

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ШАПАТІНА ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА



УДК 656.073.235:004

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ІНТЕРМОДАЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент
Костенніков Олексій Михайлович,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра управління вантажною і комерційною роботою, доцент кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Давідич Юрій Олександрович,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра транспортних систем і логістики, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Вернигора Роман Віталійович,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, факультет управління процесами перевезень, декан факультету.

Захист відбудеться *«1» жовтня 2020 року о 13³⁰ годині* на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий *«28» серпня 2020 року*.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Контейнерні перевезення є основним компонентом інтермодальних перевезень в умовах міжнародної торгівлі. Інтермодальні перевезення здійснюються з залученням двох або більше видів транспорту. Їхня специфіка полягає також і в тому, що вантаж на всьому шляху знаходиться у складі однієї і тієї самої транспортної одиниці, наприклад контейнера, а перевезення здійснюється за єдиним транспортним документом і під контролем єдиного оператора. За таких умов вантажовідправник не повинен укладати окремих договорів із транспортними підприємствами та особисто контролювати всі ланки перевезення, наприклад складні процеси перевантаження контейнерів, узгодження розкладів тощо. Така зручність є важливим фактором, який забезпечує даному виду перевезень постійний приплив нових клієнтів, особливо зважаючи на те, що оператори також здійснюють контроль митних операцій при перетині міждержавних кордонів.

У сучасних умовах дуже часто у вантажовідправників або вантажоодержувачів виникає необхідність у скороченні термінів доставки вантажів, не обов'язково з мінімальними витратами, – це пов'язано з пришвидшенням реалізації товарів і збільшенням їхнього прибутку. Тому є необхідність у виборі маршруту інтермодального перевезення не тільки за критерієм вартості доставки, але і за часом.

На жаль, на сьогодні немає єдиної технології, яка б в автоматизованому режимі виконувала планування інтермодальних перевезень з урахуванням усіх вимог і критеріїв вантажовідправника, тому тема дисертаційного дослідження є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), згідно з «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», введена в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259, Стратегією розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки, а також науково-дослідними роботами за темами, у яких автор брала безпосередню участь як виконавець: «Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях» (ДР № 0115 U 000275), «Розробка методики випробувань по визначенню викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизеля модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗ потужністю 970 кВт, участь у випробуванні та обробка їх результатів» (ДР № РК 0115 U 002087), «Інструкція з ветеринарно-санітарної обробки вагонів після перевезення тварин, продуктів та сировини тваринного походження» (ДР № 0118 U 000125).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є формування автоматизованої технології управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення, спрямованої на максимальне задоволення вимог вантажовідправників за рахунок одночасного врахування при визначенні маршруту

таких параметрів перевезення, як вартість транспортування і термін доставки вантажу. Поставлена мета визначила такі задачі дослідження:

- провести аналіз основних показників роботи світової транспортної системи, а також технологій управління інтермодальними перевезеннями в Україні та за кордоном для формулювання вимог щодо формалізації технології організації мультимодальних перевезень;

- сформулювати модель прогнозування обсягів перевезення вантажів для визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення;

- формалізувати технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення основних вимог вантажовідправників при визначенні маршруту для планування інтермодальних контейнерних перевезень;

- розробити метод для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень;

- розробити автоматизоване робоче місце (АРМ) оперативного персоналу, що взаємодіє з різними транспортними системами для автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями;

- визначити економічну доцільність від впровадження автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень.

Об'єкт дослідження – процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях.

Предмет дослідження – технологія управління інтермодальними перевезеннями.

Методи дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на використанні методів математичної статистики для виконання детального аналізу основних експлуатаційних показників роботи транспортної системи; методу штучних нейронних мереж для реалізації задачі прогнозування обсягів перевезення вантажів; методів теорії графів при побудові абстрактної транспортної мережі, яка містить ділянки шляху, що відповідають чотирьом типам сполучення: автомобільному, залізничному, морському та авіаційному; спеціального евристичного оптимізаційного алгоритму NSGA-III та методу зважених стрес-функцій для вирішення оптимізаційних математичних моделей організації планування інтермодальних перевезень з урахуванням вартості транспортування і терміну доставки вантажу.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання формування автоматизованої технології управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення, спрямованої на максимальне задоволення вимог вантажовідправників за рахунок одночасного врахування при визначенні маршруту таких параметрів перевезення, як вартість транспортування і термін доставки вантажу.

Вперше:

- формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях у вигляді двокритеріальної математичної моделі

оптимізації з цільовою функцією та системою обмежень, що відповідає компромісному рішенню щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи як вихідні дані топологію транспортної мережі, яку представлено графовою структурою великої розмірності, і всю необхідну додаткову інформацію;

– для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень було розроблено метод виділення єдиного рішення на множині Парето, який дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WSFM);

– сформовано АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей.

Удосконалено:

– процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System).

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи впливають з її прикладної спрямованості, принципової можливості технічної реалізації запропонованих методів і засобів і полягають у такому: розроблено технологію автоматизованого управління інтермодальними перевезеннями, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо вибору оптимального маршруту з мінімальними експлуатаційними витратами або мінімальним терміном доставки.

Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів у середньому на 8 % за умови застосування її на складних транспортних мережах та до 50 % скорочення тривалості перевезення порівняно з традиційною технологією планування. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

Запропонована технологія на основі оптимізаційної моделі дає можливість в автоматизованому режимі обирати маршрут доставки завдяки її впровадженню до системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці оператора інтермодального перевезення при взаємодії з іншими інформаційно-керуючими підсистемами транспортних систем, зокрема Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями української залізниці (АСК ВП УЗ-Є).

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес Регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін «Вантажні перевезення», «Транспортно-експедиторська діяльність», наведеними в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати роботи отримані автором особисто і проводились в Українському державному університеті залізничного транспорту. У роботах, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в

такому: у роботі [1] проаналізовано перспективи розвитку інтермодальних перевезень на українських залізницях з урахуванням особливостей їх використання за кордоном; у наукових працях [4, 16, 26] обґрунтовано процедуру вибору кількості типів технічних засобів для комбінованих перевезень залежно від відстані та обсягів перевезень; у роботах [6, 9, 18, 19] формалізовано технологію просування залізничних модулів при інтермодальних перевезеннях, при якій знімається проблема «мертвої ваги», у роботі [9] – з урахуванням фрактального аналізу; у наукових працях [7, 20, 22] сформовано комплексний кваліметричний критерій для визначення узагальненого рівня транспортного засобу, враховуючи важливість складових критерію в кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень; у статті [8] розроблено автоматизовану технологію планування інтермодальних перевезень, що одночасно враховує вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки; у роботах [14, 27, 28] удосконалено інтермодальну технологію доставки вантажів, що забезпечить скорочення експлуатаційних витрат; у наукових працях [15, 25] обґрунтовано застосування комбінованих перевезень з найменшими експлуатаційними витратами в міжнародних транспортних коридорах, що проходять територією України; у роботах [23, 24] запропоновано використання інтегрального показника надійності, який у свою чергу має включати мінімальні експлуатаційні витрати на перевезення та «доставку точно в строк», що дозволяє визначити оптимальну транспортно-технологічну схему доставки вантажів у контейнерах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та висновки дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: VII, VIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, 11-13 жовтня 2012 р., 8-11 жовтня 2013 р.); 75-й, 76-й, 77-й, 78-й, 80-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 15-17 квітня 2013 р., 15-17 квітня 2014 р., 21-23 квітня 2015 р., 26-28 квітня 2016 р., 24-26 квітня 2018 р.); 73-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків, 5-7 червня 2014 р.); Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014» (Одесса, 1-12 октября 2014 г.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (Сєвєродонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.); 30-й, 32-й міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 26-27 жовтня 2017 р., 24-25 жовтня 2019 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 травня 2018 р.); I Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.).

У повному обсязі результати дисертаційної роботи заслухано та схвалено на розширеному засіданні кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 28 наукових праць, з яких 8 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, і 1 стаття – у виданнях інших держав (дві з них включені до бази Scopus); 15 праць апробаційного характеру; 4 додаткові праці, з них 2 патенти.

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

Повний обсяг дисертації складає 203 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 146 сторінок, 50 рисунків за текстом, 7 таблиць, з яких 1 таблиця і 1 рисунок на 2 окремих сторінках, список використаних джерел із 128 найменувань і 3 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі, об'єкт і предмет дослідження, відображено зв'язок роботи з науковими темами та програмами, розкрито наукову новизну та практичну цінність дисертаційної роботи, подано її загальну характеристику.

У **першому розділі** відповідно до мети дисертаційного дослідження виконано аналіз основних показників роботи вітчизняної транспортної системи, а також технологій управління інтермодальними перевезеннями в Україні та за кордоном.

За даними АТ «Укрзалізниця» за останні роки обсяг вантажів поступово набуває тенденції зростання, відмічається зростання імпорتنих та експортних перевезень, а також транзитних і внутрішніх перевезень. Так, протягом 2018-2019 років вантажообіг залізничного транспорту становив 55,9 % вантажообігу всіх видів транспорту, а обсяг перевезених залізничним транспортом вантажів становив 52 % загального обсягу вантажів у 2018 році, 48 % – у 2019 році.

Крім того, за даними експертних оцінок, очікується збільшення обсягів комбінованих (інтермодальних) перевезень, що обумовлює необхідність здійснення науково-технічних розробок у галузі нової техніки та технології для інтермодальних перевезень. У країнах Західної Європи, США і Канаді інтермодальні перевезення складають 15–20 % загального обсягу перевезень залізничного транспорту. Збільшення обсягів таких перевезень у Європі складає у середньому 20 % на рік.

Інтермодальні перевезення дають змогу збільшити швидкість доставки вантажів, забезпечити збереження цілісності вантажу, здійснити підвищення якості послуг, при цьому контейнерні перевезення дозволяють здійснювати перевезення різними видами транспорту, скорочуючи час на технологічні операції. За чотири місяці 2019 року територією України перевезено понад 125 тис. контейнерів в умовних одиницях (ДФЕ). Це на 8 % перевищує показник відповідного періоду 2018 року.

Питання удосконалення змішаних, комбінованих, інтермодальних перевезень висвітлювались у роботах таких вчених як: Аветикян М. А., Альошинський Є. С., Бутько Т. В., Вернигора Р. В., Гаджинський А. М., Галабурда В. Г., Давідіч Ю. О., Данько М. І., Дерibas А. Т., Дьомін Ю. В., Жуковицький І. В., Кірпа Г. М., Козаченко Д. М., Котенко А. М., Лаврухін О. В., Ломотько Д. В., Мироненко В. К., Миротин Л. Б., Музикіна Г. І., Мямлін С. В., Образцов Р. І., Павленко А. П.,

Повороженко В. В., Постан М. Я., Пшінько О. М., Резер С. М., Шибасєв О. Г., Яновський П. О. та інших.

Теоретичні основи з тематики дисертаційного дослідження викладені в працях Батисса Ф., Блейза Д., Каррьє Б., Граафа В., Кадержавека П., Ислама Д. М. З., Мадея Д., Хавенга Ян Х., Ругера Б., Зейдельмана Х., Тадича С., Россберга Р., Франчішека Н., Фоскетта Ч. та інших. Більшість указаних робіт орієнтовано на західний ринок і не враховує особливостей умов вітчизняної економіки, специфіки організації роботи і технологічного рішення інтермодальних перевезень вантажів в Україні.

Більшість досліджень зводиться до мінімізації експлуатаційних витрат при інтермодальних перевезеннях, але в сучасних умовах значна кількість вантажовласників вимагає від перевізника в першу чергу прискорення доставки і не обов'язково з мінімізацією експлуатаційних витрат.

Таким чином, виникає необхідність вирішення наукового завдання удосконалення технології інтермодальних перевезень за двома критеріями (експлуатаційні витрати і термін доставки), які різні за своєю природою, що у якості вхідних даних потребує прогнозування завантаженості елементів транспортної системи.

У другому розділі сформовано модель прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі штучних нейронних мереж. Перевагами такого способу прогнозування є здатність до самонавчання та адаптації до змінних вхідних даних.

У зв'язку з тим, що інтермодальні перевезення вантажів мають інерційний характер і дуже багато варіантів доставки вантажів, це може викликати перезавантаженість одного або декількох видів транспорту. Тому було вирішено розробити прогнозну модель, яка адекватно спрогнозує обсяги перевезень вантажів для визначення завантаженості транспортної інфраструктури.

Спочатку прогнозування було виконано з використанням фрактального аналізу. В умовах неповної інформації і складності отримання достовірних даних у роботі використовувались дані, отримані за допомогою «Bootstrap»-методу розрахунків у системі «Statistica» в середовищі Windows, що наведено на рис. 1.

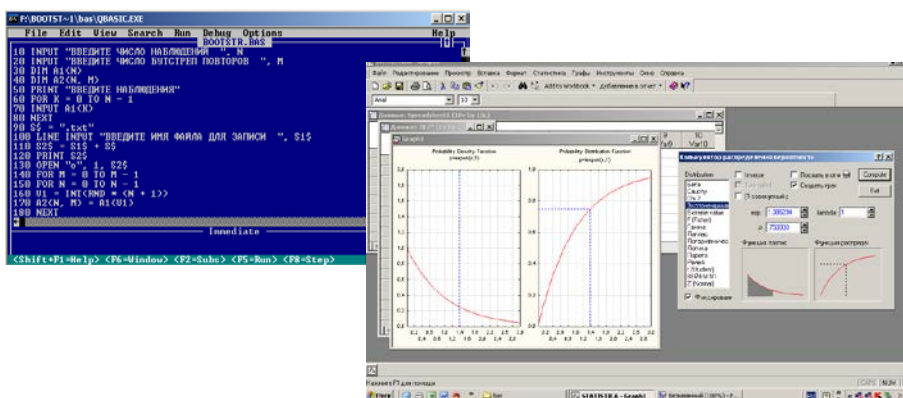


Рис. 1. Вікно результатів розрахунків за допомогою «Bootstrap»-методу в системі «Statistica» в середовищі Windows

Отримана в результаті похибка прогнозу при використанні фрактального аналізу склала більше 7 % і не задовольнила умови завдання. Тому після детального аналізу методів прогнозу було прийнято рішення, що прогнозування обсягів перевезень на транспортній мережі необхідно виконувати з використанням нейро-нечіткого моделювання.

Для вирішення задачі створення прогнозу обсягів перевезення вантажів обрано систему ANFIS в середовищі Matlab (рис. 2, 3). Такий математичний апарат може бути використаний для знаходження прогнозних даних на транспортній мережі.

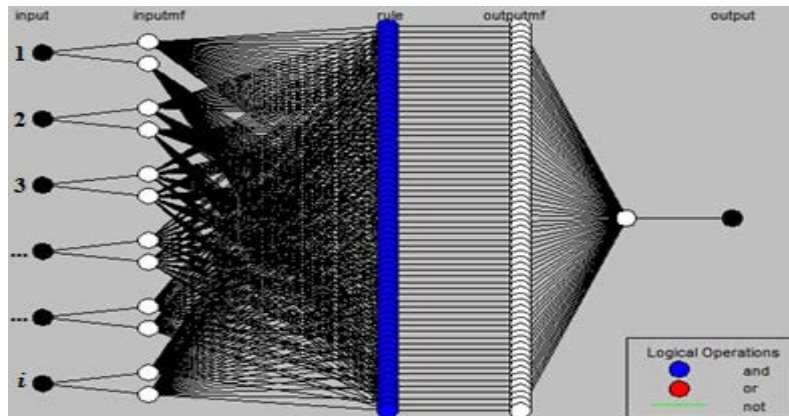


Рис. 2. Структура спроектованої системи нечіткого виводу ANFIS для прогнозування обсягів перевезення вантажів

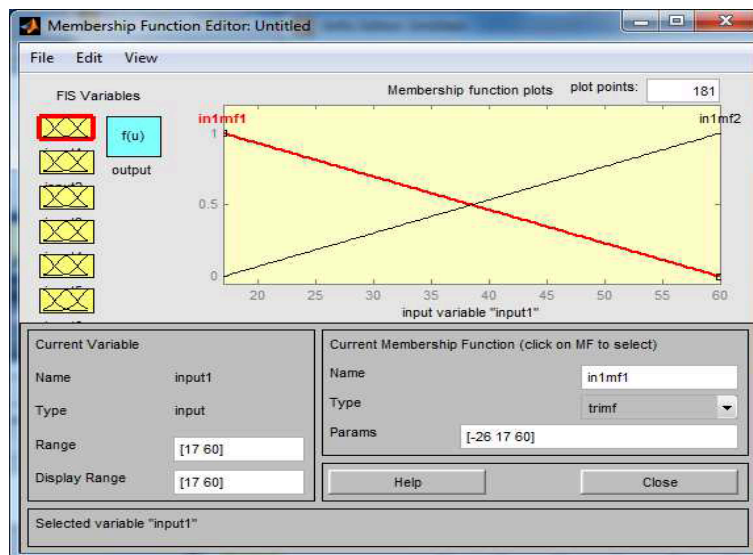


Рис. 3. Реалізація результатів тестування у вигляді функції приналежності системи нечіткого виводу

Перевірка на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення вантажів проведена за допомогою використання коефіцієнта розбіжності прогнозу. Похибка прогнозу не перевищує 4,86 %. Це свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що

інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання доцільно буде врахувати при розробленні оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

З цією метою у **третьому розділі** формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення вимог вантажовідправників у вигляді двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень при одночасному врахуванні не лише довжини сегментів при визначенні маршруту, що відповідають різним видам транспорту, а й фактора часу.

Математична модель визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення представлена у вигляді двох цільових функцій.

Одним із критеріїв при плануванні інтермодального перевезення є його вартість. Цільову функцію доцільно сформуувати у вигляді витрат, які припадають на один контейнер,

$$C(X, t_0) = \left(e_{\text{док}} + n \sum_{i=1}^{\#X} \left(L_{x_i} e_{x_i} + (e_{x_i}^{\partial_1} + e_{x_i}^{\partial_2}) + \right. \right. \\ \left. \left. + \theta \left(|m_{x_i} - m_{x_{i+1}}| \right) \left(e_{s_{x_i}^{\text{кінц}}, s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}} + \left(e_{s_{x_{i+1}}^{\text{скл}}} + \chi e_{s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{ох}} \right) \tau_{s_{x_i}^{\text{кінц}}, s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{пер}} (t_0) \right) \right) \right) / n \rightarrow \min, \quad (1)$$

де X – впорядкований змінний вектор (множина) номерів дуг, що відповідає маршруту переміщення вантажу на графі; $e_{\text{док}}$ – витрати на оформлення перевізних документів; n – обсяг партії вантажу, приведений до 20-футових контейнерів (TEU); $\#X$ – потужність множини елементів змінного вектора X ; L_{x_i} – довжина ділянки маршруту, що відповідає i -му елементу множини x ; e_{x_i} – питомі витрати на переміщення контейнера на ділянці, що відповідає дузі x_i ; $e_{x_i}^{\partial_1}$ – додаткові витрати на дузі x_i , пов'язані з вантажем (плата за додаткове кріплення, перевантаження тощо); $e_{x_i}^{\partial_2}$ – додаткові витрати на дузі x_i , пов'язані зі специфікою просування транспортного засобу (судовий збір, плата за льодове проведення судна, сезонна надбавка до тарифу); $e_{s_{x_i}^{\text{кінц}}}, e_{s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}$ – питомі витрати, пов'язані з вивантаженням контейнера на кінцевому терміналі дуги x_i , переміщенням і навантаженням на терміналі дуги x_{i+1} ; $e_{s_{x_{i+1}}^{\text{скл}}}$ – вартість зберігання на складі терміналу, розташованого на початковій вершині дуги x_{i+1} , під час очікування навантаження; $e_{s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{ох}}$ – питома вартість охорони контейнера на складі терміналу, який розташований на початковій вершині дуги x_{i+1} під час очікування; χ – булева змінна, що набуває значення 1,

якщо охорона необхідна, і 0 – в іншому випадку; m_{x_i} – вид транспортного сполучення на дузі x_i ; $\tau_{s_{x_i}^2, s_{x_{i+1}}^1}^{nep}(t_0)$ – часовий інтервал затримки при переході між дугами x_i та x_{i+1} (при зміні одного виду транспорту на інший або виконанні операцій із поїздами на залізничних станціях, митних операцій тощо), який залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 ; $\theta(x)$ – функція Гевісайда

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Другим критерієм є час доставки вантажу. Його можна представити у вигляді цільової функції

$$T(X, t_0) = \sum_{i=1}^{\#X} \left(\frac{L_{x_i}}{V_{x_i}} k_{x_i}^{zam}(t_0) + \tau_{s_{x_i}^{kin}, s_{x_{i+1}}^{poc}}^{nep}(t_0) \right) \rightarrow \min, \quad (3)$$

де V_{x_i} – середня швидкість переміщення по дузі x_i ; $k_{x_i}^{zam}(t_0)$ – коефіцієнт затримки при переміщенні по дузі x_i , який залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

Для отримання адекватного рішення на керуючі змінні моделі накладаються певні обмеження:

$$\begin{cases} t^{lm} \leq t_0 \leq t^{nm} \\ s_{x_i}^{kin} = s_{x_{i+1}}^{poc}, & i = 1, 2, \dots, \#X \\ s_{x_1}^{poc} = s^{poc} \\ s_{x_{\#X}}^{kin} = s^{kin} \\ n \leq w_{x_i}(t_0), & i = 1, 2, \dots, \#X, \end{cases} \quad (4)$$

де t^{lm} та t^{nm} – ліва та права межі інтервалу можливого початку реалізації маршруту, визначені вантажовідправником; s^{poc} та s^{kin} – номери вершин графа транспортної мережі, які відповідають початковому і кінцевому пунктам маршруту, відповідно; $s_{x_i}^{kin}$ та $s_{x_{i+1}}^{poc}$ – номер кінцевої вершини дуги x_i та номер початкової вершини дуги x_{i+1} відповідно; $s_{x_1}^{poc}$ та $s_{x_{\#X}}^{kin}$ – номер початкової вершини першої дуги маршруту і номер кінцевої вершини останньої дуги маршруту відповідно; $w_{x_i}(t_0)$ – кількість вільних контейнеро-місць (слотів на борту контейнеровоза або

фітінгових платформ для навантаження контейнерів) на момент початку переміщення вантажу по дузі x_i залежно від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

Перше обмеження забезпечує пошук рішення, момент початку реалізації маршруту якого знаходиться в межах певного часового інтервалу, що відповідає умовам вантажовідправника. Друге обмеження забезпечує цілісність маршруту, контролюючи співпадіння кінцевої вершини попередньої дуги та початкової вершини наступної дуги. Третє і четверте обмеження забезпечують відбір тільки тих варіантів маршрутів, які сполучають вершини транспортної мережі, визначені вантажовідправником як початковий і кінцевий пункти переміщення вантажу. П'яте обмеження забезпечує вибір лише тих маршрутів, які забезпечують наявність достатньої кількості вільних контейнеромісць для забезпечення можливості переміщення партії вантажу в повному обсязі по всіх ділянках маршруту.

На основі сформованої моделі було створено програмне забезпечення в середовищі Matlab. Як вихідні дані була використана абстрактна транспортна мережа, яка містить ділянки шляху, що відповідають чотирьом типам сполучення: автомобільному, залізничному, морському та авіаційному. Дана мережа представлена орієнтованим графом. Параметрами дуги графа є вид сполучення, відстань, швидкість переміщення і вартість перевезення одного контейнера типу TEU на 1 км. У кожній вершині графа також визначені вартості перевантаження з одного виду транспорту на інший, що відповідають парам дуг, одна з яких являє собою ділянку маршруту, по якій вантаж прибуває до даного пункту, друга дуга є ділянкою, по якій вантаж відбуває від даної точки маршруту. Початкова точка кожної дуги також асоціюється з розкладом затримок початку переміщення по даній дузі, який відповідає моменту часу потрапляння вантажу під час реалізації перевезення до даного пункту.

Із застосуванням генетичного алгоритму типу NSGA-III було отримано множину Парето-оптимальних рішень, подану на рис. 4. На рис. 5 наведено результат ранжування популяції рішень під час виконання алгоритму NSGA-III.

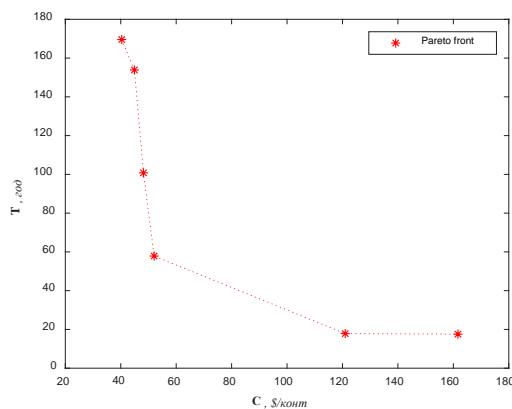


Рис. 4. Множина рішень Парето-фронту, отримана за допомогою алгоритму NSGA-III

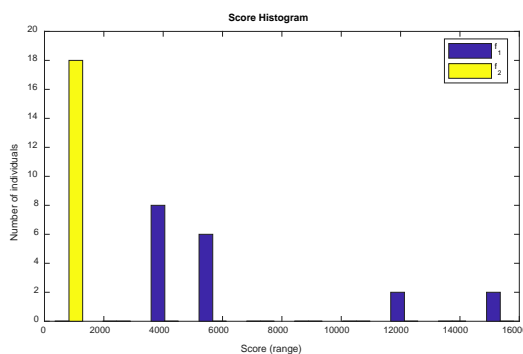


Рис. 5. Результат ранжування популяції рішень за значеннями компонентів цільових векторів під час виконання алгоритму NSGA-III

Таким чином, множина Парето-оптимальних рішень включає шість цільових векторів (рис. 5). Для вирішення двокритеріальної математичної задачі використано метод зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WFSM), за допомогою якого було враховано багатокритеріальний вибір із можливістю урахування ступеня важливості кожного критерію, а також врахування значення ідеального вектора при здійсненні планування інтермодальних перевезень.

Отже, цільовий вектор множини Парето і відповідні йому значення керуючої змінної t_0 та керуючого змінного вектора X , що відповідають оптимальному рішенню, мають також відповідати мінімуму цільової функції

$$Q(X_j, t_{0j}) = \left| \gamma_{1j} (f_{1j}^*(X_j, t_{0j}), w_1) - \gamma_{2j} (f_{2j}^*(X_j, t_{0j}), w_2) \right| \rightarrow \min. \quad (5)$$

За методом зваженої стрес-функції були проведені розрахунки. Величини вагових коефіцієнтів, що відображують рівень значущості критеріїв, були прийняті такими: $w_1 = 0,6$, $w_2 = 0,4$. Результати були зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків щодо визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення

Номер	Маршрут	Загальна відстань	$C(x)$, $\{f_1(x)\}$, \$/конт	$T(x)$, $\{f_2(x)\}$, год	$f_1^*(x)$	$f_2^*(x)$	$Q(x)$
1	1,24,33,37,38,48	4604	4036,36	169,57	0	1	0,981615
2	1,3,9,32,35,42,48	4116	4492,69	153,88	0,0376	0,8967	0,430953
3	1,24,33,17,36,40,48	2964	4818,74	100,81	0,0645	0,5476	0,395761
4	1,11,7,25,41,47,48	2407	5203,52	57,86	0,0962	0,265	6,906039
5	1,11,47,48	4147	12099,70	17,84	0,6648	0,0018	1,534167
6	1,11,45,48	4458	16166,13	17,57	1	0	17,35612

За результатами розрахунку оптимальний маршрут відповідає цільовому вектору № 3, оскільки він має мінімальне значення функції Q . На рис. 6 наведено Парето-фронт і показано відстань між точкою рішення та ідеальною точкою. На рис. 7 показано оптимальний маршрут на графі транспортної мережі.

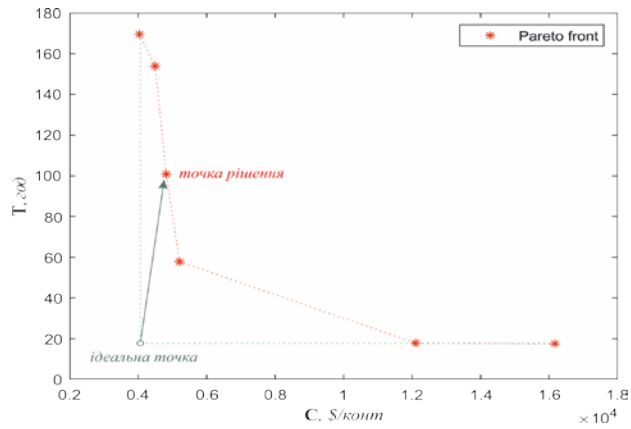


Рис. 6. Відстань між точкою рішення та ідеальною точкою

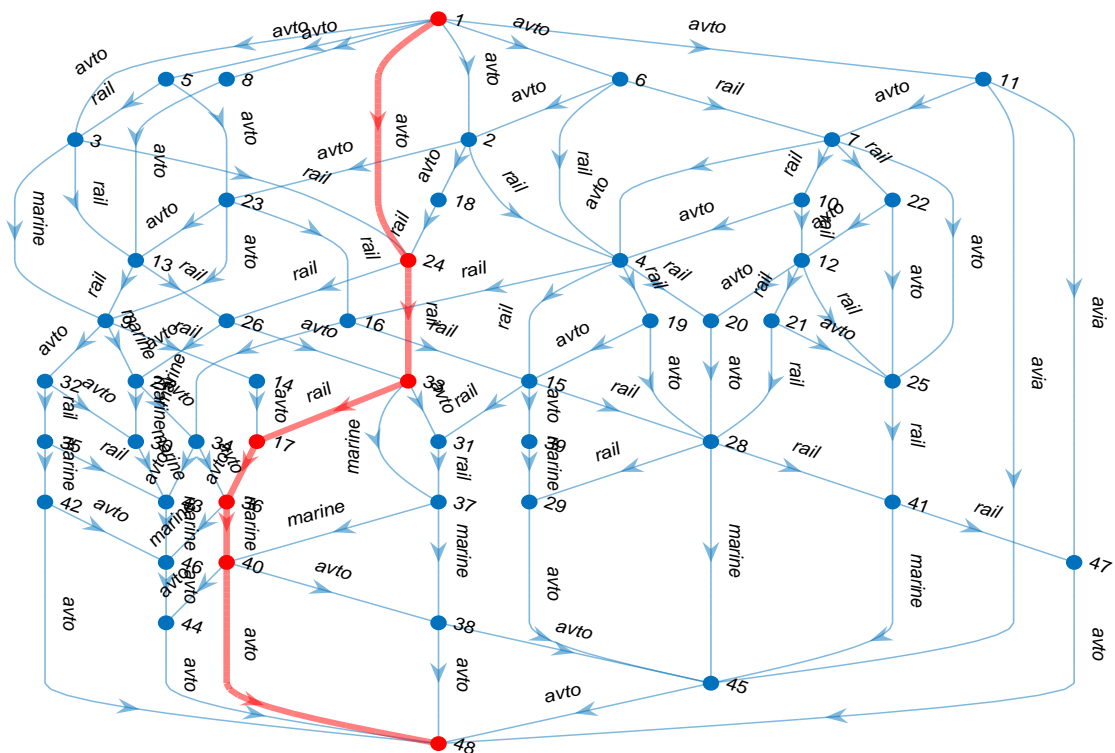


Рис. 7. Оптимальний маршрут інтермодального контейнерного перевезення на графі транспортної мережі

За результатами розрахунку довжина маршруту склала 2964 км, тривалість маршруту – 100,81 год, а вартість перевезення одного контейнера склала 4818,74 дол. США.

У четвертому розділі розроблений комплекс математичних моделей інтегровано у сформоване автоматизоване робоче місце інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, задіяними під час інтермодального перевезення для забезпечення узгодженої роботи всього процесу транспортування (рис. 8).

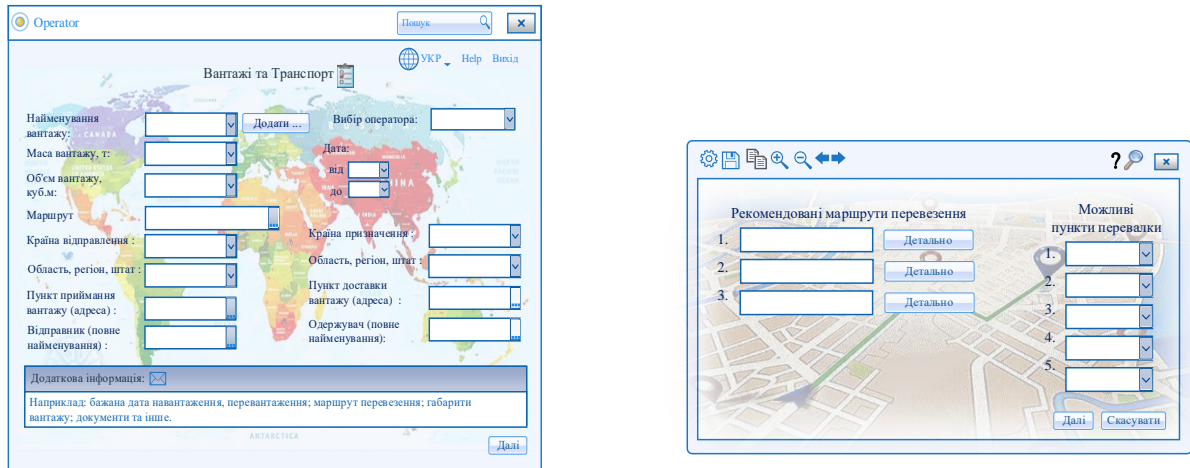


Рис. 8. Фрагменти інтерфейсу СППР АРМ оператора інтермодального перевезення

Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів у середньому на 8 % за умови застосування її на складних транспортних мережах і до 50 % скорочення тривалості перевезення у порівнянні із традиційною технологією планування. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному маршруті надало можливість отримати 4521488 грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання з формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями, яке дає можливість оператору інтермодального перевезення приймати обґрунтовані рішення про вибір плану перевезення з урахуванням вимог клієнта щодо вартості перевезення, терміну доставки та часів затримок під час передачі вантажу від однієї транспортної мережі до іншої.

Отримані результати дають підстави сформулювати такі висновки:

1. Аналіз статистичних даних функціонування транспортних систем світу і ролі та значення інтермодальних перевезень у реалізації транспортного потенціалу України дозволили зробити висновок, що інтермодальні перевезення вантажів є однією з найважливіших транспортних складових світового та національного

значення, що сприяють ефективній взаємодії різних транспортних систем при наданні якісних послуг сучасного формату. Більшість досліджень зводиться до мінімізації експлуатаційних витрат при перевезеннях, але в сучасних умовах виникає необхідність у розробленні гнучкої автоматизованої технології інтермодальних перевезень за двома критеріями (експлуатаційні витрати і термін доставки), різними за своєю природою.

2. Сформовано процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System). Цей спосіб прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання. Якість і надійність прогнозу нейро-нечіткої моделі визначено через значення середньої помилки прогнозу, яка склала 4,86 % фактичних значень обсягів перевезення вантажів, що свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання враховуються при розробці оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

3. Для планування інтермодальних контейнерних перевезень формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення основних вимог вантажовідправників у вигляді оптимальної двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень при одночасному врахуванні не лише вартості перевезення, а й фактора часу.

4. Для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень розроблено метод виділення єдиного рішення на множині Парето, який дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WSFM).

5. Сформовано АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей. Автоматизоване робоче місце дасть можливість інтермодальному оператору сформулювати оптимальний план перевезення контейнерів, який враховує часи затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого та вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки.

6. Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів у середньому на 8 % за умови застосування її на складних транспортних мережах та до 50 % скорочення тривалості перевезення порівняно з традиційною технологією планування. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному маршруті дало можливість отримати 4521488 грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 37–42.

2. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. Вип. 1. С. 41–46.

3. Шапатіна О. О. Визначення сфери ефективності бімодальних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 135–141.

4. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень. *Збірник наукових праць ДЕГУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2014. Вип. 24. С. 202–207.

5. Шапатіна О.О. Вибір виду перевезень вантажів з використанням положень теорії нечітких множин. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 139–143.

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

6. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. Вип. 4/3(70). С. 4–8 (видання індексується в базі *Index Copernicus*).

7. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 1, № 3(85). P. 39–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92203 (видання індексується в базі *Scopus*).

8. Бутько Т. В., Костенніков О. М., Прохоров В. М., Шапатіна О. О. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі векторної оптимізації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 188. С. 71-85 (видання індексується в базі *Index Copernicus*).

Публікації у виданнях інших держав:

9. Lavrukhin O., Zapara V., Zapara Y., Shapatina O., Bogomazova G. Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12. Issue 2. P. 99–112. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.10 (видання індексується в базі *Scopus*).

Праці апробаційного характеру:

10. Шапатіна О.О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Проблеми економіки та управління на*

залізничному транспорті: тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 11-13 жовтня 2012 р.). Київ: ДЕТУТ, 2012. С. 292–293.

11. Шапатіна О. О. Шляхи підвищення конкурентоспроможності комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2013 р.). Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 399–400.

12. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: тези доповідей 73-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.). Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2013. С. 174–175.

13. Шапатіна О. О. Оцінка ефективності бімодальних перевезень. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 8-11 жовтня 2013 р.). Київ: ДЕТУТ, 2013. С. 340–341.

14. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Перевезення вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2014 р.). Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 305–306.

15. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Ефективність комбінованих перевезень вантажів у міжнародних транспортних коридорах. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики*: тези доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 5-7 червня 2014 р.). Вісник економіки транспорту і промисловості.. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 20.

16. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору кількості типів технічних засобів для інтермодальних перевезень. *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014*: тези доповідей Міжнар.наук.-практ. конф. (Одеса, 1-12 жовтня 2014 р.). Сборник научных трудов SWorld. Одеса: Одеський нац. морський ун-т, 2014. Вип. 3 (36). С. 20–21.

17. Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимальної кількості варіантів транспортних засобів комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-23 квітня 2015 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148.

18. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Світлична А. В. Ефективність впровадження комбінованих перевезень в Україні. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 26-28 квітня 2016 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

19. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О. Обґрунтування ефективності бімодальних перевезень вантажів. *Проблеми розвитку транспорту і логістики*:

тези доповідей VII міжнар. наук.-практ. конф. (Сєвєродонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.). Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Одеського національного морського університету. Сєвєродонецьк-Одеса: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Одес. нац. морський ун-т, 2017. С. 94–95.

20. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Удосконалення роботи залізничного транспорту при застосуванні комбінованих перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 4 (додаток). С. 41.

21. Шапатіна О. О. Шляхи покращення комбінованих перевезень вантажів на основі формування комплексного критерію ефективності. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 244–246.

22. Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Ефективність комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квітня 2018 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 137.

23. Костєнніков О. М., Шапатіна О. О. Удосконалення організації інтермодальних контейнерних перевезень на основі інтегрального показника надійності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників конференції (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 4 (додаток). С. 61.

24. Костєнніков О. М., Шапатіна О. О., Кравець А. Л., Кім К. В. Пропозиції щодо підвищення якості транспортних послуг за рахунок удосконалення технології інтермодальних перевезень. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей I Міжнар. наук.-техн. конф. (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 62-63.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

25. Котєнко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору виду транспортних перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 1/2 (6). С. 25–29. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.35904.

26. Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Пошук оптимальної кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 4/2 (9). С. 32–36. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40226.

27. Спосіб перевезення негабаритних і великовагових вантажів на зчепленні універсальних залізничних платформ: пат. 101721 Україна, МПК(2006.01) B61D 3/10, B61D 3/16, B60P 3/40. №a201109498; заявл. 28.07.11; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8. 5 с.

28. Спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном та його розвантаження на роторному вагоноперекидачі: пат. 119656 Україна, МПК(2017.01) B61F 1/06, B60S 11/00, B65G 67/34, B65G 63/00, B61D 47/00. №a201304011; заявл. 01.04.13, опубл. 10.10.17, Бюл. № 19. 6 с.

АНОТАЦІЯ

Шапатіна О. О. Формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанням формування автоматизованої технології інтермодальних перевезень шляхом розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення. На основі моделі ANFIS з використанням нейро-нечіткого моделювання удосконалено процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення.

Формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях у вигляді двокритеріальної математичної моделі оптимізації, що складається з двох цільових функцій. Це відповідає компромісному рішенню щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи у якості вихідних даних топологію транспортної мережі, яку представлено графовою структурою великої розмірності.

Розроблений метод виділення єдиного рішення на множині Парето дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій при виборі оптимального плану інтермодальних перевезень.

На основі комплексу розроблених математичних моделей створено систему підтримки прийняття рішень для взаємодії із різними транспортними системами, які задіяні під час інтермодальних перевезень, та запропоновано інтегрувати її до АРМ інтермодального оператора для забезпечення узгодженої роботи усього процесу транспортування.

Ключові слова: інтермодальні перевезення, транспортна мережа, технологія транспортних перевезень, генетичний алгоритм, метод зваженої стрес-функції, автоматизоване робоче місце оператора.

АННОТАЦИЯ

Шапатина О. А. Формирование автоматизированной технологии управления интермодальными перевозками. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2020.

Диссертация посвящена вопросам формирования автоматизированной технологии интермодальных перевозок на основе разработки процедуры выбора оптимального плана мультимодальной перевозки. Предложенная технология позволит оператору осуществлять оперативное планирование перевозки с учетом возможных задержек в пунктах смены вида транспорта и на направлениях в

динамике, в зависимости от момента времени прибытия груза к данному пункту маршрута, а также определять оптимальный маршрут не только по критерию затрат, но и по критерию продолжительности перевозки.

На основе проведенного анализа организации интермодальных перевозок установлено, что данные перевозки имеют инерционный характер и множество вариантов доставки грузов, что в свою очередь может вызвать перегруженность одного или нескольких видов транспорта. С учетом этого была разработана прогнозная модель, которая позволяет адекватно прогнозировать объемы перевозок. Усовершенствована процедура определения загруженности инфраструктуры транспортной сети при организации интермодальных перевозок за счет прогнозирования объемов перевозки на основе модели ANFIS с использованием нейро-нечеткого моделирования.

Формализован технологический процесс продвижения контейнеров при интермодальных перевозках в виде двукритериальной математической модели оптимизации, состоящий из двух целевых функций, что соответствует компромиссному решению относительно срока и стоимости доставки. Это позволяет адекватно воспроизводить процесс планирования интермодальных перевозок, а также всю необходимую дополнительную информацию, используя в качестве исходных данных топологию транспортной сети, представленной графовой структурой большой размерности.

С помощью метода взвешенной стресс-функции проведено моделирование двухкритериальной математической задачи. При осуществлении планирования интермодальных перевозок был учтен многокритериальный выбор с возможностью учета степени важности каждого критерия, а также значение идеального вектора. Разработанный метод выделения единственного решения на множестве Парето позволяет учитывать приоритеты грузоотправителя при выборе оптимального плана интермодальных перевозок.

Разработана система поддержки принятия решений для взаимодействия с различными транспортными системами, которые задействованы во время интермодальных перевозок. Для практического применения разработанной автоматизированной технологии интермодальных перевозок предложено интегрировать ее в АРМ интермодального оператора для обеспечения согласованной работы всего процесса транспортировки.

Реализация автоматизированной технологии планирования интермодальных перевозок обеспечивает сокращение затрат интермодальных операторов в среднем на 8 % при условии применения ее на сложных транспортных сетях и до 50 % сокращение продолжительности перевозки по сравнению с традиционной технологией планирования. Такой показатель подтверждает целесообразность внедрения предложенной технологии в экономическом отношении.

Ключевые слова: интермодальные перевозки, транспортная сеть, технология транспортных перевозок, генетический алгоритм, метод взвешенной стресс-функции, автоматизированное рабочее место оператора.

ABSTRACT

Shapatina O. O. Formation of automated technology of intermodal transportation management. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences in Specialty 05.22.01 – Transport Systems. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to the issues of formation of automated technology of intermodal transportations via developing the selection procedure of the optimal plan of multimodal transportation. Based on the ANFIS model using neuro-fuzzy modeling, the procedure for determining the load of the transport network infrastructure in the organization of intermodal transportation by forecasting traffic volumes has been improved.

The technological process of containers traffic during intermodal transportation is formalized as a two – criteria mathematical model of optimization, which consists of two target functions. It corresponds to a compromise solution in terms of delivery time and cost and allows to reproduce adequately the process of planning the intermodal transportation, using the topology of the transport network as a source data, which is represented by a graph structure of large dimensions.

The developed method of allocating a single solution on the Pareto set allows to take into account the priorities of the shipper by using weighted stress functions while choosing the optimal plan for intermodal transportation.

Based on a set of developed mathematical models, a decision support system for interaction with various transport systems involved in intermodal transportation was created, and it was offered to integrate it into the workstation of the intermodal operator to ensure coordinated operation of the entire transportation process.

Keywords: intermodal transport, transport network, transport technology, genetic algorithm, the method of weighted stress function, automated operator's workplace.

ШАПАТІНА ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.073.235:004

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ІНТЕРМОДАЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Кравець А .Л.

Підписано до друку ”26” серпня 2020 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення 2608202003. Тираж 100 прим.

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
М. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел.+38 067-91-93-922
www.modelist.in.ua