

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

ПАРХОМЕНКО ЛАРИСА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 656.027:338.27

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ
ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА МЕРЕЖІ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі управління експлуатаційної роботи Української державної академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Бутько Тетяна Василівна,
Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра управління експлуатаційною роботою, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Жуковицький Ігор Володимирович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра електронно-обчислювальних машин, завідувач кафедри.

кандидат технічних наук, доцент

Мацюк Вячеслав Іванович
Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра управління процесами перевезень, доцент кафедри.

Захист відбудеться “16” квітня 2015 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий „12” березня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток Проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України потребує проведення наукових досліджень щодо вибору стратегії розвитку залізничної системи пасажирських перевезень. В умовах здійснення структурних змін в залізничній транспортній мережі країни постають питання щодо пошуку збалансованого існування маршрутів слідування поїздопотоків швидкісного і звичайного руху з урахуванням розвитку топології залізничної мережі.

Проведений аналіз кількості відправлених пасажирів на залізничному транспорті України за період 2009–2013 рр., свідчить, про сталу тенденцію падіння інтенсивності пасажиропотоку із середньою величиною у 1,09 % на протязі 2011 – 2013 років. На фоні незначного падіння кількості перевезених пасажирів загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним транспортом. Аналіз досвіду залізниць світу показує, що найбільш значне підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту можливе при впровадженні швидкісного або високошвидкісного руху пасажирських поїздів.

Аналіз реалізації останніх проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України довів ряд недоліків: рішення щодо розвитку залізничної мережі приймаються розрізнено, не взаємопов'язано між собою та без комплексної оцінки їх впливу в довгостроковому періоді функціонування мережі; не існує теоретично обґрунтованих техніко-економічних розрахунків щодо ефективності впровадження різних варіантів розвитку мережі залізничних пасажирських перевезень. Вище наведені недоліки доводять необхідність проведення наукових досліджень щодо формування системи стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з можливістю проведення прогнозування попиту на перевезення в довгостроковому періоді планування та визначення раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень у взаємодії із звичайним пасажирськими поїздами.

Механізмом удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень є формалізація процедури раціонального розподілу швидкісних поїздів в довгостроковому періоді з подальшою інтеграцією до інформаційно-керуючої системи на основі формування системи підтримки прийняття рішень (СППР) для стратегічного планування швидкісних пасажирських перевезень на залізничному транспорті України.

Зважаючи на вище викладене, тема дисертаційної роботи є актуальною і зорієнтованою на вирішення важливих питань удосконалення системи залізничних швидкісних пасажирських перевезень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р), Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. N 1390), Концепції Державної цільової програми

впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005-2015 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2004 р. № 979-р), а також до науково-дослідних робіт: “Розробка вимог щодо визначення нормативної чисельності персоналу з організації перевезень та поточного утримання інфраструктури залізничних напрямків” (ДР № 0112U005263); “Розробка класифікації залізничних напрямків на категорії інфраструктури за техніко-експлуатаційними характеристиками” (ДР № 0112U005264); “Розробка автоматизованої технології оперативного регулювання складового утворення пасажирських поїздів” (ДР № 0114U006549).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень на основі формалізації процедури розподілу поїздопотоків шляхом визначення раціональної топології залізничної мережі для курсування швидкісних і високошвидкісних поїздів, що дозволяє теоретично обґрунтувати ефективність реалізації діючих та перспективних проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення наступних задач дослідження:

- провести аналіз моделей розвитку швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях світу;
- провести аналіз пасажиропотоків в умовах звичайної та прискореної швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України;
- розробити модель прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення;
- формалізувати процес пошуку раціонального розподілу поїздопотоків на пасажирській мережі швидкісних перевезень з урахуванням існування і розвитку залізничної мережі звичайних пасажирських сполучень.
- удосконалити інформаційно-керуючу систему з реалізацією системи підтримки прийняття рішень для планування розподілу напрямків курсування швидкісних пасажирських поїздів на залізничній мережі;
- обґрунтувати економічну доцільність запропонованого підходу до удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень.

Об’єкт дослідження – процес організації пасажирських перевезень швидкісними і високошвидкісними поїздами на залізничній мережі.

Предмет дослідження – система залізничних пасажирських перевезень.

Методи дослідження. Виконані дослідження базуються на процедурі аналізу ринку швидкісних перевезень пасажирів, теорії імовірностей та математичної статистики. Використані методи нечіткої алгебри, генетичних алгоритмів для формування математичної моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення; методи статистичної фізики, теорії графів, метод Дейкстри та мультиагентний метод оптимізації на основі моделювання переміщення бактерій для формування та рішення ентропійної математичної моделі пошуку раціональної топології залізничної мережі для курсування швидкісних і

звичайних пасажирських поїздів; методи дослідження інформаційних потоків при формуванні інформаційно-керуючої системи з реалізацією СППР для стратегічного планування.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі надано теоретичне обґрунтування процесу визначення раціональної топології залізничної мережі високошвидкісних та швидкісних перевезень, що дозволяє теоретично обґрунтувати ефективність реалізації діючих та перспективних проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України.

Вперше:

– для розрахунку кореспонденцій потоків в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій пасажирів на основі нечітких реляційних обчислень, яка на відмінність від існуючих, дозволяє врахувати населеність міст, тривалість подорожі, транспортну доступність, вплив агломераційного ефекту в структурі кореспонденцій, що підвищить точність прогнозування, та в подальшому надасть можливість проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті;

– для формалізації процесу розподілу швидкісних поїздів на мережі запропонована ентропійна модель, що заснована на мультиагентних методах оптимізації, яка на відмінність від існуючих, дозволяє одночасно визначити топологію мережі залізничних пасажирських сполучень та встановити найбільш ймовірний розподіл на сформованій мережі поїздопотоків швидкісного або високошвидкісного і звичайного руху, який може скластися в реальній транспортній системі при обліку закономірностей колективної поведінки пасажирів;

удосконалено:

– склад функціональних задач інформаційно-керуючої системи пасажирського комплексу, які є основою для формування системи підтримки прийняття рішень щодо планування напрямків слідування швидкісних пасажирських поїздів на залізничній мережі в межах локальної комп'ютерної мережі, яка інтегрована до системи АСК ПП УЗ.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений комплекс моделей для реалізації процедури визначення раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень з урахуванням існування звичайних пасажирських сполучень дозволяє визначити найбільш перспективні варіанти розподілу пасажирських поїздів на мережі за умови мінімізації капітальних витрат на модернізацію мережі та підвищення економічної ефективності курсування швидкісних поїздів за рахунок пристосування розвитку топології мережі до попиту на перевезення в довгостроковій перспективі.

Для практичної реалізації запропонованого підходу до удосконалення системи залізничних швидкісних пасажирських перевезень в дисертаційній роботі сформовано вимоги до системи стратегічного управління пасажирськими

перевезеннями на залізницях України. Програмна реалізація Автоматизованої системи Стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з реалізацією системи підтримки прийняття рішень (СППР) для стратегічного планування швидкісних пасажирських перевезень на залізничному транспорті на основі створення локальної комп'ютерної мережі з розробкою комплексу додаткових задач на АРМ інженерного персоналу, що інтегрована до системи АСК ПП УЗ.

Впровадження зазначених результатів надало можливість визначити найбільш перспективні варіанти розвитку топології залізничної мережі швидкісних перевезень України, що дозволило на першому етапі впровадження Програми швидкісного руху пасажирських поїздів підвищити обсяги перевезень в денних швидкісних поїздах на 10%.

Основні наукові результати щодо удосконалення процедури визначення раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень з урахуванням існування залізничної мережі звичайних пасажирських сполучень впроваджено у ДП «Українська залізнична швидкісна компанія», а також у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при вивченні дисципліни «Пасажирські перевезення», у дипломному проектуванні, проведенні учбово-дослідних робіт студентів та при підготовці магістрів. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до роботи.

Особистий внесок здобувача. Усі результати роботи отримані особисто автором. У публікаціях 3 статей у співавторстві автору належать:

- в статті [1] автором розроблено математичну модель еволюційного розвитку залізничної системи пасажирських перевезень на основі формування фізичної гравітаційної моделі розподілу потоків пасажирів між основними центрами їх зародження-погашення;

- в статті [3] запропоновано для формалізації процесу пошуку раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень математичну модель «ентропійного» типу;

- в статті [4] запропоновано використати засіб реалізації процедур евристичного моделювання на базі генетичного алгоритму.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на:

- III міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті», (Тель-Авів, 26 лютого-4 березня 2012 р.);

- міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту (м. Дніпропетровськ, 17-18 листопада 2012 р.);

- XXXVI науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства (м. Харків, 24-26 квітня 2012 р.);

- восьмій науково-практичній міжнародній конференції "Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України" (м. Харків, 5-8 червня 2012 р.);

- конференція SWorld. SCIENTIFIC RESEARCHES AND THEIR PRACTICAL APPLICATION. MODERN STATE AND WAYS OF DEVELOPMENT '2013 (м. Іваново, 1-12 жовтня 2013 р.);

- 27-ма міжнародна науково-практична конференція Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (м. Харків, 24-26 вересня 2014 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри управління експлуатаційної роботи Українській державній академії залізничного транспорту.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 12 наукових праць, з яких 6 статей (три без співавторів), що опубліковані у фахових наукових виданнях затверджених МОН України (одна статті включена до міжнародних наукометричних баз), 6 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг тексту дисертації 162 сторінки, обсяг основного тексту складає 118 сторінок друкованого тексту, 47 ілюстрацій (з них одна на повну сторінку), 6 таблиць, список використаних джерел включає 154 найменувань і 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі, виходячи із мети дисертаційної роботи, проведено порівняльний аналіз моделей розвитку швидкісного та високошвидкісного руху на залізницях світу, зокрема встановлено переваги та недоліки підвищення швидкості руху пасажирських поїздів, досліджено структуру і топологію високошвидкісних залізничних мереж.

Аналіз перевезень пасажирів різними видами транспорту по рокам свідчить про загострення конкуренції між залізничним і автомобільним транспортом. Одним із напрямків збільшення обсягів перевезень та підвищення конкурентоспроможності залізничних пасажирських перевезень є впровадження Проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів. Крім того, експлуатація швидкісних та високошвидкісних залізниць супроводжується значним соціально-економічним ефектом, що досягається підвищенням мобільності населення, і як наслідок зростанням ділової активності населення та зростанням ВВП країни. Дані результати також підтверджуються проведенням в дисертаційній роботі порівняльним аналізом ефективності курсування звичайних пасажирських поїздів і швидкісних поїздів (Hyundai та Skoda) в

умовах України. Цей аналіз довів, що після підвищення швидкості руху рентабельність поїздів підвищилась та складає в середньому 79 %.

Існуючі підходи до визначення топології мережі швидкісних поїздів на залізницях України ґрунтуються практично на експертних оцінках, не існує комплексного підходу до процедури розподілу швидкісних поїздів на залізничній мережі, зокрема не враховується взаємопов'язаний рух звичайних та швидкісних поїздів.

Раціональне формування топології залізничної мережі високошвидкісних та швидкісних пасажирських перевезень, а також її удосконалення засновано на синтезі досліджень в області теорії транспортних потоків, географії транспорту, проблем проектування мереж, теорії економіки транспорту. В світі даними дослідженнями займалися такі вчені та практики: L. Euler, F. Lehner, C. Pirath, E. Taaffe, R. Morrill, P. Gould J. Korte, J. Ortuzar, F. Knight, A. Piugou, G. Potthoff, J. Wardrop, S. Dafermos, Nakicenovic, Marchetti, Grübler, W. Garrison та R. Souleyrette, P. Krugman, D. Helbing, M. Newman та інші.

Окремі завдання для транспортних систем України або їй подібних, а саме: розробка плану формування пасажирських поїздів та пошуку раціональної топології транспортних мереж, прогнозування опиту на перевезення, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі, вирішували такі вчені та фахівці: В.М. Акулінічев, І.М. Аксьонов, Ю.С. Бараш, А.А. Босов, Т.В. Буцько, В.І. Бобровський, М.В. Гненний, О.М. Гненний, П.Ф. Горбачов, П.С. Грунтов, Ю.А. Давидич, М.І. Данько, В.Т. Доля, І.В. Жуковицький, Ф.П. Кочнев, Ю.Ф. Кулаєв, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, Ю.О. Пазойський, Г.Н. Плахов, Н.В. Правдін, В.В. Скалозуб, Є.А. Сотніков, В.М. Самсонкін, О.І. Стасюк, Б.І. Торопов, В.Г. Шубко, С.П. Шумський, П.О. Яновський та інші.

Виявлено, що не в повній мірі було сформовано наукові підходи до автоматизації процесу розподілу швидкісних та звичайних поїздопотоків. На підставі вище наведеного виникає актуальним вирішення науково-прикладного завдання щодо формалізації процедури розподілу швидкісних та звичайних поїздів на мережі з урахуванням попиту на перевезення. Це потребує розробки специфічних методів прогнозування пасажиропотоків відповідно до поставленого завдання.

У другому розділі для рішення задачі достовірного визначення кореспонденцій між транспортними районами в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення сформовано математичну модель прогнозування кореспонденцій пасажирів на основі реляційних обчислень.

Аналіз існуючих методів щодо визначення кореспонденцій пасажирів показав, що розрахунки ґрунтуються на інформації про фактичні кореспонденції між районами зародження-погашення потоків. Крім того, не в повній мірі враховується неповнота та невизначеність даних про такі кореспонденції, що впливає на точність та адекватність моделі. В аналітичних записах моделей майже завжди використовуються параметри, що задані для конкретного

дослідження на основі суб'єктивних суджень. Це в свою чергу ускладнює застосування таких моделей для залізничного транспорту.

Виходячи з цього, в дисертаційній роботі запропоновано застосувати підхід до формування моделі прогнозування на основі просторової взаємодії, що відноситься до класу “гравітаційних” моделей. В межах даного підходу запропоновано представити залежність прогнозованої кількості пасажирів між містами ρ_{ij} від наступних факторів: населеність міст, що обмежують залізничну лінію, тривалість подорожі, транспортна доступність, вплив агломераційного ефекту в структурі кореспонденцій. Відповідно до визначених факторів в неявному вигляді математична модель прогнозування кореспонденцій пасажиропотоків в умовах впровадження швидкісних поїздів має вид

$$\rho_{ij} = f(M_i, M_j, I_{ij}^{nod}, I_{ij}^{md}, I_{ij}^{gid}). \quad (1)$$

де M_i, M_j – загальна кількість населення міст відповідно відправлення пасажирів та прибуття, осіб; I_{ij}^{nod} – індекс тривалості подорожі; I_{ij}^{md} – індекс транспортної доступності; I_{ij}^{gid} – індекс відвідуваності міста прибуття.

Враховуючи неможливість отримання точних значень вище наведених параметрів моделі прогнозування та слабо структурованість процесу в роботі залежність (1) запропоновано описати за допомогою нечітких реляційних рівнянь виду (англ., Fuzzy Relational Equation, FRE)

$$R \circ S = T, \quad (2)$$

де $R_{m \times p}$ – матриця нечітких входів; $S_{p \times n}$ – матриця нечітких відношень; $T_{m \times n}$ – матриця нечітких виходів на дискретних чітких множинах X, Y, Z кінцевих потужностей m, p, n відповідно, правило композиції \circ , засновано на максимінному критерії.

Входи моделі представлено як лінгвістичні змінні (ЛЗ). Перші два параметри моделі можна уявити як ЛЗ $\Lambda_1 = \{\text{населеність міста } M_i\}$ та $\Lambda_2 = \{\text{населеність міста } M_j\}$, значення яких визначаються на єдиній шкалі з трьох термів $T_{1,2} \forall \{\text{“мала”}-t_1, \text{“середня”}-t_2, \text{“велика”}-t_3\}$. Для формалізації термів запропоновано використати функції належності (ФН), що формуються із застосуванням кусочно-лінійної апроксимації. Наступні параметри можна записати лінгвістичними змінними $\Lambda_3 = \{\text{індекс тривалості подорожі}\}$, $\Lambda_4 = \{\text{індекс транспортної доступності}\}$ та $\Lambda_5 = \{\text{індекс відвідуваності міста прибуття}\}$ із наступними терм множинами $T_{3,4,5} \forall \{\text{“низький”}-t_1, \text{“середній”}-t_2, \text{“високий”}-t_3\}$ та відповідними функціями належності. Згідно до запропонованого підходу реальні значення вхідних параметрів моделі

фазифікуються за трьома нечіткими значеннями належності до кожного з термів у вигляді вектору-строки розміром $R_{m=1 \times p=15}$.

Вихідні дані моделі запропоновано формалізувати також у вигляді ЛЗ $\Omega = \{\text{обсяги кореспонденції пасажирів із міста } i \text{ до міста } j\}$ з терм-множиною $T_{\Omega} \forall \{\text{“низькі”}-t_1, \text{ “середні”}-t_2, \text{ “високі”}-t_3\}$ з трикутними функціями належності. За таких умов вихідний вектор нечіткого реляційного рівняння має вид $T_{m=1 \times n=3}$.

Для визначення залежності між вхідними параметрами та виходом моделі необхідно знайти матрицю нечітких відношень $S_{p=15 \times n=3}$. Отже, в рівнянні (2) є невідомим S . Знайдене нечітке відношення $S_{p \times n}$ дозволяє вирішуючи пряму задачу рішення рівняння (2), щодо знаходження прогностичних кореспонденцій між містами. Спрощену схему реалізації моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів наведено на рис. 1.

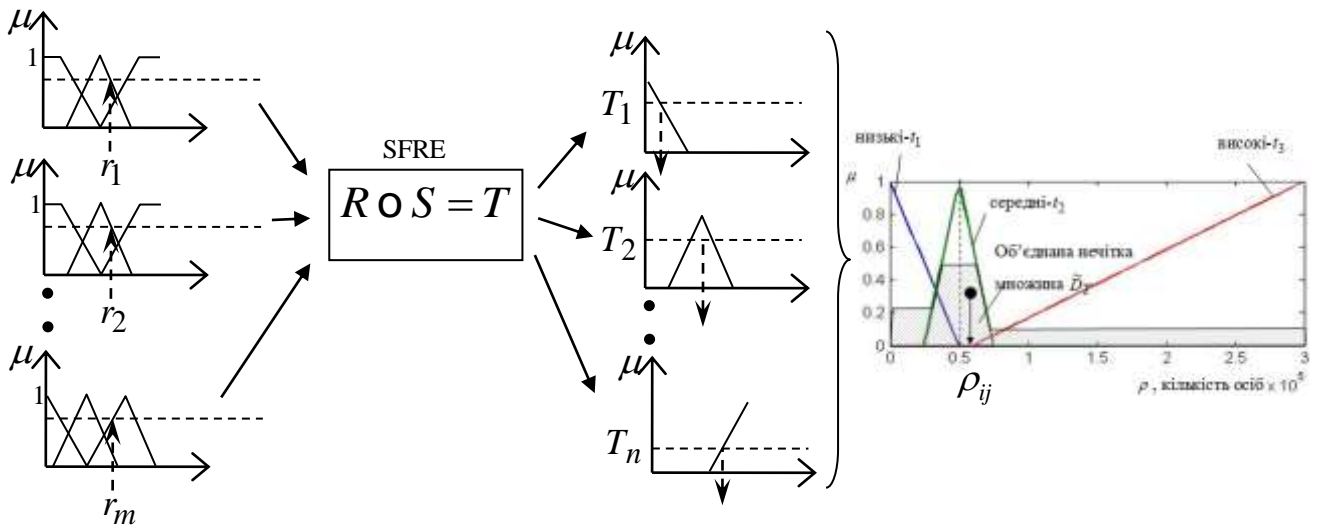


Рисунок 1 – Схема моделі прогнозування кореспонденцій на основі системи нечітких реляційних рівнянь

Прогностичні обсяги кореспонденцій пасажиропотоків ρ_{ij} запропоновано знаходити на основі операції дефазифікації нечіткої множини, що відповідає вектору T на основі методу центру тяжіння.

Приймаючи до уваги недосконалість аналітичних методів рішення лівого нечіткого реляційного рівняння (2), в дисертаційній роботі запропоновано застосувати наближений метод рішення нечіткого реляційного рівняння на основі процедури настроювання моделі прогнозування за допомогою генетичного алгоритму. Рішення задачі запропоновано представити у вигляді хромосоми Ch_j , яка складається з двох частин

$$Ch_j = (C^1, C^2), \tag{3}$$

де $C^1 = (s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,3}, s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, \dots, s_{i,j}, \dots, s_{p,n})$ – частина хромосоми, що відповідає значенням відношення $S_{p \times n}$ в рівнянні (2), $s_{i,j} \in [0,1]$; $C^2 = (c_{t_1}, a_{t_2}, b_{t_2}, c_{t_2}, a_{t_3})$ – частина хромосоми, що відповідає параметрам ФН; a_{t_2}, a_{t_3} – перший параметр трикутної функції належності відповідно термів t_2 та t_3 ; b_{t_2} – другий параметр ФН терма t_2 ; c_{t_1}, c_{t_2} – третій параметр ФН відповідно термів t_1 та t_2 . На кожен з даних параметрів ФН накладено обмеження, що забезпечують лінійну впорядкованість елементів терм-множин ЛЗ Ω .

При навчанні моделі запропоновано застосувати так званий метод на основі навчальної вибірки, яка пов'язує вхід з виходом залежності, що досліджується. Навчання моделі полягає у знаходженні мінімуму середньої відносної похибки розбіжності між результатами прогнозування та фактичними даними із навчальної вибірки. Запропонована процедура еволюційного моделювання дозволила знайти достатньо оптимальне рішення, при якому відносна похибка моделі прогнозування на тестовій вибірці становить не більше 10 %.

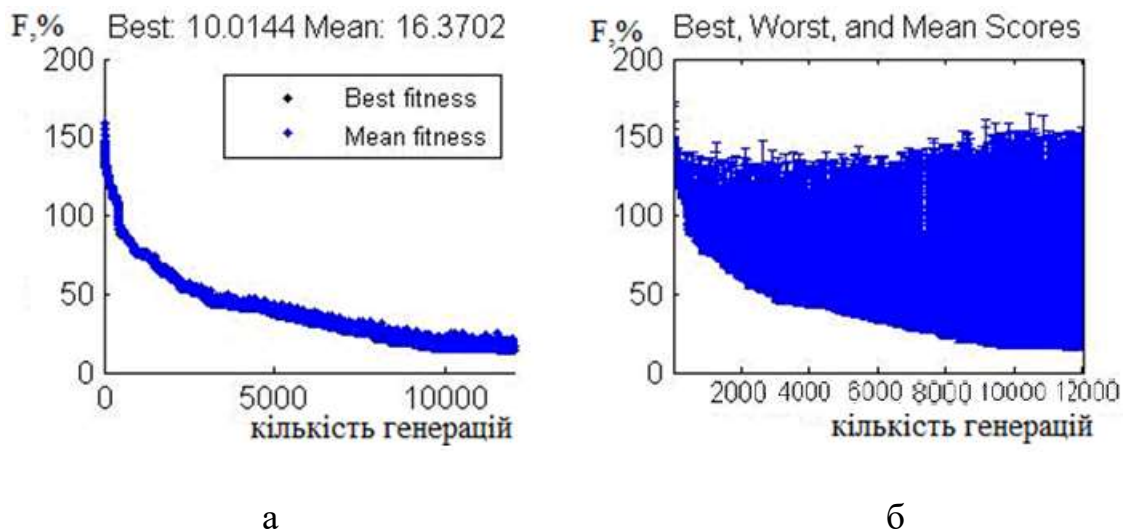


Рисунок 2 – Графіки залежності значень цільової функції F : а – найкращих значень функції F ; б – найменших, найбільших, і середніх значень функції F для кожного покоління від кількості генерацій алгоритму

У третьому розділі сформовано ентропійну модель пошуку раціонального розподілу пасажирських поїздопотоків з урахуванням формування топології залізничної мережі швидкісного і звичайного руху, що заснована на мультиагентних методах оптимізації та відтворює особливість функціонування залізничної системи пасажирських перевезень з позиції розвитку транспортної системи в залежності від попиту на перевезення.

В дисертаційній роботі відповідно до існування ізоморфізму в системах для дослідження процесу самоорганізації розподілу поїздопотоків запропоновано використати концепцію ентропії, що дозволить дослідити та реалізувати зв'язок між мікро- та макрорівнем в системі пасажирських

перевезень. Спираючись на другий закон термодинаміки, систему пасажирських перевезень на залізничному транспорті представлено замкнутою фізичною системою, що прагне до досягнення стійкого рівноважного стану, при якому невизначеність, яка вимірюється величиною ентропії, є максимальною. Максимізація ентропії системи дозволяє знайти такий стан системи, що характеризується просторовим розподілом на мережі пасажиропотоків, і як наслідок, поїздопотоків швидкісного і звичайного руху, який близький по ймовірності до того, що може скластися в реальній залізничній транспортній системі при обліку закономірностей колективної поведінки.

Для формалізації просторової структури системи залізничних пасажирських перевезень в роботі використано неорієнтовний граф $G(P, E)$, де P – множина вершин, що відповідає технічним станціям, між якими можлива організація курсування пасажирських поїздів $(i, j) \in P$, де $i = \overline{1, p}, j = \overline{1, p}$; E – множина ребер e_{ij} , що відповідає залізничним лініям між пасажирськими станціями, $e_{ij} \in E$. Можливі призначення пасажирських поїздів характеризуються інтенсивністю поїздопотоків різних типів x_{ij}^k , $k = \overline{1, K}$, $x_{ij}^k \geq 0$, зокрема $k = 1$ – високошвидкісний пасажирський поїзд (HSR) та $k = 2$ – звичайний пасажирський поїзд. Для генерування топології сполучень різних типів запропоновано використати матрицю інциденцій з елементами виду

$$\xi_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо на призначенні } ij \text{ існує потік типу } k; \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Якщо $\sum_k \xi_{ij}^k = 2$, то призначенню ij відповідає інфраструктура для змішаного руху пасажирських поїздів. Якщо $\sum_k \xi_{ij}^k = 1$ при $\xi_{ij}^{k=1} = 1, \xi_{ij}^{k=2} = 0$, то призначенню ij відповідає виділена спеціалізована високошвидкісна лінія, тоді як при $\xi_{ij}^{k=1} = 0, \xi_{ij}^{k=2} = 1$ – лінія для звичайного руху пасажирських поїздів. Якщо $\sum_k \xi_{ij}^k = 0$ – пасажирського руху на призначенні не існує. Кожному з варіантів інфраструктури відповідають встановлені питомі витрати на одного пасажиря, що оцінюють час знаходження пасажирів в поїздах типу k , комфортність проїзду, капітальні вкладення та експлуатаційні витрати, $C_{ij}^{k, \sum \xi_{ij}^k}$, грн.

Для формалізації процесу одночасного пошуку топології мережі залізничних пасажирських сполучень та визначення найбільш ймовірного розподілу на сформованій мережі поїздопотоків швидкісного і звичайного руху

запропоновано прийняти критерій у вигляді ентропії системи, що адаптований до умов пасажирських перевезень на залізничному транспорті з урахуванням переваг пасажирів. Математична модель пошуку раціонального розподілу пасажирських поїздопотоків має вид

$$H(x_{ij}^k, \xi_{ij}^k) = \sum_i^N \sum_j^M \sum_k^K a_{ij}^k x_{ij}^k \ln \left(\frac{P_{ij}^k}{a_{ij}^k x_{ij}^k} \right) \rightarrow \max, \quad (4)$$

з обмеженнями на розподіл пасажиропотоків

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K \xi_{ij}^k a_{ij}^k x_{ij}^k = A_i^{si\partial np}, \quad \forall j = 1, M, \quad \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \xi_{ij}^k a_{ij}^k x_{ij}^k = A_j^{npu\partial b}, \quad \forall i = 1, N, \quad (5)$$

$$\sum_k f_{st,i}^k = A_i^{si\partial np}, \quad \sum_k f_{st,j}^k = A_j^{npu\partial b}$$

та обмеження на пропускну спроможність залізничних дільниць

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \xi_{ij}^k x_{ij}^k \leq N_{ij}^{\max k}, \quad \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^K \xi_{ij}^k x_{ij}^k \leq N_{ji}^{\max k}, \quad (6)$$

де $P_{ij}^{k, \sum \xi_{ij}^k}$ – ймовірність того, що в мережі між містами, що з'єднуються призначенням ij буде курсувати поїзд типу k . Величина $P_{ij}^{k, \sum \xi_{ij}^k}$ залежить від витрат $C_{ij}^{k, \sum \xi_{ij}^k}$ і представлена у вигляді функції розподілу ймовірності, яка монотонно спадає з ростом цих витрат та визначається на основі статистичних досліджень; a_{ij}^k – місткість поїзда типу k призначення ij ; M – множина станцій прибуття; N – множина станцій відправлення; $N_{ij}^{\max k}, N_{ji}^{\max k}$ – максимальна кількість пасажирських поїздів типу k , що можуть бути пропущеними через дільницю відповідно в парному і непарному напрямках (випадок двоколіїної дільниці), поїзди; f_{st}^k – прогнози обсяги пасажиропотоків f_{st}^k для кожного пункту відправлення пасажирів s та їх призначення t , що хочуть подорожувати в пасажирських поїздах k -го типу.

Для рішення нелінійної оптимізаційної моделі математичного програмування (4-6), в роботі запропоновано використати метод оптимізації на основі моделювання переміщення бактерій (англ., Bacterial Foraging Optimization, BFO). В процесі використання методу переміщення бактерій модифіковано процедуру, що дозволяє врахувати особливості багатоетапної задачі розподілу поїздопотоків на залізничній мережі, зокрема: визначення

топології мережі; розподіл пасажиропотоків та розподіл поїздопотоків на мережі. Для цього кожному позицію бактерії (агента) у просторі пошуку запропоновано представити у вигляді набору параметрів моделі з урахуванням обмежень на їх діапазони і зведенням їх в один числовий вектор X^h , що складається з трьох частин

$$X^h = (C^1, C^2, C^3), h = \overline{1, S}, \quad (3.11)$$

де h – номер бактерії в популяції S , $h = \overline{1, S}$; S – кількість агентів. Перша частина $C^1 = (\underbrace{c_1, c_2, \dots, c_q}_{k=1}, \underbrace{c_1, c_2, \dots, c_q}_{k=2})$ моделює параметри мережі $c_q = \xi_{ij}^k$ для

кожної категорії поїздів, $c_q = \{1; 0\}$, q – загальна кількість ребер e_{ij} . Друга частина $C^2 = (\underbrace{b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_{u-1}, b_u}_{w=1}, \underbrace{b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_{u-1}, b_u}_{w=2}, \dots, \underbrace{b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_{u-1}, b_u}_{w=W})$ реалізує коефіцієнти, які дозволяють

визначити розподіл часток величини пасажиропотоку f_{st}^k між двома знайденими найкоротшими маршрутами, $b_u = [0; 1]$; W – загальна кількість заданих пасажиропотоків f_{st}^k , $w \in W$. Після декодування величини пасажиропотоків на основі нормалізації коефіцієнтів заповнюється матриця, яка визначає величину потоків на кожному ребру e_{ij} графу G . Третя частина

$C^3 = (\underbrace{x_1, x_2, \dots, x_q}_{k=1}, \underbrace{x_1, x_2, \dots, x_q}_{k=2})$ реалізує параметри інтенсивності поїздопотоків x_{ij}^k

на кожному призначенні $q = \{ij\}$, де $x_q^k = [0; N_{\max}^k]$, N_{\max}^k – максимально можливе значення кількості пасажирських поїздів типу k на залізничній лінії q .

В межах роботи методу оптимізації BFO реалізовано рішення поставленої задачі в декілька етапів. Так на першому етапі після визначення позиції бактерій, тобто встановлення числового вектору X^h , декодується перша частина C^1 даного вектору, параметри якого дозволяють змодельовати тип інфраструктури, та оцінити яка вартість пас-км v^k відповідає k -тому типу поїзда, що буде слідувати через дану дільницю. На другому етапі здійснюється реалізація пошуку маршрутів слідування пасажирів для задоволення прогнозних потреб пасажирів на перевезення від пункту відправлення до пункту призначення на знайдений топології мережі. Для рішення даної задачі запропоновано застосувати широко відомий алгоритм Йена із використанням алгоритма Дейкстри. Критерієм вибору найкоротшого маршруту є мінімізація загальної вартості пасажиро-кілометрів з урахуванням типу інфраструктури на кожній із дільниць, що входять в маршрут. Після розрахунку маршрутів слідування поїздопотоків проводиться співставлення дуг графу, що входять у знайдені маршрути поїздів з відповідними значеннями інтенсивності поїздопотоків x_{ij}^k на

кожній дільниці ij , що змодельовані в частині C^3 вектору X^h . Таким чином реалізується розподіл поїздопотоків на мережі з урахуванням існування різної інфраструктури в мережі, і як наслідок, різної вартості слідкування потоків.

Приклад роботи розробленої моделі на основі процедури BFO реалізований в середовищі Scilab. На рисунку 3 наведено результати розрахунку раціональної топології мережі швидкісних залізничних пасажирських перевезень для довільно визначених 18 вершин графу $G(P, E)$ (жирними лініями виділені спеціалізовані високошвидкісні магістралі, тонкими лініями – звичайні пасажирські сполучення).

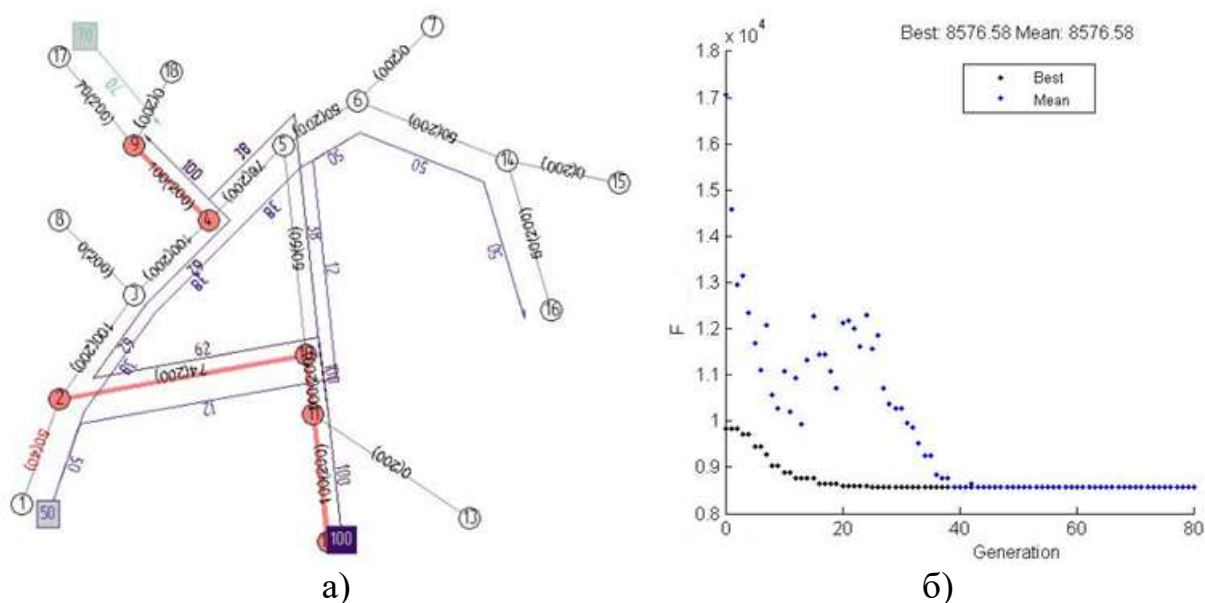


Рисунок 3 – Результати розрахунку раціональної топології мережі швидкісних залізничних пасажирських перевезень для довільно визначених 18 вершин графу: а) топологія мережі; б) графік зміни цільової функції від кількості ітерацій методу оптимізації BFO

У четвертому розділі вирішена задача удосконалення структури управління залізничним пасажирськими перевезеннями на основі створення системи стратегічного управління, що дозволить підвищити ефективність процесу розробки та впровадження рішень щодо розвитку топології залізничної мережі швидкісних перевезень. Для інформаційної підтримки організаційної структури управління запропоновано створити Автоматизовану систему Стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з реалізацією системи підтримки прийняття рішень (СППР), в межах якої функціонує комплекс розроблених в дисертаційній роботі математичних моделей для стратегічного планування швидкісних пасажирських перевезень на залізничному транспорті. Сформувані дану СППР запропоновано на основі створення локальної комп'ютерної мережі з розробкою комплексу додаткових задач на АРМ інженерного персоналу, що інтегрована до системи АСК ПП УЗ.

Економічне обґрунтування запропонованого підходу до удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень доводить, що за рахунок підвищення точності прогнозування пасажиропотоків та раціонального визначення топології мережі швидкісних залізничних перевезень на основі запропонованого комплексу моделей є можливим знайти більш прийнятний варіант проекту підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України. Приріст економічного ефекту з наростаючим підсумком від впровадження проекту підвищення швидкості руху поїздів на залізницях України з варіантом топології мережі, яку було визначено з використанням моделювання в порівнянні з діючою топологією мережі швидкісних перевезень станом на 2013 рік складає 2,197 млрд. грн. в розрахунку на 25 років за умови приведення витрат і результатів різних років до останнього року. Окупність проекту настає на 10 рік експлуатації мережі, тоді як початок окупності діючого варіанту мережі припадає на 11 рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень на основі формалізації процедури визначення раціональної топології залізничної мережі з урахуванням розподілу поїздопотоків швидкісного або високошвидкісного і звичайного руху, що дозволяє теоретично обґрунтувати ефективність реалізації діючих та перспективних проектів підвищення швидкості руху пасажирських поїздів на залізницях України.

1. На основі аналізу існуючих моделей розвитку мереж швидкісних і високошвидкісних магістралей (ВШМ) та враховуючи географічне розташування центрів концентрації населення (міст України) і діючу топологію звичайних залізниць, зроблено висновок, що еволюція формування мережі ВШМ повинна відбуватися в напрямку формування остова (граф типу екстремального дерева зі структурою зірка або лінійною, або незв'язний граф – типу ліс), з подальшим утворенням поліцентричної структури (циклічний зв'язаний граф). Це дозволить на першому етапі оптимізувати капітальні витрати на формування мережі ВШМ та частково задовольнити попит населення в якісному перевезенні. На другому етапі формування мережі ВШМ можливим буде повністю задовольнити попит населення в перевезенні на основі утворення розгалуженої мережі прямих сполучень між містами. Важливою умовою комерційного успіху системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень є визначення раціональної топології залізничної мережі швидкісних перевезень у взаємодії із звичайними пасажирськими поїздами.

2. Проведений аналіз кількості відправлених пасажирів на залізничному транспорті України за період 2009–2013 рр., свідчить про сталу тенденцію падіння інтенсивності пасажиропотоку із середньою величиною у 1,09 % на протязі 2011 – 2013 років. На фоні незначного падіння кількості перевезених пасажирів загострюється конкуренція між залізничним і автомобільним

транспорт. Аналіз динаміки кількості перевезених пасажирів у швидкісних пасажирських поїздах, що належать ДП «Українська залізнична швидкісна компанія», по місяцях за період 2012-2013 рр. свідчить, що обсяги перевезень мають значно меншу нерівномірність у порівнянні з перевезеннями пасажирів у поїздах звичайної швидкості. При використанні швидкісних поїздів на дільницях пасажиропотоки більш стаціонарні, вплив сезонного фактору майже не простежується. Величина коефіцієнту варіації коливається в межах від 0,10 до 0,27 в залежності від напрямків перевезень. Більш значимими є зміни динаміки інтенсивності пасажиропотоків на протязі тижня, що обумовлено впливом ефекту вихідного дня. Величина коефіцієнту варіації коливається в межах від 0,19 до 0,62 в залежності від напрямків перевезень. Доцільність розвитку швидкісного руху на мережі залізниць України підтверджується порівняльним аналізом ефективності курсування звичайних пасажирських поїздів і швидкісних поїздів Hyundai та Skoda (до 160 км/год), який доводить, що після підвищення швидкості руху рентабельність поїздів підвищилась та складає в середньому 79 %.

3. Для розрахунку кореспонденцій потоків пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення запропоновано математичну модель прогнозування кореспонденцій пасажирів на основі нечітких реляційних обчислень, яка на відмінність від існуючих, дозволяє врахувати населеність міст, тривалість подорожі, транспортну доступність, вплив агломераційного ефекту в структурі кореспонденцій, що підвищує точність прогнозування, та в подальшому надасть можливість проводити більш точні розрахунки щодо економічної доцільності реалізації інноваційних проектів підвищення швидкості руху на залізничному транспорті. Похибка моделі прогнозування складає до 10 %. Адекватність сформованої моделі перевірено критерієм Фішера.

4. Для формалізації процесу розподілу швидкісних поїздів на мережі запропонована ентропійна модель, що заснована на мультиагентних методах оптимізації, яка на відмінність від існуючих, дозволяє одночасно визначити топологію мережі залізничних пасажирських сполучень та встановити найбільш ймовірний розподіл на сформованій мережі поїздопотоків швидкісного або високошвидкісного і звичайного руху, який може скластися в реальній транспортній системі при обліку закономірностей колективної поведінки пасажирів.

5. Для інформаційної підтримки організаційної структури управління запропоновано створити Автоматизовану систему Стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з реалізацією системи підтримки прийняття рішень (СППР) для стратегічного планування швидкісних пасажирських перевезень на залізничному транспорті. Сформувану дану СППР запропоновано на основі створення локальної комп'ютерної мережі з розробкою комплексу додаткових задач на АРМ інженерного персоналу, що інтегрована до системи АСК ПП УЗ.

7. Економічне обґрунтування запропонованого підходу до удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень доводить, що приріст економічного ефекту з наростаючим підсумком від впровадження проекту підвищення швидкості руху поїздів на залізницях України з варіантом топології мережі, яка була визначена з використанням моделювання в порівнянні з діючою топологією мережі швидкісних перевезень станом на 2013 рік складає 2,197 млрд. грн. в розрахунку на 25 років за умови приведення витрат і результатів різних років до останнього року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

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

2. Пархоменко, Л.О. Розроблення моделі прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення на основі нечітких реляційних обчислень [Текст] / Л.О. Пархоменко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 131. – С. 109-115.

3. Прохорченко, А.В. Розроблення раціональної топології мережі швидкісних залізничних пасажирських перевезень на основі методів колективного інтелекту [Текст] / А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко, А.І. Дудчак, Є.О. Сільченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 133. – С. 39-45.

4. Пархоменко, Л.О. Розробка математичної моделі визначення раціональних варіантів ув'язки оберту составів приписки різних залізниць в загальний обіг [Текст] / Л.О. Пархоменко, В.С. Дюкарев // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 139. – С. 176-181.

5. Пархоменко, Л.О. Дослідження напрямків розвитку швидкісного і високошвидкісного пасажирського руху поїздів на залізницях України [Текст] / Л.О. Пархоменко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 44-50.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Пархоменко, Л.О. Процедура формування моделі прогнозування пасажиропотоків на залізничних лініях [Текст] / Л.О. Пархоменко // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2013. – Том.5. – Вип. 4(65). – С. 7-10.

Праці апробаційного характеру:

7. Бутько, Т.В. Перспективи використання інтелектуальних технологій на залізничному транспорті [Текст]/ Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, С.І. Музикіна,

Л.А. Пархоменко // Програма III міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті», (Тель-Авів, 26 лютого-4 березня 2012 р.) - С.3.

8. Бутько, Т.В. Формування моделі розвитку транспортної системи швидкісних залізничних пасажирських перевезень на основі інтелектуальних технологій [Текст]/ Т.В. Бутько, А.В. Прохорченко, Л.О. Пархоменко //Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», (Дніпропетровськ, 17-18 листопада 2012 р.) – Д.: ДНУЖТ, 2012. – С. 16-17.

9. Бутько, Т.В. Удосконалення підходів щодо розрахунку кореспонденцій потоків пасажирів в умовах впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів [Текст]/ Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Тезиси XXXVI науково-технічної конференції преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства, (г. Харьков 24-26 апреля 2012 г.). Програма і тези доповідей. Ч.2. – С. 64-65.

10. Бутько, Т.В. Дослідження розвитку залізничної системи швидкісних пасажирських перевезень на основі моделювання переміщення бактерій з групуванням за рахунок зв'язків між клітинами [Текст]/ Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Тези доповідей за матеріалами восьмої науково-практичної міжнародної конференції "Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України" (м. Харків 5 - 8 червня 2012 р.), Вісник економіки транспорту і промисловості, 2012. – № 38. – С. 68.

11. Бутько, Т.В. Процедура еволюційного настроювання моделі прогнозування кореспонденцій на основі нечітких реляційних обчислень [Текст]/ Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Збірник наукових праць SWorld. SCIENTIFIC RESEARCHES AND THEIR PRACTICAL APPLICATION. MODERN STATE AND WAYS OF DEVELOPMENT '2013, - 1-12 жовтня 2013, м. Іваново. - тези доп. – Вип. 3. Том 2. – С. 94-97.

12. Бутько, Т.В. Удосконалення підходів щодо розвитку швидкісного руху пасажирських поїздів на залізницях України [Текст]/ Т.В. Бутько, Л.О. Пархоменко // Науково-технічний журнал Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 27 міжнародна науково-практична конференція Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 24-26 вересня 2014, м. Харків. – тези доп. – №4 (додаток). – С. 14.

АНОТАЦІЯ

Пархоменко Л.О. Удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень на основі раціонального розподілу швидкісних поїздів на мережі. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2015 р.

Дисертація присвячена питанням удосконалення залізничної системи пасажирських перевезень на основі формалізації процедури розподілу пасажиропотоків шляхом визначення раціональної топології залізничної мережі з урахуванням розподілу поїздопотоків швидкісного або високошвидкісного і звичайного руху.

З цією метою в роботі розроблено автоматизовану систему стратегічного управління пасажирськими перевезеннями з реалізацією системи підтримки прийняття рішень (СППР) для стратегічного планування швидкісних пасажирських перевезень на залізничному транспорті. Основою СППР є розроблений комплекс математичних моделей, зокрема: модель прогнозування кореспонденцій пасажирів в умовах впровадження залізничного швидкісного пасажирського сполучення на основі реляційних обчислень та математична модель пошуку раціонального розподілу пасажирських поїздопотоків з урахуванням формування топології залізничної мережі швидкісного і звичайного руху, що заснована на мультиагентних методах оптимізації та відтворює особливість функціонування залізничної системи пасажирських перевезень з позиції розвитку транспортної системи в залежності від попиту на перевезення.

Ключові слова: залізничний транспорт, пасажирські перевезення, швидкісні поїзди, прогнозування попиту, топологія мережі, мультиагентні методи оптимізації.

АННОТАЦІЯ

Пархоменко Л.А. Совершенствование железнодорожной системы пассажирских перевозок на основе рационального распределения скоростных поездов на сети. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 - транспортные системы; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2015 г.

Диссертация посвящена вопросам усовершенствования железнодорожной системы пассажирских перевозок на основе формализации процедуры распределения пассажиропотоков путем определения рациональной топологии железнодорожной сети с учетом распределения поездопотоков скоростного или высокоскоростного и обычного движения.

В работе проведен сравнительный анализ моделей развития скоростного и высокоскоростного движения на железных дорогах мира, в частности установлено преимущества и недостатки повышения скорости движения пассажирских поездов, исследована структура и топология высокоскоростных железнодорожных сетей. Установлена важность внедрения проектов повышения скорости движения пассажирских поездов. Это позволяет в разы увеличить объемы перевозок и повысить конкурентоспособность железнодорожного пассажирского транспорта.

Существующие подходы к определению топологии сети скоростных поездов на железных дорогах Украины основываются практически на экспертных оценках, не существует комплексного подхода к процедуре распределения скоростных поездов на железнодорожной сети, в частности не учитывается взаимосвязанное движение обычных и скоростных поездов. Выявлено, что не в полной мере были сформированы научные подходы к автоматизации процедуры распределения скоростных и обычных поездопотоков. Учитывая вышеизложенное, в работе предложено решение научно-прикладной задачи по формализации процедуры распределения скоростных и обычных поездов на сети с учетом спроса на перевозки.

Для решения задачи достоверного определения корреспонденций между транспортными районами в условиях внедрения железнодорожного скоростного пассажирского сообщения сформирована математическая модель прогнозирования корреспонденций пассажиров на основе реляционных вычислений. Предложено применить подход к формированию модели прогнозирования на основе пространственного взаимодействия, который относится к классу "гравитационных" моделей. В рамках данного подхода предложено представить зависимость прогнозного количества пассажиров между городами от следующих факторов: населенность городов, ограничивающих железнодорожную линию, продолжительность путешествия, транспортная доступность, влияние агломерационного эффекта в структуре корреспонденций. Учитывая невозможность получения точных значений вышеприведенных факторов в модели прогнозирования и слабую структурированность процесса, в работе предложено описать зависимость между факторами с помощью нечетких реляционных уравнений. Использован подход к настройке разработанной модели прогнозирования на основе генетического алгоритма, что позволяет приближенным способом найти решение нечеткого реляционного уравнения, который упрощает использование модели в различных условиях формирования спроса на перевозки. Точность математической модели прогнозирования не превышает 10%, адекватность проверена с использованием критерия Фишера.

Для поиска рационального распределения пассажирских поездопотоков с учетом формирования топологии железнодорожной сети скоростного и обычного движения разработана "энтропийная" математическая модель. Критерием решения задачи является максимизация энтропии системы, что позволяет найти такое состояние системы, которое характеризуется наиболее вероятным пространственным распределением на сети пассажиропотоков, и как следствие, поездопотоков скоростного и обычного движения. Для решения модели использован мультиагентный метод оптимизации на основе моделирования перемещения бактерий.

Для усовершенствования структуры управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте разработана автоматизированная система стратегического управления пассажирскими перевозками с реализацией системы поддержки принятия решений (СППР) для стратегического

планирования скоростных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте, основой которой является комплекс выше описанных математических моделей.

Экономическое обоснование предложенного подхода к совершенствованию железнодорожной системы пассажирских перевозок показывает, что за счет повышения точности прогнозирования пассажиропотоков и рационального определения топологии сети скоростных железнодорожных перевозок на основе предложенного комплекса моделей возможно найти более приемлемый вариант проекта повышения скорости движения пассажирских поездов на железных дорогах Украины.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, пассажирские перевозки, скоростные поезда, прогнозирование спроса, топология сети, мультиагентные методы оптимизации.

SUMMARY

Parkhomenko L.O. Railway passenger transportation system improvement on the basis of rational distribution of high-speed trains in the network. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, having specialized in 05.22.01 – transport systems; Ukrainian State Academy of Railway Transport; Kharkiv, 2015.

The thesis is dedicated to improving railway passenger transportation system based on formalization of the distribution procedures of passenger traffic flow by determining rational railway network topology, taking into account the distribution of high-speed and regular train flow.

For that purpose, in our work, we developed an automated system for passenger traffic strategic management with decision support system (DSS) for the strategic planning of high-speed railway passenger transportation system. DSS is based on the developed mathematical model complex, including passenger correspondence forecasting model under integrating high-speed railway passenger connection based on relational calculations and mathematical model for searching rational distribution of passenger train flow, taking into account the formation of high-speed and regular railway topology, which is based on multi-agent optimization methods and which reconstructs specific functioning feature of the railway passenger transportation system from the standpoint of the transport system, depending on the demand for transportation.

Keywords: railway transport, railway passenger transportation system, high-speed trains, demand forecasting, network topology, multi-agent optimization methods.

ПАРХОМЕНКО ЛАРИСА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 656.027:338.27

**УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ СИСТЕМИ ПАСАЖИРСЬКИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ
ШВИДКІСНИХ ПОЇЗДІВ НА МЕРЕЖІ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Константинов Д.В.

Підписано до друку "25" лютого 2015 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. – рук. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення №67. Тираж 150 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.