

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Українська державна академія залізничного транспорту

**ХОДАКІВСЬКА ЄВГЕНІЯ ВОЛОДИМИРІВНА**

УДК 656.072.001.76

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА  
ОСНОВІ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ОБОРОТУ ПАСАЖИРСЬКИХ  
СОСТАВІВ**

05.22.01 – транспортні системи

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор

**Бутько Тетяна Василівна,**

Українська державна академія залізничного транспорту  
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,  
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 В'ячеслав Іванович,**

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

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 р. о \_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.04 Української державної 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 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Як відомо, наша держава є хартлендом Євразії. Через неї проходить просторова вісь цього материка. Геостратегія України в ХХІ ст. – це реалізація заманливих перспектив завоювання ринків сусідніх країн, організація політичної й економічної взаємодії з цими країнами. Однією із складових цієї взаємодії є сфера надання транспортних послуг.

За результатами аналізу, збитки за перевезення пасажирів у дальньому сполученні за перше півріччя 2011 р. на Укрзалізниці (УЗ) становлять близько 3,8 млрд. грн. Моніторинг показників процесу пасажирських перевезень за 2006 – 2011 рр. показав, що на фоні суттєвого зносу пасажирського рухомого складу і достатньо повільних темпів його поновлення, середня населеність пасажирських поїздів складає близько 60%. Простий локомотивів і пасажирських вагонів за досліджуваний період в пунктах обороту досягає 14 годин. Дана ситуація вимагає вирішення науково – прикладного завдання щодо раціонального використання робочого парку пасажирських вагонів. Таке використання робочого парку пасажирських вагонів можливо організувати шляхом розробки, обґрунтування доцільності та впровадження гнучкої технології організації раціональних схем обороту пасажирських составів.

Зважаючи на вище викладене, тема дисертації є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010 – 2019 роки, Концепції Державної цільової програми впровадження на залізницях швидкісного руху пасажирських поїздів на 2005 – 2015 роки, а також з науково-дослідницькими роботами: «Розробка технології автоматизації корегування ПФП в умовах нерівномірного виникнення потужних струменів вагонопотоків» (держ. реєстр. №0110U002133, 2010 р.); «Дослідження вагонопотоків та розробка вимог до складання технологічного процесу роботи залізничного напрямку» (держ. реєстр. №0211U005392, 2011 р.); «Розробка вимог щодо визначення нормативної чисельності персоналу з організації перевезень та поточного утримання інфраструктури залізничного напрямку» (держ. реєстр. №0112U005263, 2012 р.).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті на основі гнучкої технології вибору схем обороту пасажирських составів.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення наступних задач дослідження:

- провести аналіз теоретичних розробок та практичного досвіду з організації схем обороту пасажирських составів;
- провести експериментальне дослідження та прогнозування пасажиропотоків як основи удосконалення схем обороту пасажирських составів;
- формалізувати процес вибору раціональних схем обороту пасажирських составів;

- формалізувати гнучку технологію управління транспортною системою в частині організації схем обороту пасажирських составів;

- удосконалити структуру та комплекс задач інформаційно-керуючої системи (ІКС) з організації пасажирських перевезень і обґрунтувати техніко - економічну доцільність впровадження гнучкої технології організації схем обороту пасажирських составів.

*Об'єкт дослідження* – процес пасажирських перевезень у залізничній транспортній системі.

*Предмет дослідження* – формування схем обороту пасажирських составів.

**Методи дослідження.** У роботі використані методи математичної статистики та теорії ймовірностей для моніторингу виконання показників процесу пасажирських перевезень. Розробка комплексу математичних моделей щодо прогнозування пасажиропотоків, вибору раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів та формалізації гнучкої технології формування раціональних схем обороту пасажирських составів базується на використанні методів теорії графів, генетичного моделювання, інтелектуального мультиагентного методу оптимізації на основі системи мурашиних колоній, теорії нечітких множин, системному підході, тощо.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі надано теоретичне обґрунтування процесу вибору і призначенню раціональних кільцевих маршрутів прямування пасажирських поїздів, що забезпечує мінімізацію експлуатаційних витрат та задовольняє вимогам пасажирів.

*Вперше:*

- сформовано динамічну оптимізаційну математичну модель на основі методу самоорганізації мурашиних колоній, яка дозволяє для задач великих розмірностей, зокрема для всієї мережі УЗ, вибрати раціональні кільцеві маршрути прямування пасажирських поїздів. Такий підхід забезпечує швидкість і достовірність визначення найкращих кільцевих маршрутів прямування та покладений в основу автоматизованої технології організації пасажирського руху;

- формалізовано гнучку технологію формування раціональних схем обороту пасажирських составів на основі еволюційного моделювання, що дозволяє вибрати зручний час відправлення та прибуття поїзда, забезпечує максимальну населеність пасажирських поїздів та надає можливість сформулювати графік обороту составів, і як наслідок – розробити адаптивний графік руху поїздів;

- запропоновано модель розрахунку плану формування пасажирських поїздів (ПФПП) для організації пасажирських перевезень в дальньому та місцевому сполученнях. Такі підходи надають системі пасажирських перевезень гнучкість процедури формування ПФПП та враховують специфіку організації пасажирських перевезень в дальньому та місцевому сполученнях на основі самоорганізації та адаптації до зміни розмірів пасажиропотоків.

*Доопрацьовано:*

- процес прогнозування пасажиропотоків за рахунок використання еволюційного моделювання, що дозволяє одержувати прогнози пасажиропотоків по напрямках курсування пасажирських поїздів з похибкою не більше 4 - 6%;
- структуру та комплекс задач ІКС з організації пасажирських перевезень в частині формування схем обороту пасажирських составів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблений комплекс моделей є основою для формування автоматизованої технології вибору раціональних схем обороту пасажирських составів. Це забезпечує можливість вивільнення до 12% робочого парку пасажирських вагонів.

Запропонований комплекс моделей реалізовано у вигляді автоматизованої системи розподілу пасажирського рухомого складу (АСРПРС). Дана система інтегрована до автоматизованого робочого місця (АРМ) інженера Головного пасажирського управління (ЦЛ) і пасажирської служби залізниці (Л). Ці АРМи є складовою частиною автоматизованої системи керування пасажирськими перевезеннями на УЗ (АСК ПП УЗ).

Сформована гнучка технологія надає можливість розрахунку ПФПП та розробки раціональних схем обороту пасажирських составів на мережі залізниць з можливістю визначення ковзної ув'язки в графіку руху поїздів (ГРП) составів по обороту для реалізації їх «кільцювання».

Запропоновану гнучку технологію організації раціональних схем обороту пасажирських составів впроваджено на Донецькій, Південній, Придніпровській та Одеській залізницях, а також у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при проведенні учбово – дослідних робіт студентів і в дипломному проектуванні. Впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами, які наведено в додатку роботи та патентом на корисну модель.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати роботи отримані особисто автором та проводились в Українській державній академії залізничного транспорту. У статтях, що опубліковані у співавторстві автору належить:

- в статті [1] постановка задачі дослідження та інтерпретація отриманих результатів побудови раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів на основі системи мурашиних колоній;
- в статті [2] моделювання за допомогою стаціонарної моделі нечітких часових рядів у програмному середовищі з наступною інтерпретацією ретроспективного оцінювання роботи даної моделі прогнозування на основі ex-post прогнозу кількості перевезених пасажирів;
- в статті [3] розробка обмежень та умов до адаптивної технології організації схем обороту пасажирських составів на основі процедур еволюційного моделювання;
- в статті [7] аналіз закордонного досвіду впровадження логістичних принципів управління в практику пасажирських перевезень;
- в статті [8] розробка схеми автоматизованої системи розподілу пасажирського рухомого складу;

- в патенті [9] розробка процедури ув'язки прогнозування пасажиропотоків з розподілом пасажирських составів в АРМі інженера з організації пасажирської роботи служби пасажирських перевезень.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідались, обговорювалися і були схвалені на: міжнародній науково – практичній конференції «Перспективні комп'ютерні управляючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» 2009 р. (м. Алушта); міжнародній науково – практичній конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень», 2010 р. (м. Одеса); 5-й, 6-й та 7-й міжнародних науково практичних конференціях «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи в Україні», 2009 – 2011 рр. (сmt. Коктебель, АР Крим).

Дисертаційна робота повністю доповідалась на наукових семінарах: кафедри управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту та кафедри транспортні системи Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковано 14 наукових робіт, у тому числі 8 наукових статей (три з них без співавторів), п'ять тез доповідей у виданнях, що затверджені Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як фахові і патент на корисну модель «Автоматизована система розподілу пасажирського рухомого складу» №66653 від 10. 01. 2012 р.

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

Повний обсяг дисертаційної роботи складає 209 сторінок, з яких обсяг основного тексту 121 сторінка. Робота містить: 38 рисунків, 5 таблиць, список використаних джерел із 130 найменувань і 3 додатки на 56 сторінках. 18 рисунків та 1 таблиця займають повну площу обсягом 11 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практичне значення, подано загальну характеристику роботи.

**У першому розділі,** виходячи із мети дисертаційної роботи, проведено аналіз теоретичних розробок та практичного досвіду з організації схем обороту пасажирських составів: основних завдань системи організації залізничних пасажирських перевезень, вітчизняного та закордонного досвіду з організації схем обороту пасажирських составів, процесу інформатизації залізничних пасажирських перевезень.

Аналіз основних завдань системи організації залізничних пасажирських перевезень довів, що на сьогодні, одним із основних завдань пасажирської залізничної транспортної системи, є ефективне формування схем обороту пасажирських составів.

Значний науково-практичний внесок у вивчення питань щодо вибору схем обороту составів пасажирських поїздів, організації пасажиропотоків, розрахунку плану формування поїздів дальнього сполучення, організації інформаційного забезпечення перевізного процесу, вивчення попиту пасажирів, математичного моделювання й прогнозування пасажиропотоків за допомогою ЕОМ з використанням даних статистичної звітності про перевезення, натурному обстеженню поїздів на напрямках зробили: В. А. Аверкін, М. А. Аветикян, В. М. Акулінічев, Б. Ф. Андрєєв, О. О. Бакаєв, Н. А. Батурина, В. Л. Білозеров, М. Н. Беленький, К. А. Бернгард, І. В. Берестов, А. В. Бикадоров, А. А. Босов, В. І. Бобровський, Т. В. Бутько, В. А. Буянов, Т. А. Веретенкова, Т. А. Воркут, Д. М. Глазков, Н. А. Грідасов, П. С. Грунтов, М. І. Данько, П. А. Дармоян, А. Т. Дерibas, В. К. Доля, Ю. В. Дьяков, С. С. Жабров, І. В. Жуковицький, О. О. Журба, Г. І. Загарій, М. І. Загордан, С. В. Земблінов, М. М. Іваницький, М. Д. Іловайський, Т. Н. Каликіна, А. Н. Кисельов, П. П. Кобзєв, В. С. Колпаков, Д. В. Константінов, Ф. П. Кочнев, В. І. Крячко, В. А. Кудрявцев, Ю. Ф. Кулаєв, В. М. Кулешов, Н. Г. Кучевський, Л. М. Лобойко, Д. В. Ломотько, В. И. Лукашев, Е. А. Макарова, Б. Е. Марчук, В. І. Мацюк, В. К. Мироненко, Є. В. Нагорний, В. Я. Негрей, Г. І. Нечасєв, Ю. О. Пазойський, О. Н. Панова, Г. І. Переста, В. А. Персианов, А. П. Петров, Дж. Пітерсон, В. В. Повороженко, Ю. В. Попов, М. В. Правдін, А. В. Прохорченко, Г. Потгофф, В. В. Скалозуб, В. И. Солдаткін, Є. А. Сотніков, Є. М. Тишкін, Б. І. Торопов, В. А. Федоров, В. Ф. Чеклов, А. Д. Чернюгов, Є. М. Шафіт, О. П. Шипулін, А. Д. Шишков, В. Г. Шубко, С. П. Шумський, П. О. Яновський та ряд інших авторів.

На основі проведеного аналізу визначено, що одним із недоліків запропонованих рішень є те, що вибір оптимального варіанту руху пасажирського составу виконується на основі практичного досвіду оперативних працівників пасажирської служби залізниці, тому необхідно формалізувати процес вибору схем обороту пасажирських составів.

На основі аналізу процесу інформатизації залізничних пасажирських перевезень виявлено, що для підвищення обсягів перевезень та зменшення транспортних витрат, недостатньо уваги приділено в АСК ПП УЗ автоматизованій технології формування обороту пасажирських составів.

**В другому розділі**, виходячи з поставлених задач, проведено дослідження існуючої технології побудови раціональних схем обороту пасажирських составів та прогнозування пасажиропотоків як основи удосконалення схем обороту пасажирських составів.

За результатами дослідження існуючої технології побудови раціональних схем обороту пасажирських составів встановлено ряд особливостей. По-перше, при організації пасажирського руху відомі дві схеми обороту пасажирських поїздів: маятникова та кільцева. Традиційно, оборот пасажирських составів здійснюють за маятковою схемою. По-друге, існуюча технологія не передбачає врахування ув'язки обороту составів, яка б мінімізувала потребу в пасажирських вагонах. З метою скорочення потрібного парку пасажирських вагонів і необхідної кількості составів доцільно розглянути можливість

організації кільцевого руху пасажирських поїздів. Для вирішення поставленого завдання необхідно провести перспективне прогнозування пасажиропотоку на основі використання динамічно – статичного ряду.

На основі проведеного аналізу статистичних даних щодо структури та параметрів пасажиропотоку в період з 2005 по 2010 роки виявлено, що на фоні переважно зростаючого тренду спостерігається вплив сезонного фактору. Цей фактор особливо відчувається під час літніх (рівень середньої населеності поїздів приблизно 87%) та зимових перевезень (рівень середньої населеності поїздів приблизно 60%) в прямому та зворотному напрямках. При дослідженні фактору сезонності (помісячної динаміки середньої населеності поїздів) виявлено вплив факторів вихідного дня, передсвяткових та святкових днів. На основі оброблених статистичних даних та з урахуванням виявлених факторів було побудовано модель перспективного прогнозування пасажиропотоків.

Для вирішення задачі щодо прогнозування пасажиропотоків як основи удосконалення схем обороту пасажирських составів було запропоновано ввести поняття нечіткого часового ряду (англ., fuzzy time series). Дане поняття було покладено в основу розробленої моделі нечітких часових рядів з властивостями еволюційної самоорганізації для прогнозування пасажиропотоків. Відповідно до прийнятої методики прогнозування необхідним є дотримання умови стаціонарності часового ряду, що досліджується. В роботі запропоновано трансформувати нестационарний ряд в стаціонарний шляхом переходу від вихідного ряду до його різниць відповідного порядку на основі застосування оператора різниць

$$\nabla^d = y(t_p) - y(t_{p-d}), \quad (1)$$

де  $y(t_p)$  – значення ряду в момент часу  $p = \overline{1, M}$ ;  $d$  – порядок різниць.

Для визначення оптимального порядку  $d \in \{0, 1, 2\}$  різницевого оператора  $\nabla^d$  як критерій було використано мінімум дисперсії

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\xi_t - \bar{\xi})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\xi_t$  – ряд різниць,  $\xi_t = \nabla^d y(t_p)$ ;  $\bar{\xi}$  – середній рівень ряду різниць;  $n$  – кількість рівнів ряду ( $n = M-d$ ).

Для представлення уявлення зміни рівнів ряду у лінгвістичних термінах до задачі введено нечітку змінну  $N = \{ \text{зміна рівнів ряду різниць порядку } d \}$  із наступної терм-множини  $F \forall \{ \text{низький} - f_1(t), \text{ значно нижчий за середнє} - f_2(t), \text{ нижчий за середнє} - f_3(t), \text{ середній} - f_4(t), \text{ вищий за середнє} - f_5(t), \text{ значно вищий за середній} - f_6(t), \text{ високий} - \tilde{f}_7(t) \}$ , що описує значення рівнів ряду в



кожний момент  $t$ . Для відображення функції приналежності  $\mu_{\tilde{A}_i(t)}$  термін змінної  $N$  у аналітичній формі була обрана крива Гауса, що відповідає властивостям симетричності зміни очікуваних темпів пасажиропотоку та має переваги з точки зору спрощення алгоритму розрахунків

$$\mu_{\tilde{A}_i(t)} = \exp[(y(t_p) - b_i / c_i)], \quad (3)$$

де  $y(t_p)$  – елемент універсальної множини  $Y(t)$ ;  $b_i$  – координата максимуму функції;  $c_i$  – коефіцієнт концентрації функції.

В роботі запропоновано до традиційно прийнятої конструкції процесу прогнозування динаміки часового ряду, що умовно поділяється на чотири складові, додатково врахувати невизначеність нечіткого характеру, що дозволяє описати нечіткість виникнення ситуації при виборі пасажиром варіанту – за яким поїздом здійснити поїздку. Отриману модель прогнозування пасажиропотоків перевірено на адекватність шляхом дослідження властивостей залишкового компонента  $e_t = f_p(t) - f(t)$  на незалежність рівнів ряду залишків за критерієм Дарбіна - Уотсона, а їх випадковість і відповідність нормальному закону розподілу - за критерієм узгодженості –  $\chi^2$  (“хі квадрат”) К. Пірсона. Практична реалізація запропонованої процедури формування стаціонарної моделі нечітких часових рядів на основі генетичного моделювання виконано в середовищі Matlab 7.0 Як приклад, на рисунку 1 наведено графік ретроспективного оцінювання роботи запропонованої моделі прогнозування на основі ex - post прогнозу кількості перевезених пасажирів із січня 2010 р. по травень 2011 р. на напрямку Донецьк - Київ.

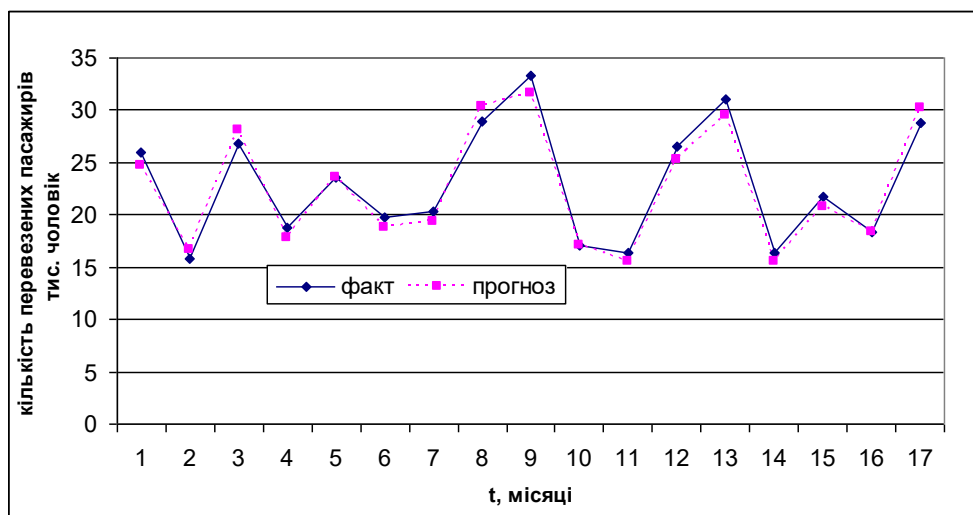


Рисунок 1 - Графік порівняння даних розрахункового прогнозу кількості перевезених пасажирів по місяцях за 2010-2011 рр. на напрямку Донецьк - Київ з фактичними результатами

Дана модель нечіткого часового ряду з властивостями еволюційної самоорганізації для прогнозування пасажиропотоків показала високу стійкість функціонування на обмеженій вибірці даних без попередньої обробки. Практично, модель прогнозування за рахунок врахування невизначеності нечіткого характеру забезпечує похибку не більше 4 – 6% і є основою для розробки раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів.

У *третьому розділі* формалізовано гнучку технологію управління транспортною системою в частині організації схем обороту пасажирських составів. Однією із складових такої формалізації є розробка методів вибору раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів з використанням нових наукових результатів в області “Swarm Intelligence”, а саме системи мурашиних колоній (англ., Ant Colony System, ACS). Вибір ACS обумовлений декількома причинами, серед яких: можливість розв’язання NP – повних задач, що і необхідно для пошуку раціональних напрямків прямування пасажирських поїздів на мережі УЗ; швидке отримання оптимальних рішень в умовах багатоваріантності, що є відчутним внеском в розвиток пасажирського залізничного комплексу; можливість підвищення якості надання транспортних послуг за рахунок виконання умови - прибуття і відправлення пасажирських поїздів в зручний для пасажирів час доби та ін.

В межах вирішення поставленої задачі щодо оптимізації маршрутів прямування пасажирських поїздів на окремих розрахункових полігонах мережі або на мережі в цілому, в роботі запропоновано представити залізничну мережу у вигляді неорієнтованого графу  $G(P, E)$ . Множина  $P$  – вершини графу, що представляють станції можливого прослідкування та обороту состава пасажирського поїзда і мають позначення  $p_{ij}$ , де  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $p \leq n$ . Вершина 0 відповідає станції формування состава, із якої починають і в якій закінчують свої маршрути всі пасажирські поїзди.  $E$  – множина дуг  $e_{ij}$ , що з’єднують відповідні вершини графу та відповідають залізничним лініям між станціями мережі, де  $e_{ij} \in E$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ . Інформація про зв’язки вершин графу міститься в матриці суміжностей  $\xi$ , з елементами:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо маршрут прямування поїзда існує;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (4)$$

Ефективність сформованого за кожною ітерацією маршруту прямування всіх поїздів може бути оцінена на основі цільової функції

$$F = F_1 + F_2 + \lambda \cdot \left( \sum_{\psi=1}^{\phi} (\max(0, g_{\psi}(x)))^2 + \sum_{\kappa=1}^z (h_{\kappa}(x))^2 \right) \rightarrow \min, \quad (5)$$

де  $\lambda$  – параметр штрафної функції,  $\lambda > 0$ ;  $g_\psi(x)$  – обмеження рівності задачі, що приведені до виду  $g_\psi(x) = 0, \psi \in \Psi$ ;  $h_\kappa(x)$  – обмеження нерівності задачі, що приведені до виду  $h_\kappa(x) \leq 0, \kappa \in \mathbf{K}$ ;  $F_1, F_2$  – відповідно сумарна вартість прямування всіх поїздів  $k$  в прямому та зворотному напрямках:

$$F_1 = \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in E} A_{ij}^k \cdot C_{ij}^k \cdot X_{ij}^k; \quad F_2 = \sum_{k \in V} \sum_{(j,i) \in E} A_{ji}^k \cdot C_{ji}^k \cdot X_{ji}^k, \quad (6)$$

де  $A_{ij}^k$  – населеність  $k$ -го пасажирського поїзду при прямуванні із  $i$  в  $j$ ;  $C_{ij}^k$  – вартість перевезення одиниці потоку по дузі  $(i,j)$   $k$ -м поїздом;  $X_{ij}^k$  – ознака приналежності напрямку  $(i,j)$  до маршруту прямування  $k$ -го поїзда.

Робота алгоритму з вибору оптимальної схеми обороту пасажирського составу починається із створення  $m$  мурах,  $m = \overline{1, M}$ . Стартовою точкою розміщення мурах є станція формування составів з індексом 0, що обумовлено наступними обмеженнями задачі:

- час прибуття поїзда до кожної станції мережі повинен бути в межах часового вікна,  $l_i \leq S_i^k \leq h_i, \forall i \in P, \forall k \in V$ , де  $S_i^k$  – сума часу прибуття поїзда на станцію  $i$ ,  $V$  – множина пасажирських поїздів залізниці  $A$ ,  $[l_i, h_i]$  – «часовий період»;

- сума часу руху поїзда в прямому та зворотному напрямках до станції обороту состава  $j$  ( $j = p$ ) не повинна перевищувати максимальний час безперервної роботи локомотивної бригади  $t_{bp}^{лок}$ ,  

$$\sum_{i,j \in E} t_{0j}^{r,k} + \sum_{i,j \in E} t_{j0}^{r,k} \leq t_{bp}^{лок}, \forall k \in V;$$

- кожний пасажирський поїзд залишає та повертається на станцію формування тільки один раз,  $\sum_{j \in N} X_{0j}^k = 1; \sum_{j \in N} X_{i,n+1}^k = 1;$

- поїзд може відправитися із вершини  $i$ , тільки якщо він прибув до неї,  $\sum_{j \in N} X_{i,u}^k - \sum_{j \in N} X_{u,j}^k = 0, \forall u \in P, \forall k \in V;$

- можливість відвідування поїздом кожної вершини графу декілька разів,  $\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{i,j}^k \geq 1, \forall i \in P;$

- час прибуття поїзда в  $j$  не може бути меншим за суму часу прибуття поїзда на станцію  $i$  ( $S_i^k$ ) та часу руху поїзда із станції  $i$  до станції  $j$  ( $t_{i,j}$ ), тобто

$$\sum_{j \in N} X_{i,j}^k (S_i^k + t_{ij} - S_j^k) \leq 0, \forall (i, j) \in A, \forall k \in V.$$

Запропонована процедура системи мурашиних колоній ітерує оптимізаційний процес доки не буде задоволено прийнятий критерій зупинки на основі встановленого максимуму кількості ітерацій.

В результаті моделювання на основі ACS отримано динаміку знаходження рішення (рисунок 2) та результати розрахунку маршрутів прямування пасажирських поїздів на довільно сформованому графі мережі  $G$  з 14 вершинами (рисунок 3). Запропонована процедура системи мурашиних колоній, дозволила знайти оптимальне рішення за 3,2 хв.

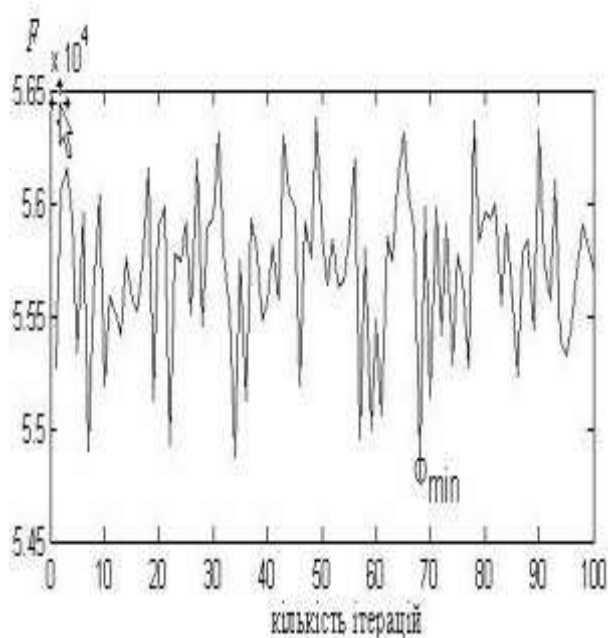


Рисунок 2 - Графік залежності значень цільової функції  $F$  від кількості ітерацій процедури ACS

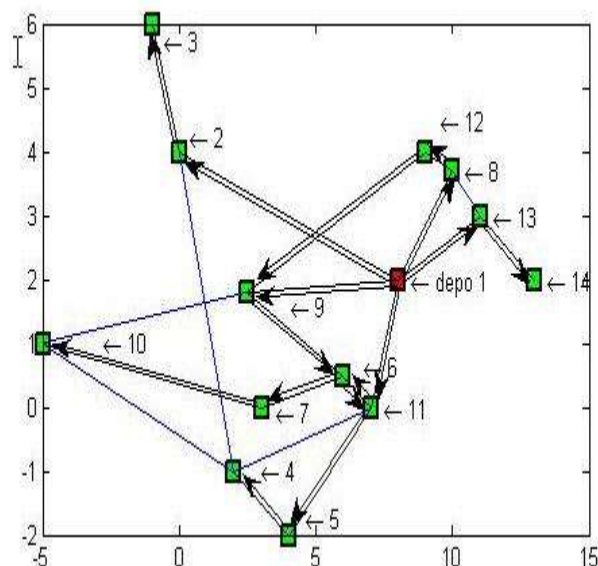


Рисунок 3 - Граф мережі  $G$  та знайдені кращі варіанти маршрутів прямування пасажирських поїздів

Наступним кроком при формалізації гнучкої технології є розробка адаптивної технології організації схем обороту пасажирських составів. Ця технологія заснована на процедурі еволюційного моделювання, що забезпечує зміни до параметрів пасажиропотоку в існуючій технології. В результаті розробки зазначеної технології отримано модель еволюційного розвитку. Дана модель використана для розрахунку графіку обороту пасажирського состава за принципом відправлення «туди» для полігону мережі. Побудова раціональних схем обороту пасажирських составів за принципом відправлення «туди» передбачає ковзну ув'язку в графіку руху составів по обороту на станціях полігону мережі, що вимагає обліку значного числа факторів і цілей, яким

повинен відповідати раціональний графік обороту составів. Це визначає багатокритеріальний характер задачі. Комплексний підхід щодо вирішення даної задачі для практичної реалізації дозволить при виборі схеми обороту составів, з одного боку, мінімізувати час знаходження составів в пунктах їх обороту,

$$f_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij}^{kl} X_{kl} \rightarrow \min, \text{ а з іншого – визначити найбільш зручний для}$$

пасажирів розклад прямування пасажирських поїздів за умови населеності не нижче встановленого рівня,  $f_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N A_{ij}^{kl} X_{kl} \rightarrow \max$ . Де  $X_{kl}$  - матриця варіантів

маршруту прямування составу між станціями обороту  $k = \overline{1, n}$  і  $l = \overline{1, n}$ ,  $C_{ij}^{kl}$  - матриця часу знаходження состава на станції,  $A_{ij}^{kl}$  - матриця корегування прогнозу населеності состава, що відповідає нитці графіку відправлення, з елементами  $A_{ij}^{kl} = a^{kl} k_{ij}^{kl}$  ( $k_{ij}^{kl}$  – визначається на основі маркетингових досліджень проведених на вокзалах кожної станції розрахункового полігону мережі,  $a^{kl}$  - середньодобовий прогноз населеності состава по кожному напрямку).

При цьому слід дотримуватись обмежень:

- напрямок прямування пасажирського поїзда з кожної опорної станції повинен бути визначений однозначно,  $G_1^1(x) = \left\{ \sum_{k=1}^n X_{kl} = 1 \right\}$ ;  $G_2^1(x) = \left\{ \sum_{l=1}^n X_{kl} = 1 \right\}$ ;

- щодо тривалості маршруту прямування пасажирського состава  $T_{об}$  і норми часу безперервної роботи локомотивної бригади  $t_{об}^{лок}$ , необхідним є дотримання умови  $G_3^1(x) = \left\{ T_{об} \leq t_{об}^{лок} \right\}$ .

- по забезпеченню встановленого доцільного рівня курсування поїзда на напрямку  $G_1^2(x) = \left\{ A_{ij}^{kl} \geq \alpha^{kl} \right\}$ , де  $\alpha^{kl}$  – заданий мінімальний рівень населеності поїзда на напрямку  $kl$ ,  $\alpha^{kl} \in [50; 80]$ , %.

Запропонована процедура еволюційного моделювання, дозволила при популяції рівній 50 за 60 генерацій знайти оптимальне рішення протягом 17,172 секунд (рисунок 4).

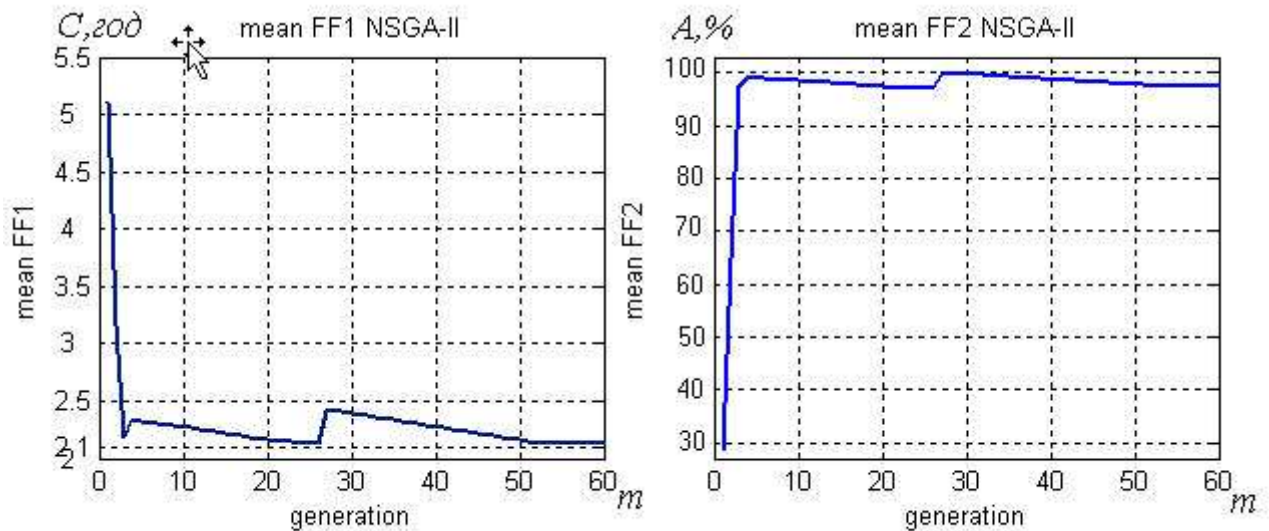


Рисунок 4 - Графіки залежності значень цільових функцій  $f_1$  та  $f_2$  від кількості генерацій процедури еволюції

При формуванні гнучкої технології управління транспортними процесами в системі залізничних пасажирських перевезень, встановлено, що необхідним є використання системного підходу до управління пасажирськими перевезеннями за рахунок автоматизованого корегування кількості вільних місць в поїздах. В роботі запропоновано представити мережу станцій формування та обороту пасажирських составів, як когерентну систему залізничних пасажирських перевезень  $S$

$$S = (t, X(t), Y(t), C(t), P(t), \sigma, \eta), \quad (7)$$

де  $X(t)$  - вхід системи, що характеризує вплив зовнішнього середовища на систему;  $Y(t)$  - вихід системи, що характеризує вплив системи на зовнішнє середовище;  $C(t)$  - стан системи в момент часу  $t$ , що описує кількість вільних місць відповідно до існуючої схеми обороту та композиції составів;  $P(t)$  - вектор управління, що відповідає за стійкість системи;  $\sigma$  - функція переходів;  $\eta$  - функція виходів.

Такий підхід передбачає, у тому числі, надання системі пасажирських перевезень гнучкості, тобто здатності набувати властивості адаптації до мінливого попиту на транспортні послуги. Наслідками такого управління є резерв вільних місць в поїздах в межах дохідності за умови надання якісних послуг на перевезення. Для виявлення системного ефекту сформовано критерій якості управління в неявному та явному вигляді.

Для виявлення системного ефекту запропоновано сформуванати критерій якості управління, який в неявному вигляді можна записати

$$J_{(H,R)} = \int_0^{t_{\text{план}}} F(G(t), P(t)) dt \Rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $J_{(H,R)}$  – витрати за період планування;  $t_{\text{план}}$  – місячний період планування, який враховує інерційність системи;  $G(t)$  – грошова оцінка поточного стану визначеної системи, грн.;  $P(t)$  – вектор управління, що визначає необхідну раціональну кількість резерву вільних місць в поїздах.

Враховуючи випадкову природу попиту на перевезення в явному вигляді критерій управління системою представлено, як мінімізація математичного очікування сумарних витрат

$$J_{t_{\text{план}}}^{(H,R)} = \int_0^{t_{\text{план}}} \left( c |H_t - z_t| + k \int_0^{H_t} (H_t - D) f(D) dD + p \int_{R_t}^{\infty} (D - R_t) f(D) dD \right) dt \Rightarrow \min, \quad (9)$$

де  $H$  – резерв вільних місць в поїздах, що необхідно створити,  $H \geq 0$ ;  $z_t$  – наявний резерв вільних місць в поїздах перед регулювальними заходами, щодо зміни кількості місць в поїздах за рахунок вибору раціональних схем обороту та маршрутів слідування пасажирських поїздів;  $C$  – витрати на доведення резерву вільних місць до величини  $H$ ;  $k$  – витрати на утримання надлишкової кількості вільних місць в поїздах;  $D$  – очікуване прогнозне значення попиту на перевезення в одиницю часу;  $f(D)$  – щільність розподілу попиту  $D$  на протязі терміну виконання регулювального заходу, яка є стаціонарною (незалежною від часу) на протязі тижня;  $P$  – штраф за дефіцит місць в поїздах при відмові у вимозі на перевезення;  $R$  – рівень резерву вільних місць, при якому необхідно здійснювати регулювальні заходи щодо зміни кількості місць в поїздах на величину  $H$ .

На змінні параметри цільової функції, що описують стан системи накладені наступні обмеження:

– резерв вільних місць в поїздах, що необхідно створити  $H$  не повинен перевищувати наявної кількості місць в системі  $U$ , що обмежено робочим парком пасажирських вагонів, тобто  $H \leq U$ .

– враховуючи інерційність системи  $S$  термін виконання регулювальних заходів  $l$  щодо збільшення кількості місць в поїздах повинен бути не менше встановленого технологічного нормативу  $L$  на організацію додаткового поїзда або вагону, тобто  $l \geq L$ .

В результаті, враховуючи особливості функціонування системи на протязі року передбачено здійснювати безперервний автоматизований контроль резерву

вільних місць в поїздах. Таким чином сформований комплекс моделей сприяє інтелектуалізації процесу управління пасажирськими перевезеннями.

**У четвертому розділі** удосконалено ІКС з організації пасажирських перевезень та виконано техніко – економічне обґрунтування впровадження гнучкої технології формування схем обороту пасажирських составів, зокрема за рахунок впровадження кільцевих схем обороту.

Удосконалення ІКС з організації пасажирських перевезень виконано шляхом розробки та впровадження АСРПРС в підсистемі АСК ПП УЗ (АРМ інженера ЦЛ та АРМ інженера служби Л). Дана АСРПРС базується на розробленому комплексі моделей та виконує наступні задачі: управління формуванням пасажирських составів; формування пасажирських составів на замовлення; організація раціональних маршрутів обороту составів пасажирських поїздів. Проведені розрахунки по формуванню раціональних маршрутів слідування пасажирських поїздів дозволяють за децентралізованим (розподіленим) принципом визначити розрахунковий графік руху та схеми обороту пасажирських составів на залізничній мережі в цілому.

В роботі виконано техніко – економічне обґрунтування вибору схеми обороту пасажирських составів. Для цього проведено співставлення двох схем: існуючої маятникової та перспективної кільцевої. Відповідно до проведених розрахунків по напрямках (Маріуполь – Київ – Харків – Маріуполь, Маріуполь – Харків – Київ – Маріуполь) за основними факторами (час руху поїзда в парному та непарному напрямках; час знаходження поїзда на станціях формування та обороту; загальний час обороту пасажирського составу) економічний ефект склав 133992,5 грн. Таким чином, використання кільцевих схем обороту пасажирських составів є доцільним при великих обсягах пасажирських перевезень і курсуванні між великими транспортними вузлами, що дозволить вивільнити до 12% робочого парку пасажирських вагонів під додаткові обсяги перевезень.

## ВИСНОВКИ

У даній дисертаційній роботі наведено вирішення науково – прикладного завдання з удосконалення технології пасажирських перевезень на основі вибору раціональних схем обороту пасажирських составів.

На основі виконаних у роботі досліджень можна констатувати:

1) На основі проведеного аналізу теоретичних розробок та практичного досвіду з організації схем обороту пасажирських составів, визначено, що: ефективне формування схем обороту пасажирських составів – є одним із основних завдань пасажирської залізничної транспортної системи. Поряд з цим, застосування сучасних науково - обґрунтованих та інформаційно - орієнтованих рекомендацій практично не використовують при виборі оптимального варіанту руху пасажирського составу, оскільки і на даний час виконується на основі практичного досвіду оперативних працівників пасажирської служби залізниці. Сучасним засобом удосконалення технології організації схем обороту



пасажирських составів є розробка та впровадження автоматизованої системи, яка б надавала науково – обґрунтовані рішення по вибору раціональних схем обороту. Зазначена розробка повинна бути попередньо формалізована та передбачати зв'язки не тільки з вітчизняною АСК ПП УЗ, але і з автоматизованими системами інших країн.

2) За результатами проведеного експериментального дослідження встановлено, що на мережі УЗ при організації пасажирського руху майже не використовується кільцева схема обороту составів, а тільки маятникова. З метою з'ясування доцільності використання кільцевої схеми проведено аналіз статистичних даних щодо структури та параметрів пасажиропотоку за період 2005 - 2010 роки. Основним критерієм оцінки використання маяткової схеми було взято рівень середньої населеності поїздів в прямому та зворотному напрямках, який коливається в межах 87 - 60%. З урахуванням результатів аналізу статистичних даних розроблено модель прогнозування пасажиропотоків на основі нечітких часових рядів з властивостями еволюційної самоорганізації. Дана модель на відміну від попередніх методів прогнозування дозволяє врахувати нечіткість виникнення ситуації при виборі пасажиром варіанту - за яким поїздом здійснити поїздку. Дана модель показала високу стійкість та відсутність випадкового імпульсного відхилення із загальною похибкою не більше 4 – 6%, що є основою для розробки раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів.

3) Для формалізації процесу вибору раціональних схем обороту пасажирських составів («кільцювання») сформовано оптимізаційну модель, яка є основою автоматизованої системи розподілу пасажирського рухомого складу. В запропонованій моделі з метою швидкого розв'язання NP – повної задачі, а саме пошуку найкращих варіантів маршруту прямування поїзда на мережі УЗ в умовах багатоваріантності, застосовано інтелектуальний мультиагентний метод оптимізації на основі системи мурашиних колоній. Цей метод дозволив на довільно сформованому графі мережі  $G$  з 14 вершинами знайти найкраще рішення за 3,2 хв.

4) Формалізовано технологію управління транспортною системою в частині організації схем обороту пасажирських составів, що на відміну від існуючої має властивості гнучкості та адаптації до зміни попиту на перевезення при обмеженості кількості пасажирського рухомого складу. Формалізація адаптивної технології виконана на основі процедури еволюційного моделювання, яка представляє собою двохкритеріальну оптимізаційну задачу: мінімізація часу знаходження составів в пунктах їх обороту з паралельним забезпеченням встановленого рівня населеності поїзда в умовах визначення його зручного часу прибуття (відправлення) для пасажирів. Для підвищення ступеня гнучкості системи вирішена задача управління загальним резервом вільних місць у ній. Для виявлення системного ефекту сформовано критерій якості управління в явному вигляді. В результаті, враховуючи особливості функціонування системи на протязі року передбачено здійснювати безперервний автоматизований контроль резерву вільних місць в поїздах.

5) Удосконалено існуючу АСК ПП УЗ в частині формування схем обороту пасажирських составів за рахунок впровадження автоматизованої системи розподілу пасажирського рухомого складу. Розроблений комплекс моделей інтегровано в підсистеми АСК ПП УЗ (АРМ інженера ЦЛ та АРМ інженера служби Л). АСРПРС дозволяє: визначити оптимальний маршрут обороту составу; розрахувати оборот пасажирського составу та необхідну кількість составів для обслуговування обраного напрямку руху; розрахувати сумарні витрати на перевезення пасажирів та ін. Техніко – економічне обґрунтування показало, що використання кільцевих схем обороту пасажирських составів дозволяє вивільнити до 12% робочого парку пасажирських вагонів під додаткові обсяги перевезень.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

Основні праці:

1 Бутько Т.В. Розробка раціональних маршрутів прямування пасажирських поїздів на основі системи мурашиних колоній / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Є. В. Чеклова // Восточно-европейский журнал передових технологий. – Харків, 2009. – №3/5 (39) – С. 9 - 13.

2 Бутько Т. В. Розробка моделі нечітких часових рядів з властивостями еволюційної самоорганізації для прогнозування пасажиропотоків / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Є. В. Чеклова // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2008. – № 16. – С. 5 - 14.

3 Бутько Т. В. Розробка адаптивної технології організації схем обертання пасажирських составів на основі процедур еволюційного моделювання / Т. В. Бутько, А. В. Прохорченко, Є. В. Чеклова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2009. – № 1. – С. 27 - 31.

4 Чеклова Є. В. Формування гнучкої технології управління транспортними процесами в системі залізничних пасажирських перевезень / Є. В. Чеклова // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2010. - Випуск №119. – С. 66 - 71.

5 Ходаківська Є.В. Удосконалення АРМ інженера пасажирської служби в частині обігу пасажирських составів / Є. В. Ходаківська // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2011. – № 26. – С. 28 - 34.

6 Ходаківська Є. В. Техніко – економічне обґрунтування вибору схеми обертання пасажирських составів / Є. В. Ходаківська // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2011. - №54. – С.108 – 114.

7 Бутько Т. В. Управління залізничними пасажирськими перевезеннями на основі логістичних принципів / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, А. В. Прохорченко, Є. В. Чеклова // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – Донецьк, 2009. – №1. – С. 48 - 51.

8 Бутько Т. В. Автоматизована система розподілу пасажирського рухомого складу / Т. В. Бутько, Є. В. Ходаківська, В. Ф. Чеклов, О. Ю. Забродська// Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2011. – № 27. – С. 11 - 17.

9 Пат. 66653 Україна, МПК В612 25/00, В612 27/00, G06F 7/00, G06N 7/00. Автоматизована система розподілу пасажирського рухомого складу /

Чеклов В. Ф., Бутько Т. В., Журба О. О., Ходаківська Є. В.; заявник і патентовласник Чеклов В. Ф. - №24838/ЗУ/11; заявл. 02. 12. 2011; опубл. 10. 01. 2012, Бюл. №1.

Праці апробаційного характеру:

10 Удосконалення технології роботи залізничного пасажирського вокзалу на основі управління логістикою пересадок / Бутько Т.В., Прохорченко А. В., Труфанова І. А., Чеклова Є. В. // Матеріали доповідей міжнародної науково-практичної конференції [“Преспективні комп’ютерні, управляючі і телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України”], (м. Алушта, 2009 р.) / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків, 2009 – №4 – С. 3.

11 Розробка оптимальних схем обігу составів пасажирського поїзду з використанням прогнозу пасажиропотоків на основі еволюційного моделювання / Бутько Т.В., Чеклова Є. В. // 5 міжнародна науково-практична конференція [“Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”], (сmt. Коктебель, червень 2009 р.) / Вісник економіки транспорту і промисловості (збірник науково-практичних статей). – Харків, 2009. – Вип. 27. – С. 46 - 47.

12 Формування гнучкої технології організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті / Бутько Т.В., Чеклова Є. В. // 6 міжнародна науково-практична конференція [“Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”], (сmt. Коктебель, червень 2010 р.) / Вісник економіки транспорту і промисловості (збірник науково-практичних статей). – Харків, 2010. – Вип. 30. – С. 218 - 219.

13 Планування перспективних пасажиропотоків на основі інтелектуальних технологій / Бутько Т.В., Чеклова Є. В.// Сборник научных трудов по материалам международной научно – практической конференции [«Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010»]. Том 1 – Транспорт – Одесса: Черноморье, 2010. – С. 87 – 89.

14 Удосконалення АРМ інженеру пасажирської служби у частині формування схем обігу пасажирських составів / Бутько Т.В., Ходаківська Є. В. // 7 міжнародна науково-практична конференція [“Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”], (сmt. Коктебель, 4 червня 2011 р.) / Вісник економіки транспорту і промисловості (збірник науково-практичних статей). – Харків, 2011. – Вип. 34. – С. 76.

## АНОТАЦІЯ

Ходаківська Є. В. Удосконалення технології пасажирських перевезень на основі вибору раціональних схем обороту пасажирських составів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за

спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. - Українська державна академія залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Харків, 2012.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково – прикладного завдання щодо удосконалення організації пасажирських перевезень на залізничному транспорті на основі гнучкої технології вибору схем обороту пасажирських составів. В роботі надано теоретичне обґрунтування процесу вибору і призначенню раціональних кільцевих маршрутів прямування пасажирських поїздів, що забезпечує мінімізацію експлуатаційних витрат та задоволення вимогам пасажирів. Розроблений комплекс моделей: прогнозування пасажиропотоків; вибору раціональних маршрутів прямування і розрахунку напрямку курсування пасажирських поїздів є основою для формування автоматизованої технології вибору раціональних схем обороту пасажирських составів. Це забезпечує можливість вивільнення до 12% робочого парку пасажирських вагонів. Запропонований комплекс моделей реалізовано у вигляді автоматизованої системи розподілу пасажирського рухомого складу (АСРПРС). Система інтегрована до автоматизованого робочого місця (АРМ) інженера Головного пасажирського управління (ЦЛ) і пасажирської служби залізниці (Л).

*Ключові слова:* пасажирські перевезення, прогнозування пасажиропотоків, гнучка технологія, схеми обороту, системний ефект, моделювання.

## АННОТАЦІЯ

Ходаковская Е. В. Совершенствование технологии пассажирских перевозок на основе выбора рациональных схем оборота пассажирских составов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины, Харьков, 2012.

Диссертация посвящена решению актуального научно – прикладного задания по совершенствованию организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте на основе гибкой технологии выбора схем оборота пассажирских составов. В работе представлено теоретическое обоснование процесса выбора и назначения рациональных кольцевых маршрутов следования пассажирских поездов, которое обеспечивает минимизацию эксплуатационных расходов и удовлетворяет требованиям пассажиров.

На основе проведенного анализа теоретических разработок и практического опыта по организации схем оборота пассажирских составов, определено, что эффективное формирование схем оборота пассажирских составов - является одной из основных задач пассажирской железнодорожной системы. В настоящее время выбор оптимального варианта движения пассажирского состава выполняется на основе практического опыта оперативных работников пассажирской службы железной дороги и практически

не используются современные научно - обоснованные и информационно - ориентированные рекомендации. Одним из современным средств совершенствования технологии организации схем оборота пассажирских составов является разработка и внедрение автоматизированной системы для предоставления научно - обоснованных решений по выбору рациональных схем оборота. В основу автоматизированной технологии выбора рациональных схем оборота пассажирских составов положен разработанный комплекс моделей: прогнозирования пассажиропотоков; выбора рациональных маршрутов следования и расчета направления движения пассажирских поездов.

Модель прогнозирования пассажиропотоков разработана с учетом результатов анализа статистических данных на основе нечетких временных рядов со свойствами эволюционной самоорганизации. Данная модель в отличие от предыдущих методов прогнозирования позволяет учесть нечеткость возникновения ситуации при выборе пассажиром варианта, каким поездом совершить поездку. Как результат, модель показала высокую устойчивость и отсутствие случайного импульсного отклонения с общей погрешностью не более 4 - 6%.

Для формализации процесса выбора рациональных маршрутов следования пассажирских составов («кольцевания») сформирована оптимизационная модель. В предложенной модели с целью быстрого решения NP - полной задачи, а именно поиска лучших вариантов маршрута следования поезда на сети Укрзализныци в условиях многовариантности применен интеллектуальный мультиагентный метод оптимизации на основе системы муравьиных колоний. Этот метод позволил на произвольно сформированном графе сети с 14 вершинами найти наилучшее решение за 3,2 мин.

При разработке модели выбора рациональных маршрутов следования и расчета направления движения пассажирских поездов формализовано технологию управления транспортной системой в части организации схем оборота пассажирских составов. Новая технология, в отличии от существующей имеет свойства гибкости и адаптации к изменению спроса на перевозки при ограниченности количества пассажирского подвижного состава. Формализация адаптивной технологии выполнена на основе процедуры эволюционного моделирования, которая представляет собой двухкритериальную оптимизационную задачу: минимизация времени нахождения составов в пунктах оборота с параллельным обеспечением установленного уровня населенности поезда в условиях определения его удобного времени прибытия (отправления) для пассажиров. Для повышения степени гибкости системы решена задача управления общим резервом свободных мест в ней. Для выявления системного эффекта сформирован критерий качества управления в явном виде. В результате, учитывая особенности функционирования системы на протяжении года, предусмотрено осуществлять непрерывный автоматизированный контроль резерва свободных мест в поездах.

Предложенный комплекс моделей реализован в виде автоматизированной системы распределения пассажирского подвижного состава и интегрирован в

подсистемы автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками Укрзализныци (АРМы инженера Главного пассажирского управления (ЦЛ) и пассажирской службы железной дороги (Л)). Разработанная система позволяет определить оптимальный маршрут оборота состава; рассчитать оборот пассажирского состава и необходимое количество составов для обслуживания выбранного направления движения; рассчитать суммарные затраты на перевозку пассажиров и др. Технико - экономическое обоснование показало, что использование кольцевых схем оборота пассажирских составов позволяет высвободить до 12% рабочего парка пассажирских вагонов под дополнительные объемы перевозок.

*Ключевые слова:* пассажирские перевозки, прогнозирование пассажиропотоков, гибкая технология, схемы оборота, системный эффект, моделирование.

## THE SUMMARY

Khodakovskaya E. V. Perfection of technology of passenger transportations on the basis of choice of rational passenger trains turn charts. - The Manuscript.

Dissertation on competition of a scientific degree of a Ph.D. on a speciality 05.22.01 - transport systems. - The Ukrainian state academy of a railway transport, The Ministry of Education and Science, Youth and Sport of Ukraine, Kharkov, 2012.

The dissertation is sanctified to the decision of actual scientific and applied task on perfection of organization of passenger transportations on a railway transport on the basis of flexible technology of choice of passenger trains turn charts. The theoretical ground of choice process and setting of rational circular routes of the passenger trains circulation, which provides minimization of running expenses and will fully satisfy to the requirements of passengers, presented in this work. The following complex of models was developed: prediction of passenger traffic; choice of rational routes of the following and calculation of direction of plying of passenger-trains are basis for forming of computer-aided technology of choice of passenger trains turn charts. It provides possibility of freeing to 12% worker of park of passenger carriages. The offered complex of models is realized as CAS of distribution of passenger rolling stock. This system is integrated in workstation of engineer of Main passenger administration and passenger service of railway.

*Keywords:* passenger transportations, prediction of passenger traffic, flexible technology, charts of turn, system effect, modelling.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА  
ОСНОВІ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ОБОРОТУ  
ПАСАЖИРСЬКИХ СОСТАВІВ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к. т. н., доц. Лаврухін А. В.

---

Підписано до друку «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.  
Умовн. – рук. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,1.  
Замовлення № \_\_\_\_\_. Тираж 100 прим.

---

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

