руху з використанням математичних апаратів нечіткої логіки, нейронних мереж і генетичного алгоритму на основі раніше запропонованої в роботі [7]. Завданням дослідження є взаємна функціональна ув'язка структур моделей для отримання комплексної моделі, що може бути в перспективі основою СППР.

**Основна частина дослідження.** Моделювання маршрутів прямування міжрегіональних поїздів полягає в пошуку оптимальних варіантів їх курсування в межах певної мережі, моделлю якої може бути зважений граф G(v,r), де вагами ребер є гени $h_{ij}^{k}$ [7]. Завдання пошуку оптимального маршруту курсування міжрегіонального поїзда в межах певної мережі 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 міжрегіональних поїздів на певних напрямках. Тому враховуючи необхідність формування генотипу (набору оптимальних маршрутів) певної мережі в умовах моделювання на основі генетичного алгоритму, за завданням пошуку певної оптимальної комбінації маршрутів, доцільно представити в якості хромосоми деякий маршрут, що складається з певної сукупності дільниць *i-j* залізничного вузла, де кожен ген відповідно моделює дільницю прямування між певною парою станцій *i-j*. Структуру хромосоми представлено у вигляді

$$\mathrm{H}=\sum_{\mathrm{i,j=1}}^{\mathrm{v}}\mathrm{h_{ij}}\in\left\{\mathrm{h_{ij}^{1}},\mathrm{h_{ij}^{2}},\ldots\mathrm{h_{ij}^{k}},\mathrm{h_{ij}^{k+1}},\ldots\mathrm{h_{ij}^{m}}\right\}\quad h_{ij}^{k}=\begin{cases}1-\textit{можливий}\\0-\textit{неможливий},\end{cases}\qquad(1)$$

де v – кількість станцій у вузлі, що моделюється;

$h_{ij}^{k}$ – ген, що моделює певний варіантів прямування від станції відправлення *i* до станції призначення *j* і має значення 1 або 0;

$m$ – загальна кількість генів у певному маршруті;

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

Отже генотипом графа G(R) буде набір хромосом $H \in \left\{h_{ij}^1, h_{ij}^2, ... h_{ij}^k\right\}$, кожна з яких відповідно моделює один певний маршрут для міжрегіонального поїзда. При цьому гени в кожному певному маршруті розташовуються інакше, моделюючи послідовність дільниць прямування в маршруті [7].

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 з представленням їх в якості двійникової послідовності фіксованої довжини. Кожен ген у хромосомі моделює певну дільницю прямування від станції відправлення $i$ до станції призначення $j$ та може мати значення 1 або 0. Таким чином, у комбінації генів кожної хромосоми представлено певний маршрут прямування, гени якого розташовуються послідовно згідно з порядком прямування дільницями маршруту [7].

Оцінювання пристосованості хромосом у популяції або вибір найкращих варіантів здійснюється за допомогою фітнес-функції 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 завдання фітнес-функції на винайдення мінімального рішення, яке буде відповідати мінімальним витратам на прямування міжрегіонального поїзда.

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

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

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

3. Сумарна довжина дільниць 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 рухомим складом – $L_{\max}^{TO-2}$.

4. Сумарний час прямування по $i$-$j$ дільницях обраних генів за сформованим маршрутом $\sum_{i,j=1}^{n} t_{ij}^k h_{ij}^k$ не повинен перевищувати тривалості прямування до встановленого графіком руху поїздів пункту зміни локомотивних бригад $T_{\max}^{лб}$.

Визначені умови формують систему обмежень, яка має бути закладена у фітнес-функцію і потребує її структуризації. Ці умови є основою для обмеження сукупності змодельованих маршрутів шляхом перевірки на їх виконання та відсіювання тих, що їх не пройшли, тобто найменш пристосованих хромосом [4].

$$FF1(H) = \begin{cases} \min, \textit{ якщо } i \in h_{ij}^1 = j \in h_{ij}^{1+m} \textit{ та } j \in h_{ij}^k = i \in h_{ij}^{k+1} \textit{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max \textit{ в іншому випадку} \end{cases}, \quad (2)$$

$$FF2(H)=\begin{cases}\min,\ якщо\ \sum_{i,j=1}^{n} l_{ij}^{k}h_{ij}^{k}\le L_{\max}^{ТО-2}\ \ та\ \ \sum_{i,j=1}^{n} t_{ij}^{k}h_{ij}^{k}\le T_{\max}^{лб}\ \ при\ \ h_{ij}^{k}=1\\ \max\ в\ \ іншому\ випадку\end{cases}, \qquad (3)$$

Завданням моделювання є пошук оптимального маршруту з сукупності змодельованих випадковим чином і перевірених у системі обмежень згідно з формулами (2) та (3). Критерієм пошуку є мінімальні сумарні витрати від прямування по закладеному в хромосомі маршруту, що складаються з суми витрат на прямування по кожній дільниці відповідно обраних генів:

$$FF3(H)=\min\sum_{i,j=1}^{n} c_{ij}^{k}h_{ij}^{k}\ , \qquad (4)$$

де $c_{ij}^{k}$ - рівень витрат на прямування згідно з геном $h_{ij}^{k}$, що визначається витратами на оперативне регулювання по станції відправлення та витратами на шляху прямування через неповне використання населеності [6].

$$c_{ij}^{k}=\sum_{n=1}^{p} x_{ij}^{n}\left(C_{ij}^{n}+N_{ij}^{n}\right), \qquad (5)$$

де $C_{ij}^{n}$ – еквівалент витрат на підготовку певного міжрегіонального поїзда до відправлення на один з можливих напрямків, що визначається еквівалентно до фізичної кількості вагонів, які необхідно причепити або відчепити відповідно до завдання оперативного регулювання або витрат на заміну рухомого складу іншим відповідної місткості (але за наявності технічної можливості);

$N_{ij}^{n}$ – еквівалент витрат на шляху прямування через неповне використання населеності, що визначається фізичною кількістю вагонів, які залишаються порожніми.

$$N_{ij}^{n}=\left(\sum_{n=1}^{p} B_{n}^{факт}-\sum_{n=1}^{p} B_{n}^{факт}\cdot H_{ij}^{n}\right)/100\ \%\ , \qquad (6)$$

де $\sum_{n=1}^{p} B_{n}^{факт}$ – кількість вагонів у міжрегіональному поїзді по відправленні зі станції *i* на *n*-й напрямок;

$H_{ij}^{n}$ – населеність міжрегіонального поїзда по відправленні;

$x_{ij}^{n}$ – параметр, що визначає рівень доцільності відправлення міжрегіонального поїзда на *n*-й напрямок за результатом роботи моделі [6],

$$x_{ij}^{n}=100-X\ , \qquad (7)$$

де $X$ – відповідає задачі визначення рівня доцільності відправлення міжрегіонального поїзда на *n*-й напрямок [6],

$$X=\left(C_{ij}^{n},H_{ij}^{n}\right)\rightarrow D\in\left\{d_1,d_2,...,d_k\right\}, \qquad (8)$$

де $d_1$ – доцільність призначення 99,9 %;

$d_2$ – доцільність призначення 87,5 %;

$d_3$ – доцільність призначення 75 %;

$d_4$ – доцільність призначення 62,5 %;

$d_5$ – доцільність призначення 50 %;

$d_6$ – доцільність призначення 37,5 %;

$d_7$ – доцільність призначення 25 %;

$d_8$ – доцільність призначення 12,5 %;

$d_9$ – доцільність призначення 0,1 %.

Визначення значення параметра *X* здійснюється за результатом роботи нейро-нечіткої моделі, структура якої представлена в роботі [6].

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 за формулами (2), (3) та (4). При цьому загальний розв'язок, що складається з суми значень згідно з розв'язком кожної умови спрямовується на винайдення найменшої величини:

$$FF(H) = \left(FF1(H) + FF2(H) + FF3(H)\right) \Rightarrow \min \ . \qquad (9)$$

Якщо відомо або задано мінімальне значення функції пристосованості, зупинка алгоритму може бути здійснена після досягнення цього значення, що буде означати винайдення оптимального розв'язку. Винайдення на даному етапі оптимального розв'язку, 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 розв'язків жоден не відповідає оптимальному значенню, наступним етапом моделювання є селекція хромосом, яка являє собою вибір за розрахованими при оцінюванні пристосованості хромосом у популяції значень фітнес-функції тих хромосом, які будуть задіяні у створенні нащадків для наступної популяції. Цей вибір здійснюється за принципом природного відбору, за яким найбільші шанси на участь у створенні нових осіб мають хромосоми з найкращими щодо поставленого завдання значеннями фітнес-функції. У 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. У класичному генетичному алгоритмі використовують два основних генетичних оператори – оператор схрещування та оператор мутації. У процесі використання оператора схрещування хромосоми з батьківської популяції об'єднуються в пари випадково з вірогідністю 0,5, після чого для кожної відібраної пари випадково визначається точка схрещування $l_k$ в діапазоні [1, *k*-1]. У 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.

При використанні оператора мутації відбувається зміна значення гена в хромосомі на протилежне з певною вірогідністю. Хромосоми, отримані в результаті використання генетичних операторів до тимчасової батьківської популяції, включаються до складу нової початкової популяції, яка бере участь у новій ітерації генетичного алгоритму, для якої знову обчислюється оцінювання пристосованості хромосом у популяції. Представлений цикл операцій повторюється доки не буде винайдено

хромосому з найкращим значенням фітнес-функції. Результатом вирішення завдання пошуку оптимального маршруту певного міжрегіонального поїзда у вузлі є винайдення хромосоми з мінімальним значенням FF(H) відносно інших.

**Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.** Реалізація на основі запропонованої моделі системи підтримки прийняття рішень на рівні відділу управління пасажирських перевезень дозволить автоматизувати процес формування маршрутів на напрямках прямування міжрегіональних поїздів та удосконалити існуючі графіки руху та обороту. Використання запропонованої моделі в комплексі з моделями прогнозування пасажиропотоків, оперативного регулювання составів і визначення оптимальних напрямків прямування по станціях відправлення [4, 5, 6] на основі створення розподіленої СППР дозволить якісно покращити інформаційне забезпечення і рівень автоматизації пасажирських перевезень. В умовах використання нових зразків швидкісного рухомого складу це надасть можливість знизити експлуатаційні витрати та реалізувати на даній основі перспективну систему організації руху на основі принципів пасажирської логістики.

### *Список використаних джерел*

1. Обсяг пасажирських перевезень в Україні снизився [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zatramvaj.org.ua/anonsu/Obem-passazhirskih-perevozok-v-Ukraine-snizilsya.

2. Копитко, В. І. Маркетинго-логістичний підхід в організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.vuzlib.org/.

3. Концепція Державної програми реформування залізничного транспорту від 27 грудня 2006 р. № 651-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/.

4. Константінов, Д. В. Удосконалення технології організації приміських перевезень [Текст] / Т.В. Бутько, Д.В. Константінов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 15–23.

5. Константінов, Д. В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні [Текст] / Д.В. Константінов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 111. – С. 68–81.

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

7. Константінов, Д. В. Удосконалення організації маршрутів прямування приміських пасажирських поїздів на залізницях України [Текст] / Д. В. Константінов, Д. О. Бурлакова // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 149–157.

8. Бутько, Т. В. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації [Текст] / Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ": зб. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2011. – № 54. – С. 67-70.

9. Fröidh, O. Competition on the tracks – Passengers’ response to deregulation of interregional rail services [Text] / Oscar Fröidh, Camilla Byström // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – October 2013. – Volume 56. – Pages 1–10.

10. Fröidh, O. The impact of market opening on the supply of interregional train services [Text] / Oscar Fröidh, Bo-Lennart Nelldal // Journal of Transport Geography. – June 2015. – Volume 46. – Pages 189–200.

Константінов Денис Володимирович, канд. техн. наук, кафедра управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-88.
E-mail: kdv1984@ukr.net.
Івать Ольга Миронівна, студентка групи МЗ-ТЕМПУС-ОПУТ-Б-15 Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: 0976777033. E-mail: lolichka2904@gmail.com.

Konstantinov Denis Volodimirovich cand. of techn. sciences, Department of operational work Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: (057)730-10-88. E-mail: kdv1984@ukr.net.
Ivat Olga Mironivna student of group MZ-TEMPUS-OPUT-B-15 Ukrainian State University of Railway Transport. Tel.: 0976777033. E-mail: lolichka2904@gmail.com.

Стаття прийнята 26.09.2016 р.