

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОГОМАЗОВА ГАННА ЄВГЕНІВНА

УДК 656.073.73

ДИСЕРТАЦІЯ

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ
ВАГОНОПОТОКАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ**

05.22.01 – транспортні системи

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Г.Є. Богомазова

Науковий керівник

КОСТЕННИКОВ Олексій Михайлович,
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Богомазова Г.Є. Формування автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.01 – “Транспортні системи” (275 – Транспортні технології). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2019.

Дисертацію присвячено питанню формування ефективної автоматизованої технології управління вагонопотоками, яка дасть можливість диспетчерському апарату в оперативному режимі приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання об’єктів транспорту на основних залізничних напрямках, що сприятиме усуненню затримок у перевізному процесі, зокрема на “першій та останній милі”.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання удосконалення технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках шляхом впровадження автоматизованого розрахунку експлуатаційних витрат залізниці на всьому шляху просування вантажних вагонів з урахуванням ефекту “першої та останньої милі” й величини фінансового ризику, що пов’язаний з імовірністю додаткових витрат залізниці у разі виплати штрафу.

Вперше:

– формалізовано технологію процесу просування вагонопотоків на напрямках у вигляді оптимізаційної математичної моделі стохастичного програмування, цільова функція якої представляє сукупні експлуатаційні витрати, та заснована на використанні інтеграла Лебега-Стільтьеса, що враховує ефект “першої та останньої милі”. Модель також враховує можливі ризики, що виникають у процесі експлуатації вагонів;

– встановлено, що наявність кореляційної залежності, яка спостерігається між часом слідування вагонів від початкової станції маршруту до станції призначення й часом перебування місцевих вагонів на “першій та останній милі”, можна розглядати в межах єдиного імовірнісного поля на основі побудови лінійної регресійної моделі у вигляді біваріативного нормального закону розподілу з обчисленням об’єму фігури, основа якої є частиною цієї фігури і відсічена площиною під певним кутом, що дає змогу визначити величину фінансового ризику у випадку недотримання терміну доставки вантажів.

Удосконалено:

– процедуру визначення завантаженості залізничної інфраструктури за рахунок прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі використання нейронної мережі;

– структуру та комплекс функціональних задач Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями української залізниці (АСК ВП УЗ-Є) у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР) диспетчерського персоналу для централізованого керування рухом на залізничних напрямках, що базується на автоматизованій технології управління вагонопотоками, в умовах недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури всіх учасників перевезення.

Практичні результати роботи полягають у тому, що розроблено технологію автоматизованого управління вагонопотоками на основних напрямках перевезення, яка дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання об’єктів залізничного транспорту з мінімальними експлуатаційними витратами та усуненням затримок у перевізному процесі. Сформована процедура оптимального управління параметрами перевезення враховує ефект “першої та останньої милі”, а також імовірність виникнення фінансових ризиків при просуванні вагонопотоку у випадку недотримання терміну доставки вантажів. Завдяки ефективній організації процесів перевезень у відповідних ланках просування вагонопотоків скорочуються витрати

залізниці на перевезення вантажів приблизно на 10 % у порівнянні з існуючою методикою визначення фактичної собівартості перевезень вантажів.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 26 наукових праць, з яких: 12 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, та 1 стаття у виданнях інших держав (дев'ять статей включені до міжнародних наукометричних баз, три з них включені до бази Scopus); 12 праць апробаційного характеру; одна додаткова праця.

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

Перший розділ присвячено аналізу статистичних даних щодо перевезення вантажів залізницею. За останні 10 років обсяги перевезення вантажів знизились на 35 %, при цьому проявляється спад вантажоперевезень з кожним роком у середньому на 4,5 %. На фоні таких показників спостерігається завантаженість інфраструктури на певних напрямках, особливо при прямованні вагонопотоків до портів та західних кордонів України, що призводить до прострочення термінів доставки вантажів.

Основні труднощі, що виникають під час організації перевезення вантажів, спричинені нестачею технічно справного як вантажного, так і тягового рухомого складу у встановлені терміни, у зв'язку з чим виникає ефект “першої милі”. Аналіз елементів обігу вагона показав, що найбільший час витрачається при перебуванні рухомого складу на станції вивантаження. Експериментальні дослідження довели, що майже у 70 % випадків спостерігається перевищення нормативного часу перебування на станції призначення, тобто виникає ефект “останньої милі”.

Аналіз наукових робіт та дослідження планових і фактичних показників роботи залізничного транспорту довели, що існує значна розбіжність між цими показниками. Це свідчить про необхідність більш достовірного підходу до прогнозування.

У другому розділі сформовано модель прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі штучних нейронних мереж. Прогнозування реалізоване за допомогою повнозв'язного багатошарового персептрона Румельхарта з прямим поширенням. В якості вхідних значень були використані статистичні дані про обсяги перевезень вантажів. Для навчальної вибірки було відведено 90 % значень, а для контрольної – 10 %. На виході нейрона отримано прогнозні значення обсягів перевезення вантажів.

Перевірку на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення зерна та продуктів перемолу проведено за допомогою використання коефіцієнту розбіжності прогнозу, що запропонований Г.Тейлом. Якість та надійність прогнозної нейромережевої моделі визначено через значення *MAPE*, що склало 5,56 %. Це свідчить про високу точність прогнозування.

Завдяки використанню запропонованого методу прогнозування, розраховано необхідну кількість вагонів конкретного типу відповідно до прогнозних обсягів перевезення певних вантажів та удосконалено процедуру визначення завантаженості залізничної інфраструктури. Результати моделювання можуть бути враховані при розробці оптимізаційної математичної моделі управління вагонопотоками.

З цією метою у третьому розділі формалізовано технологічний процес просування вагонопотоків на напрямках з урахуванням ефекту “першої та останньої милі”, де різко змінюється вартість перевезення, тобто, нарахування штрафів на залізницю у зв'язку із простроченням терміну доставки вантажу, у вигляді оптимізаційної математичної моделі з можливістю визначення величини фінансових ризиків. Цільова функція моделі представляє сукупні експлуатаційні витрати та заснована на використанні інтеграла Лебега-Стілтєса зі змінною верхньою границею часу перебування вагонів на “першій та останній милі”, що відтворює природу невизначеності на цих етапах перевізного процесу. Тобто час є змінною величиною, якою можна управляти. Таким чином, отримано модель стохастичного програмування.

За результатами статистичних даних визначено величину коефіцієнта лінійної кореляції $\rho=+0,2429$ між часом знаходження вагонів на шляху прямування та їх перебуванням на “першій та останній милі”, що дало підстави розглянути їх в межах єдиного імовірнісного поля. З цією метою побудовано лінійну регресійну модель у вигляді біваріативного нормального закону розподілу, яка дає можливість більш точно визначити імовірність несвоєчасного прибуття вагонів до пункту призначення і, відповідно, величину фінансового ризику, що пов’язаний із можливістю грошових втрат залізниці у разі виплати штрафу. Для визначення імовірності розраховано об’єм фігури, яка є частиною куполоподібної гауссівської поверхні, якою представлена функція щільності даного біваріативного нормального закону розподілу. У такому разі необхідно обчислювати об’єм фігури, основа якої не є прямокутником зі сторонами, що паралельні до координатних осей, а є частиною цієї фігури, що відсічена площиною під певним кутом.

Наявність мінімуму цільової функції свідчить про можливість формування процедури оптимального управління параметрами перевезення. Таким чином, сформована модель носить універсальний характер та в умовах наявності зворотного зв’язку дозволяє управляти перевізним процесом з найменшими експлуатаційними витратами залізниці. Крім того, модель ураховує витрати, що пов’язані з ризиками перевезення вантажу, які можуть складати кілька десятків відсотків від повної величини вартості.

Визначений підхід щодо пошуку оптимального рішення організації роботи вантажних вагонів є основою формування автоматизованої технології управління вагонопотоками.

У четвертому розділі сформовано автоматизовану технологію управління вагонопотоками, яку запропоновано реалізувати у вигляді системи підтримки прийняття рішень диспетчерського апарату. СППР інтегрується до автоматизованого робочого місця єдиного диспетчера на напрямку (АРМ ДНЦ - Є), що підключено до АСК ВП УЗ-Є.

Запропонована технологія передбачає, що єдиний диспетчер буде відповідати за вагонопотік на певному напрямку в ув'язці зі станціями навантаження та вивантаження. Перехід до нової системи централізованого управління перевізним процесом на напрямку зменшує кількість передач поїзда від диспетчера до диспетчера.

Впровадження технології оптимального управління перевезеннями дозволяє зменшити експлуатаційні витрати приблизно на 10 % у порівнянні з витратами, що розраховуються за існуючою методикою визначення фактичної собівартості перевезень вантажів за базовий період.

Для прозорості діяльності залізничної галузі в умовах недискримінаційного доступу всіх учасників перевезення удосконалено структуру та комплекс додаткових задач АСК ВП УЗ-Є, що передбачають: взаємодію залізниці із власниками вантажних вагонів за умови добровільної участі, рівних умов експлуатації вантажних вагонів, юридичної та економічної рівності; допуск до залізничної інфраструктури приватної тяги; створення логістичного оператора для надання якісних й економічно привабливих послуг вантажовідправникам та підвищення конкурентоспроможності залізниці.

Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному напрямку надало можливість отримати 54,16 млн грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології управління вагонопотоками.

Ключові слова: управління вагонопотоками, залізничні напрямки, перша та остання милі, інтеграл Лебега-Стільтєса, експлуатаційні витрати, функція ризику.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Данько М.І., Богомазова Г.Є. Комплексна оцінка доцільності організації маршрутних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 102. С. 31–39.

2. Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Дослідження доцільності використання логістичної технології “прикордонний сухий порт” в умовах прикордонної перевантажувальної станції. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. Вип. 124. С. 142–147.

3. Богомазова Г.Є. Удосконалення методів визначення ефективності маршрутизації перевезень з урахуванням сучасних вимог. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 105–110.

4. Лаврухін О.В., Блиндюк В.С., Богомазова Г.Є., Киман А.М., Тофан М.О., Розумович Р.Б. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 12–17.

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

5. Богомазова Г.Є. Проблема вибору раціонального варіанту організації вагонопотоків. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2011. Вип. 1/3 (49). С. 33–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.

6. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів всіх форм власності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 4. С. 48–55.

7. Продащук С.М., Богомазова Г.Є., Пурій Р.А. Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень. *Збірник наукових*

праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. Вип. 164. С. 161–169.

8. Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Скуб'як А.В. Визначення ефективності використання швидкісних перевезень на мережі залізниць. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 165. С. 5–11.

9. Butko T., Prodashchuk S., Bogomazova G., Shelekhan G., Prodashchuk M., Purii R. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 3, № 3 (87). P. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185 (видання індексується у базі Scopus).

10. Продащук С.М., Шаповал Г.В., Богомазова Г.Є., Продащук М.В. Дослідження розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 172. С. 13–20.

11. Костенніков О.М., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Нікішин Д.В., Панкратов М.В. Перспективи підвищення ефективності функціонування залізничної пасажирської галузі швидкісних перевезень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 173 (додаток). С. 209–216.

12. Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prohorov V., Bogomazova G. Formation of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 1, № 3 (97). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується у базі Scopus).

Публікації у наукових виданнях інших держав:

13. 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 у базі Scopus).

Праці апробаційного характеру:

14. Богомазова Г.Є. Удосконалення технології перевезення масових вантажів залізницями України в умовах ринку транспортних послуг. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України*: тези доповідей на 4-й міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (сmt Коктебель, 2–7 червня 2008 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 22. Спеціальний випуск. С. 48.

15. Богомазова Г.Є. Особливості переміщення масових вантажів залізничним транспортом на основі побудови логістичного ланцюга. *Логістика промислових регіонів*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Донецьк–Маріуполь, 26–28 травня 2010 р.). Донецьк: ДААТ, 2010. С. 279–282.

16. Богомазова Г.Є. Критерії доцільності перевезення вантажів маршрутними відправками. *Проблеми економіки и управління на железнодорожном транспорте*: матеріали VIII междунар. науч.-практич. конф. (АР Крым, Судак, 8–11 октября 2013 г.). Киев: ГЭТУТ, 2013. С. 285–286.

17. Лаврухін О.В., Богомазова Г.Є. Удосконалення технології організації вагонопотоків з місць масового навантаження на основі оптимізаційної моделі. *Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий*: тезиси 3-й междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.). Днепропетровск: ДНУЖТ, 2014. С. 57–58.

18. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Обґрунтування доцільності удосконалення перевезень масових вантажів залізницями України. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148–149.

19. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Удосконалення інтелектуальної технології управління вантажним вагонним парком різної форми власності. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць

Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 127–128.

20. Богомазова Г.Є. Формування технології оптимального управління парком вантажних вагонів різної форми власності. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 195–197.

21. Лаврухін О.В., Богомазова Г.Є. Підвищення функціонування залізничних вантажних перевезень. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference*. (Radom, Republic of Poland, 27–28 december, 2017). Radom: Isdevnieciba «Baltija Publishing», 2017. P. 152–155.

22. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення функціонування залізничного транспорту шляхом прогнозування обсягів вантажних перевезень. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24–26 квітня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 142–143.

23. Мкртичян Д.І., Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Формалізація технології управління вантажним вагонним парком. *Технології та інфраструктура транспорту*: міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14–16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 212–213.

24. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення організаційно-технологічного процесу використання вантажних вагонів. *Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland: International Multidisciplinary Conference*. (Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October 2018). Wolomin, 2018. Vol. 5. P. 105–107.

25. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення технології раціонального використання вантажного рухомого складу. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та

виступів учасників 31-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 24–26 жовтня 2018 р.) Харків: УкрДУЗТ. 2018. № 4 (додаток). С. 66–67.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

26. Богомазова Г.Є. Глава 11. Тенденції розвитку технологій управління вагоно- і поїздопотоками в міжнародному сполученні територією України. *Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів усіх форм власності при здійсненні міжнародних перевезень: монографія* / Г.Є. Богомазова. Харків, 2016. С. 236–247.

ABSTRACT

Bogomazova G.Ye. Formation of Automated Wagon Traffic Control Technology on Railway Directions. – Qualification scientific work – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (Ph.D. – Doctor of Philosophy) in Specialty 05.22.01 – Transport Systems (275 – Transport Technologies). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The thesis deals with the issue of formation of the efficient automated wagon traffic control technology, fostering the traffic controllers to take reasonable informed decisions in the operational mode on the rational usage of transport objects on the main railway directions, which will enable to eliminate delays in the transportation process, in particular on the “first and last mile”.

The scientific novelty of the thesis consists in the first time solution for the scientific problem of improving the wagon traffic control technology on railway directions by introducing the automated calculation of operating costs of the railway throughout the freight wagons route, taking into account the effect of the “first and last mile” and the proportion of financial risk associated with the probability of railway additional losses in case of fine payment.

For the first time:

– the technology of wagon traffic process on directions was formalized in the form of an optimization mathematical model of stochastic programming, the target function of which represents total operating costs and is based on the use of the Lebesgue-Stieltjes integral, taking into account the effect of the “first and last mile”. The model also takes into account the possible risks arising from the wagon operation;

– it has been determined that the correlation dependence between the time of wagons traffic from the initial station of the route to the destination station and the time of local wagons stay on the “first and last mile” can be considered within a

single probabilistic field based on the construction of a linear regression model in the form of a bivariate normal distribution law with the calculation of the volume of the figure, the basis of which is a part of this figure and is cut off by an area at a certain angle, which enables to determine the proportion of the financial risk in case of non-compliance with the freight delivery terms.

The following has been improved:

– the procedure to determine the load capacity of the railway infrastructure by forecasting the volume of freight transportation based on the use of the neural network;

– the structure and complex of functional tasks of the Unified Automated Control System for Freight Transportation of Ukrainian Railways (ACS FT UZ) in the form of Decision Support System (DSS) of the traffic controllers for centralized traffic control on railway directions based on the automated wagon traffic control with the non-discriminatory access to the railway infrastructure for all carriers.

The practical value of the work consists in developing the technology of automated wagon traffic control on the main transportation directions, which enables to take informed reasonable decisions concerning the rational use of railway transport objects with minimal operating costs and eliminating delays in the transportation process. The suggested procedure for optimal transportation parameters management takes into account the effect of the “first and last mile”, as well as the probability of financial risks in the wagons traffic in case of non-compliance with the terms of freight delivery. Due to the efficient organization of transportation processes at the corresponding divisions of wagon traffic, the freight cost of the railway is reduced by approximately 10% compared to the current methodology of determining the actual cost of freight.

The content of the thesis was revealed in 26 scientific publications, including: 12 research articles in professional journals, approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, one article published abroad (nine articles are included in international scientometric bases, three of them are in Scopus); 12 publications of discussion character; one additional publication.

The introduction contains the grounded topicality of the chosen theme, stated aim, objectives, object and subject of the research, the link of the research with the scientific themes and programs, the described scientific novelty and practical value of the thesis, its general features.

The first chapter deals with the analysis of the statistical data concerning railway freight transportation. For the last decade, the volume of freight has reduced by 35% with an average annual freight transportation decrease of 4.5%. In the midst of such indicators, there is the infrastructure overload on certain directions, especially wagon traffic to the ports and Western borders of Ukraine. This leads to delays in freight delivery.

The main difficulties arising during freight transportation organization are caused by the shortage of technically fully operational wagons as well as tractive rolling stock in due time. This leads to the “first mile” effect. The analysis of the elements of wagon operation has shown that the majority of time is spent when the rolling stock is at the unloading station. The experimental studies have proven that in almost 70% of cases there is an excess of the normative time of stay at the destination station, that is, there is the “last mile” effect.

The analysis of scientific works and research of the planned and actual performance data of rail transport has proven the existence of a significant discrepancy between these indicators. This requires a more reliable approach to forecasting.

The second chapter describes the model for forecasting freight transportation volumes on the basis of artificial neural networks. Forecasting realizes with the help of the fully connected multi-layer Rumelhart perceptron with the direct distribution. The statistical data were used as the input data about the freight volumes. For the training sample, 90% of the amounts were allocated, and for the control – 10%. At the neuron output, the forecast amounts of weight transportation volumes have been received.

The adequacy verification of the suggested neural network to forecast the transportation volumes of grain and ground products was carried out with the usage

of the forecast divergence coefficient proposed by H. Theil. The quality and reliability of the forecasting neural network model is determined by the *MAPE* value of 5.56 %. This indicates high accuracy of forecasting.

The use of the suggested forecasting method allowed calculating the required number of wagons of a specific type in accordance with the forecast volumes of transportation of certain freights. The procedure for determining the load capacity of the railway infrastructure has been improved. The modeling results can be taken into account when developing an optimization mathematical model of the wagon traffic control.

For this purpose, in the third chapter, the technological process of wagon traffic on directions has been formalized with regard to the effect of the “first and last mile”, where the cost of transportation dramatically changes, that is, fines imposed on the railway in connection with non-compliance with the delivery terms. This has been done in the form of an optimization mathematical model with the possibility to determine the financial risks. The target function of the model represents the total operating costs and is based on the use of the Lebesgue-Stieltjes integral with the variable upper boundary of the time when wagons stay on the “first and last mile”, which reflects the nature of uncertainty at these stages of the transportation process. That is, time is a variable that can be controlled. Thus, a stochastic programming model has been obtained.

According to the results of statistical data, the value of the linear correlation coefficient has been determined $\rho=+0,2429$ between the time wagons are on route and the time they stay at the “first and last mile”, which enables to consider them within a single probabilistic field. To this end, a linear regression model has been constructed in the form of a bivariative normal distribution law, which allows to more accurately determine the probability of delayed wagons arrival at the point of destination and, accordingly, the value of the financial risk associated with the possibility of monetary losses of the railway in case of paying a fine. To determine the probability, the volume of the figure has been calculated, this figure being a part of the dome-shaped Gaussian surface, which represents the density function of this

bivariate normal distribution law. In this case, it is necessary to calculate the volume of the figure, the basis of which is not a rectangle with sides parallel to the coordinate axes, but a part of this figure cut off by an area at a certain angle.

The presence of the minimum of the target function indicates the possibility of forming a procedure for optimal control of transportation parameters. Thus, the formed model is universal and with the feedback provided it enable to control the transportation process with the least operating costs of the railway. In addition, the model takes into account the costs associated with freight transportation risks, which can amount to several dozens of percent of the full value of the cost.

The determined approach to the search for the optimal solution for the organization of wagons operation is the basis to form the automated wagon traffic control technology.

In the fourth chapter, the automated wagon traffic control technology has been formed, which is proposed for implementation as a decision taking support system for the traffic controllers. The DSS is integrated into the automated workplace of a single traffic controller on direction (AW STCD), connected to the ACS FT UZ.

The proposed technology assumes that the single traffic controller will be responsible for the wagon traffic on a certain direction in conjunction with the loading and unloading stations. The transition to a new system of the centralized transport process control on direction reduces the number of train transfers from one controller to another.

The implementation of the technology of optimal transportation control allows reducing the operating costs by approximately 10% compared to the costs calculated with the current methodology of determining the actual cost of freight transportation in the base period.

For the transparency of the railway industry activity in the conditions of the non-discriminatory access for all transport users, the structure and complex of additional tasks of the ACS FT UZ have been improved, which include: interaction of the railway with the wagon owners subject to voluntary participation, equal conditions for wagons operation, legal and economic equality; access of the private

traction to the railway infrastructure; introduction of a logistics operator to provide high-quality and economically attractive services to shippers and to increase the railway competitiveness.

Measuring the economic effect with the increasing total on a given direction allowed obtaining UAH 54.16 million for the fifth year of implementing the suggested automated wagon traffic control technology.

Keywords: wagon traffic control, railway directions, first and last mile, Lebesgue-Stieltjes integral, operating costs, risk function.

List of candidate's publications

References:

1. Danko M.I., Bogomazova G.Ye. Kompleksna otsinka dotsilnosti orhanizatsii marshrutnykh perevezen. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. 2009. Vyp. 102. P. 31–39.

2. Baulina H.S., Bogomazova G.Ye. Doslidzhennia dotsilnosti vykorystannia lohistychnoi tekhnolohii “prykordonnyi sukhyi port” v umovakh prykordonnoi perevantazhuvalnoi stantsii. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. 2011. Vyp. 124. P. 142–147.

3. Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia metodiv vyznachennia efektyvnosti marshrutyzatsii perevezen z urakhuvanniam suchasnykh vymoh. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. 2013. Vyp. 137. P. 105–110.

4. Lavrukhin O.V., Blyndiuk V.S., Bogomazova G.Ye., Kyman A.M., Tofan M.O., Rozumovych R.B. Udoskonalennia tekhnolohii operatyvnoho planuvannia vantazhnoi roboty pry vzaiemodii vlasnykiv rukhomoho skladu iz zaliznytseiu Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*. 2015. Vyp. 156. P. 12–17.

Publicatuons in the Ukrainian journals included into the international scientometric databases:

5. Bogomazova G.Ye. Problema vyboru ratsionalnogo variantu orhanizatsii vahonopotokiv. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2011. Vyp. 1/3 (49). P. 33–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.

6. Lavrukhin O.V., Baulina H.S., Bogomazova G.Ye. Naukovi pidkhody do vdoskonalennia tekhnolohii ekspluatatsii vantazhnykh vahoniv vsikh form vlasnosti. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*. 2015. № 4. P. 48–55.

7. Prodashchuk S.M., Bogomazova G.Ye., Purii R.A. Nova kontseptsiiia taryfnoi polityky dlia vnutrishnykh zaliznychnykh vantazhnykh perevezen. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2016. Vyp. 164. P. 161–169.

8. Baulina H.S., Bogomazova G.Ye., Skubiak A.V. Vyznachennia efektyvnosti vykorystannia shvydkisnykh perevezen na merezhi zaliznyts. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2016. Vyp. 165. P. 5–11.

9. Butko T., Prodashchuk S., Bogomazova G., Shelekhan G., Prodashchuk M., Purii R. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 3, № 3 (87). P. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185 (*видання індексується у бази Scopus*).

10. Prodashchuk S.M., Shapoval H.V., Bogomazova G.Ye., Prodashchuk M.V. Doslidzhennia rozpodilu navantazhuvalno-rozvantazhuvalnykh resursiv pry vykonanni vantazhnykh operatsii. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2017. Vyp. 172. P. 13–20.

11. Kostiennikov O.M., Baulina H.S., Bogomazova G.Ye., Nikishyn D.V., Pankratov M.V. Perspektyvy pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia zaliznychnoi pasazhyrskoi haluzi shvydkisnykh perevezen. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu*. 2017. Vyp. 173 (dodatok). P. 209–216.

12. Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prohorov V., Bogomazova G. Formation of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 1, № 3 (97). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується у бази Scopus).

Publications in scientific journals of other states:

13. 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 у бази Scopus).

Articles which demonstrate approval of the thesis materials:

14. Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia tekhnolohii perevezennia masovykh vantazhiv zaliznytsiamy Ukrainy v umovakh rynku transportnykh posluh. *Problemy mizhnarodnykh transportnykh korydoriv ta yedynoi transportnoi systemy Ukrainy: tezy dopovidei na 4-y mizhnar. nauk.-prakt. konf. Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*. (smt Koktebel, 2–7 chervnia 2008 r.). Kharkiv: UkrDAZT, 2008. Vyp. 22. Spetsialnyi vypusk. P. 48.

15. Bogomazova G.Ye. Osoblyvosti peremishchennia masovykh vantazhiv zaliznychnym transportom na osnovi pobudovy lohistychnoho lantsiuha. *Lohistyka promyslovykh rehioniv: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Donetsk–Mariupol, 26–28 travnia 2010 r.)*. Donetsk: DAAT, 2010. P. 279–282.

16. Bogomazova G.Ye. Kryterii dotsilnosti perevezennia vantazhiv marshrutnyimi vidpravkamy. *Problemy ekonomiky i upravleniia na zheleznodorozhnom transporte: materialy VIII mezhdunar. nauch.-praktych. konf. (AR Krym, Sudak, 8–11 oktiabria 2013 g.)*. Kyev: HETUT, 2013. P. 285–286.

17. Lavrukhin O.V., Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia tekhnolohii orhanizatsii vahonopotokiv z mists masovoho navantazhennia na osnovi optymizatsiinoi modeli. *Perspektivy vzaimodeystviya zheleznyih dorog i promyishlennyih predpriaty: tezy 3-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*

(Dnepropetrovsk, 27–28 fevralya 2014 g.). Dnepropetrovsk: DNUZhT, 2014. P. 57–58.

18. Lavrukhin O.V., Baulina H.S., Bogomazova G.Ye. Obgruntuvannia dotsilnosti udoskonalennia perevezen masovykh vantazhiv zaliznytsiamy Ukrainy. *Rozvytok naukovoï ta innovatsiinoï diialnosti na transporti: tezy dopovidei 77-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu.* (Kharkiv, 21–23 kvitnia 2015 r.). Kharkiv: UkrDAZT, 2015. Vyp. 151. P. 148–149.

19. Lavrukhin O.V., Baulina H.S., Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia intelektualnoi tekhnolohii upravlinnia vantazhnym vahonnym parkom riznoi formy vlasnosti. *Rozvytok naukovoï ta innovatsiinoï diialnosti na transporti: tezy dopovidei 78-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf. Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu.* (Kharkiv, 26–28 kvitnia 2016 r.). Kharkiv: UkrDUZT, 2016. Vyp. 160 (dodatok). P. 127–128.

20. Bogomazova G.Ye. Formuvannia tekhnolohii optymального upravlinnia parkom vantazhnykh vahoniv riznoi formy vlasnosti. *Rozvytok naukovoï ta innovatsiinoï diialnosti na transporti: tezy dopovidei 79-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf.* (Kharkiv, 25 – 27 kvitnia 2017 r.). Kharkiv: UkrDUZT, 2017. Vyp. 169 (dodatok). P. 195–197.

21. Lavrukhin O.V., Bogomazova G.Ye. Pidvyshchennia funktsionuvannia zaliznychnykh vantazhnykh perevezen. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference.* (Radom, Republic of Poland, 27–28 december, 2017). Radom: Isdevnieciba «Baltija Publishing», 2017. P. 152–155.

22. Kostiennikov O.M., Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia funktsionuvannia zaliznychnoho transportu shliakhom prohnozuvannia obsiahiv vantazhnykh perevezen. *Rozvytok naukovoï ta innovatsiinoï diialnosti na transporti: tezy dopovidei 80-yi Mizhnar. nauk.-tekhn. konf.* (Kharkiv, 24–26 kvitnia 2018 r.). Kharkiv: UkrDUZT, 2018. Vyp. 177. P. 142–143.

23. Mkrtychian D.I., Kostiennikov O.M., Bogomazova G.Ye. Formalizatsiia tekhnolohii upravlinnia vantazhnym vahonnym parkom. *Tekhnolohii ta infrastruktura transportu: mizhnar. nauk.-tekhn. konf.* (Kharkiv, 14–16 travnia 2018 r.). Kharkiv: UkrDUZT, 2018. P. 212–213.

24. Kostiennikov O.M., Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia orhanizatsiino-tekhnolohichnoho protsesu vykorystannia vantazhnykh vahoniv. *Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland: International Multidisciplinary Conference.* (Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October 2018). Wolomin, 2018. Vol. 5. P. 105–107.

25. Kostiennikov O.M., Bogomazova G.Ye. Udoskonalennia tekhnolohii ratsionalnoho vykorystannia vantazhnoho rukhomoho skladu. *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti: tezy stendovykh dopovidei ta vystupiv uchasnykiv 31-yi mizhnar. nauk.-prakt. konf.* (Kharkiv, 24–26 zhovtnia 2018 r.) Kharkiv: UkrDUZT. 2018. № 4 (dodatok). P. 66–67.

Articles which additionally represent scientific results of the thesis:

26. Bogomazova G.Ye. Hlava 11. Tendentsii rozvytku tekhnolohii upravlinnia vahono- i poizdopotokamy v mizhnarodnomu spoluchenni terytoriiu Ukrainy. *Naukovi pidkhody do vdoskonalennia tekhnolohii ekspluatatsii vantazhnykh vahoniv usikh form vlasnosti pry zdiisnenni mizhnarodnykh perevezen: monohrafiia / G.Ie. Bogomazova.* Kharkiv, 2016. P. 236–247.

ЗМІСТ

Вступ	25
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УМОВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ	33
1.1 Аналіз техніко-експлуатаційних показників вантажних перевезень України	33
1.2 Визначення напрямку наукового дослідження	42
1.3 Аналіз умов функціонування залізничного транспорту в різних країнах світу	50
1.4 Аналіз наукових досліджень в сфері перевезення вантажів залізницями різних держав	58
1.5 Висновки до розділу 1	64
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	66
2.1 Дослідження методів прогнозування	66
2.2 Виявлення структури часового ряду обсягів перевезення вантажів залізницями України	78
2.3 Розробка моделі прогнозування обсягів перевезення вантажів та перевірка результатів прогнозування на точність	81
2.4 Удосконалення процедури визначення завантаженості залізничної інфраструктури	90
2.5 Висновки до розділу 2	95
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ВАГНОПОТОКАМИ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ НАПРЯМКАХ ПЕРЕВЕЗЕННЯ	97
3.1 Підходи до удосконалення процесу доставки вантажів залізничним транспортном	97
3.2 Формування удосконаленої технології взаємодії залізничного транспорту із клієнтами АТ “Укрзалізниця”	103

3.3 Формалізація технологічного процесу перевезення вантажів у вигляді математичної моделі	115
3.5 Моделювання технології управління процесом перевезення вантажів	129
3.4 Висновки до розділу 3	132
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВАГОНОПОТОКАМИ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ	134
4.1 Загальні умови функціонування автоматизованої системи управління вантажними перевезеннями на українській залізниці	134
4.2 Формування вимог до системи підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу при управлінні вагонопотоками на залізничних напрямках	139
4.3 Удосконалення структури взаємовідносин учасників перевізного процесу та комплексу додаткових задач АСК ВП УЗ-Є	143
4.4 Визначення економічної доцільності запропонованої технології на залізничному напрямку	151
4.5 Висновки до розділу 4	162
ВИСНОВКИ	164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	167
Додаток А Розподіл парку вантажних вагонів за їх приналежністю	182
Додаток Б Результати розрахунків визначення необхідної кількості рухомого складу у залежності від прогнозних обсягів перевезення вантажів	184
Додаток В Програмний комплекс для визначення собівартості пропуску вагонопотоків по залізничній мережі України та розрахунок собівартості при заданих умовах перевезення	190
Додаток Г Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	195
Додаток Д Акти впровадження	201

ВСТУП

Актуальність теми. Сьогодні стають все більш очевидними вияви застарілої форми управління ресурсами залізниці, що не відповідає актуальним тенденціям світового транспортного ринку і призводить до зниження рівня конкурентоспроможності залізничної галузі. За останні 5 років спостерігається тенденція до скорочення обсягів перевезення вантажів залізничним транспортом з 387 млн т у 2014 р. до 322,3 млн т у 2018 р., збільшується обіг вагона, підвищується їх простій в очікуванні локомотивів. Дослідження елементів обігу вантажних вагонів доводить, що більше ніж у 50 % випадків вагони простоюють на початкових та кінцевих станціях маршруту, тобто на “першій та останній милі”. Однією з основних проблем роботи залізничного транспорту є незадовільний стан вантажного рухомого складу та тягових ресурсів. У зв’язку з чим, усе частіше відбувається прострочення термінів доставки вантажу, що призводить до фінансових ризиків у вигляді виплати штрафу.

Основними аспектами Стратегії розвитку ПАТ “Укрзалізниця” 2017 – 2021 роки є виконання термінів доставки вантажів та прискорення обігу вагонів, удосконалення системи управління, підвищення ефективності управління рухом, збільшення гнучкості, прозорості та швидкості прийняття рішень диспетчерським персоналом, зменшення операційних витрат. На сьогоднішній день управління перевезеннями здійснюється на рівні регіональних філій залізниць, дирекцій та станцій, тобто состави передаються від одного диспетчера до іншого, що ускладнює експлуатаційну роботу. Перехід від регіональних принципів управління перевізним процесом до організації руху поїздів на напрямках значної довжини передбачено Директивами ЄС. Тому актуальною задачею є формування автоматизованої технології управління вагонопотоками на основних напрямках в ув’язці із роботою станцій відправлення та призначення вантажу, яка дасть змогу диспетчерському апарату залізниці в оперативному режимі приймати швидкі

раціональні рішення щодо усунення затримок у перевізному процесі при мінімальних експлуатаційних витратах в умовах невизначеності.

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), Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони (Угоду ратифіковано із заявою Законом від 16.09.2014 р. № 1678-VII), Стратегії розвитку ПАТ “Укрзалізниця” 2017–2021 роки (опубліковано 25.05.2017 року на сайті ПАТ “Укрзалізниця”), а також науково-дослідних робіт за темами, у яких автор брала безпосередню участь як виконавець: “Розробка Єдиного технологічного процесу роботи під'їзної колії Закритого акціонерного товариства Донецьксталь – металургійний завод та станції примикання Донецьк ДП Донецька залізниця” (ДР №0108U003761); “Розробка місцевих технічних умов навантаження та розміщення залізородних окатишів і щебеню на відкритому рухомому складі, їх узгодження та затвердження у Статутному територіально-галузевому об'єднанні “Південна залізниця”” (ДР № 0109U006261); “Разработка предложений по повышению эффективности использования грузовых вагонов различной формы собственности в новых условиях” (ДР № 0110U004890); “Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях” (ДР № 0115U000275).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є формування ефективної автоматизованої технології управління вагонопотоками, яка дасть можливість диспетчерському апарату в оперативному режимі приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання об'єктів транспорту на основних залізничних напрямках, що сприятиме усуненню затримок у перевізному процесі, зокрема на “першій та останній милі”.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких задач

дослідження:

- провести аналіз статистичних даних щодо перевезення вантажів залізницею;
- сформулювати модель прогнозування обсягів перевезення вантажів для визначення завантаженості залізничної інфраструктури на напрямках;
- формалізувати технологічний процес просування вагонопотоків на напрямках з урахуванням ефекту “першої та останньої милі” у вигляді оптимізаційної математичної моделі з можливістю визначення величини фінансових ризиків;
- дослідити залежності між часом слідування вагонів від початкової станції маршруту до станції призначення й часом перебування місцевих вагонів на “першій та останній милі” для визначення імовірності несвоєчасної доставки вантажу;
- розробити автоматизовану технологію управління вагонопотоками на залізничних напрямках, яку доцільно реалізувати у вигляді системи підтримки прийняття рішень (СППР) диспетчерського апарату;
- удосконалити структуру та комплекс функціональних задач Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями української залізниці (АСК ВП УЗ-Є) в умовах недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури всіх учасників перевезення;
- визначити економічну доцільність від впровадження автоматизованої технології управління перевізним процесом на напрямку.

Об’єкт дослідження – процес просування вагонопотоків на полігоні значної довжини.

Предмет дослідження – технологія управління вагонопотоками на залізничних напрямках.

Методи дослідження. Виконанні дослідження базуються на використанні: методу математичної статистики для проведення аналізу основних експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту; методу штучних нейронних мереж для реалізації задачі прогнозування обсягів

перевезення вантажів; інтеграла Лебега-Стільтєса для відтворення природи невизначеності часу перебування вагонів на “першій та останній милі”; методу лінійної регресії у вигляді біваріативного нормального закону розподілу для визначення величини фінансового ризику у випадку недотримання терміну доставки вантажів; методу прийняття рішень, що заснований на функції ризику, для визначення можливих фінансових втрат залізниці у процесі просування вагонопотоку.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання удосконалення технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках шляхом впровадження автоматизованого розрахунку експлуатаційних витрат залізниці на всьому шляху просування вантажних вагонів з урахуванням ефекту “першої та останньої милі” й величини фінансового ризику, що пов’язаний з імовірністю додаткових втрат залізниці у разі виплати штрафу.

Вперше:

– формалізовано технологію процесу просування вагонопотоків на напрямках у вигляді оптимізаційної математичної моделі стохастичного програмування, цільова функція якої представляє сукупні експлуатаційні витрати, та заснована на використанні інтеграла Лебега-Стільтєса, що враховує ефект “першої та останньої милі”. Модель також враховує можливі ризики, що виникають у процесі експлуатації вагонів;

– встановлено, що наявність кореляційної залежності, яка спостерігається між часом слідування вагонів від початкової станції маршруту до станції призначення й часом перебування місцевих вагонів на “першій та останній милі”, можна розглядати в межах єдиного імовірнісного поля на основі побудови лінійної регресійної моделі у вигляді біваріативного нормального закону розподілу з обчисленням об’єму фігури, основа якої є частиною цієї фігури і відсічена площиною під певним кутом, що дає змогу визначити величину фінансового ризику у випадку недотримання терміну доставки вантажів.

Удосконалено:

– процедуру визначення завантаженості залізничної інфраструктури за рахунок прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі використання нейронної мережі;

– структуру та комплекс функціональних задач АСК ВП УЗ-Є у вигляді системи підтримки прийняття рішень диспетчерського персоналу для централізованого керування рухом на залізничних напрямках, що базується на автоматизованій технології управління вагонопотоками, в умовах недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури всіх учасників перевезення.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають у такому: розроблено технологію автоматизованого управління вагонопотоками на основних напрямках перевезення, яка дає змогу приймати обґрунтовані рішення щодо раціонального використання об'єктів залізничного транспорту з мінімальними експлуатаційними витратами та усуненням затримок у перевізному процесі. Сформована процедура оптимального управління параметрами перевезення враховує ефект “першої та останньої милі”, а також імовірність виникнення фінансових ризиків при просуванні вагонопотоку у випадку недотримання терміну доставки вантажів. Завдяки ефективній організації процесів перевезень у відповідних ланках просування вагонопотоків скорочуються витрати залізниці на перевезення вантажів приблизно на 10 % у порівнянні з існуючою методикою визначення фактичної собівартості перевезень вантажів.

Запропонована технологія на основі оптимізаційної моделі надає можливість в автоматизованому режимі управляти вагонопотоками завдяки її впровадженню до системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці єдиного диспетчера на напрямку (АРМ ДНЦ-Є). А також більш точно визначати імовірність несвоєчасного прибуття вагонів до пункту призначення і, відповідно, величину фінансового ризику, що пов'язаний із можливістю грошових втрат залізниці у разі виплати штрафу.

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес Регіональної філії “Південна залізниця” АТ “Укрзалізниця” та у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін “Вантажні перевезення”, “Транспортно-експедиторська діяльність”, “Методи і форми управлінської діяльності”, що наведені в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати роботи отримані автором особисто та проводились в Українському державному університеті залізничного транспорту. У роботах, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у статті [1] було оцінено маршрутизацію перевезень комплексно в ув'язці з організацією вагонопотоків при немаршрутних перевезеннях; у [2] досліджено час простою вагонів в очікуванні перевантажувальної операції на прикордонних станціях, що призводить до затримок у процесі перевезення; в [4, 9, 21, 22, 23] запропоновано процедуру розподілу вагонів на залізничному полігоні відповідно до прогнозованого рівня обсягів перевезення вантажів; у [6, 17, 18] запропоновано раціональне переміщення вагонів на основі визначення мінімального значення сумарних експлуатаційних витрат залізниці, що залежать від кількості вагонів у складі поїзда та їх форми власності; шляхи удосконалення методів тарифної політики у розрізі собівартості перевезення вантажів залізничним транспортом подано в роботі [7]; у статтях [8, 11] проведені дослідження щодо впливу пасажирських перевезень на пропускну спроможність залізничної інфраструктури при перевезенні вантажів; для зменшення витрат, що виникають від перебування вагонів під вантажними операціями, в роботах [10, 25] розроблено раціональну процедуру розподілу вантажно-розвантажувальних ресурсів для усунення непродуктивних простоїв вагонів під вантажними операціями; у статті [12] формалізовано технологію управління вагонопотоками на залізничних напрямках у вигляді оптимізаційної математичної моделі стохастичного програмування процесу просування вантажних вагонів, що враховує ефект

“першої та останньої милі”, а також можливі ризики, що виникають у процесі експлуатації вагонів; з метою підвищення конкурентоспроможності українських залізниць на світовому транспортному ринку та вирішення задачі щодо прискороного переходу вагонами стиків залізниць колій 1520/1435 мм у міжнародних залізничних маршрутах у роботі [13] запропоновано більш ефективне використання ресурсів завдяки бімодальній технології вантажоперевезень; у працях [19, 24] запропоновано технічне рішення, що дає змогу ефективно вирішувати управлінські завдання шляхом інтегрування системи підтримки прийняття рішень на відповідні автоматизовані робочі місця оперативного персоналу залізничного транспорту.

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

– 4-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України” (смт Коктебель, 2–7 червня 2008 р.);

– міжнародній науково-практичній конференції “Логістика промислових регіонів” (Донецьк – Маріуполь, 26–28 травня 2010 р.);

– VIII международной научно-практической конференции “Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте” (АР Крым, Судак, 8–11 октября 2013 г.);

– 3-й международной научно-практической конференции “Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий” (г. Днепропетровск, 27.02–28.02.2014 г.);

– 77-й, 78-й, 79-й, 80-й Міжнародній науково-технічній конференції “Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті” (м. Харків, 21–23 квітня 2015 р., 26–28 квітня 2016 р., 25–27 квітня 2017 р., 24–26 квітня 2018 р.);

– International research and practice conference “Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences” (Poland, Radom, 27–28 December, 2017);

– міжнародній науково-технічній конференції “Технології та інфраструктура транспорту” (м. Харків, 14–16 травня 2018 р.);

– International Multidisciplinary Conference “Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland” (Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October, 2018);

– 31-й міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті” (м. Харків, 24–26 жовтня 2018 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 26 наукових праць, з яких: 12 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, та 1 стаття у виданнях інших держав (дев'ять статей включені до міжнародних наукометричних баз, три з них включені до бази Scopus); 12 праць апробаційного характеру; одна додаткова праця.

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

Повний обсяг дисертації складає 204 сторінки, з яких обсяг основного тексту 139 сторінок, 33 рисунка за текстом, 6 таблиць, з яких 1 таблиця і 1 рисунок на 3 окремих сторінках, список використаних джерел із 130 найменувань і 5 додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Данько М.І., Богомазова Г.Є. Комплексна оцінка доцільності організації маршрутних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 102. С. 31–39.
2. Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Дослідження доцільності використання логістичної технології “прикордонний сухий порт” в умовах прикордонної перевантажувальної станції. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. Вип. 124. С. 142–147.
3. Богомазова Г.Є. Удосконалення методів визначення ефективності маршрутизації перевезень з урахуванням сучасних вимог. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 105–110.
4. Лаврухін О.В., Блиндюк В.С., Богомазова Г.Є., Киман А.М., Тофан М.О., Розумович Р.Б. Удосконалення технології оперативного планування вантажної роботи при взаємодії власників рухомого складу із залізницею України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 12–17.
5. Богомазова Г.Є. Проблема вибору раціонального варіанту організації вагонопотоків. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2011. Вип. 1/3 (49). С. 33–35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.
6. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів всіх форм власності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 4. С. 48–55.
7. Продащук С.М., Богомазова Г.Є., Пурій Р.А. Нова концепція тарифної політики для внутрішніх залізничних вантажних перевезень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 164. С. 161–169.

8. Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Скуб'як А.В. Визначення ефективності використання швидкісних перевезень на мережі залізниць. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 165. С. 5–11.

9. Butko T., Prodashchuk S., Bogomazova G., Shelekhan G., Prodashchuk M., Purii R. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 3, № 3 (87). P. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185 (видання індексується у базі Scopus).

10. Продащук С.М., Шаповал Г.В., Богомазова Г.Є., Продащук М.В. Дослідження розподілу навантажувально-розвантажувальних ресурсів при виконанні вантажних операцій. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 172. С. 13–20.

11. Костенніков О.М., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Нікішин Д.В., Панкратов М.В. Перспективи підвищення ефективності функціонування залізничної пасажирської галузі швидкісних перевезень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 173 (додаток). С. 209–216.

12. Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prohorov V., Bogomazova G. Formation of an automated technology of cargo transportation control on the direction. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 1, № 3(97). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується у базі Scopus).

13. 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 у базі Scopus).

14. Богомазова Г.Є. Удосконалення технології перевезення масових вантажів залізницями України в умовах ринку транспортних послуг. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи*

України: тези доповідей на 4-й міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (сmt Коктебель, 2–7 червня 2008 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 22. Спеціальний випуск. С. 48.

15. Богомазова Г.Є. Особливості переміщення масових вантажів залізничним транспортом на основі побудови логістичного ланцюга. *Логістика промислових регіонів*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Донецьк–Маріуполь, 26–28 травня 2010 р.). Донецьк: ДААТ, 2010. С. 279–282.

16. Богомазова Г.Є. Критерії доцільності перевезення вантажів маршрутними відправками. *Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті*: матеріали VIII міжнарод. науч.-практич. конф. (АР Крим, Судак, 8–11 жовтня 2013 г.). Київ: ГЭТУТ, 2013. С. 285–286.

17. Лаврухін О.В., Богомазова Г.Є. Удосконалення технології організації вагонопотоків з місць масового навантаження на основі оптимізаційної моделі. *Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий*: тези доповідей 3-й міжнарод. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 лютого 2014 г.). Днепропетровск: ДНУЖТ, 2014. С. 57–58.

18. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Обґрунтування доцільності удосконалення перевезень масових вантажів залізницями України. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148–149.

19. Лаврухін О.В., Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є. Удосконалення інтелектуальної технології управління вантажним вагонним парком різної форми власності. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 127–128.

20. Богомазова Г.Є. Формування технології оптимального управління парком вантажних вагонів різної форми власності. *Розвиток наукової та*

інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 195–197.

21. Лаврухін О.В., Богомазова Г.Є. Підвищення функціонування залізничних вантажних перевезень. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference*. (Radom, Republic of Poland, 27–28 december, 2017). Radom: Isdevnieciba «Baltija Publishing», 2017. P. 152–155.

22. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення функціонування залізничного транспорту шляхом прогнозування обсягів вантажних перевезень. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24–26 квітня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 142–143.

23. Мкртичян Д.І., Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Формалізація технології управління вантажним вагонним парком. *Технології та інфраструктура транспорту*: міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14–16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 212–213.

24. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення організаційно-технологічного процесу використання вантажних вагонів. *Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland: International Multidisciplinary Conference*. (Wolomin, Republic of Poland, 19–20 October 2018). Wolomin, 2018. Vol. 5. P. 105–107.

25. Костенніков О.М., Богомазова Г.Є. Удосконалення технології раціонального використання вантажного рухомого складу. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 31-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 24–26 жовтня 2018 р.) Харків: УкрДУЗТ. 2018. № 4 (додаток). С. 66–67.

26. Богомазова Г.Є. Глава 11. Тенденції розвитку технологій управління вагоно- і поїздопотоками в міжнародному сполученні територією України. *Наукові підходи до вдосконалення технології експлуатації вантажних вагонів*

усіх форм власності при здійсненні міжнародних перевезень: монографія / Г.Є. Богомазова. Харків, 2016. С. 236–247.

27. Державна служба статистики України. Київ, 1998–2019. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (дата звернення 25.01.2019).

28. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». Київ, 2012. URL: http://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/general_information/indicators_of_transit (дата звернення 25.01.2019).

29. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. Москва, 1997. 112 с.

30. Время перемен. Как железная дорога пережила год и чего ждать в следующем. Главный информационно-аналитический центр. Rail Инсайдер. № 4 деабрь. Киев, 2018. 47 с.

31. Довідник основних показників роботи Регіональних філій ПАТ «Українська залізниця» (2002-2017 роки) / ПАТ «Укрзалізниця» Управління статистики. Київ, 2018. 39 с.

32. Сколько всего локомотивов у «Укрзалізнички» // Центр транспортных стратегий. URL: https://cfts.org.ua/infographics/skolko_vsego_lokomotivov_u_ukrzaliznytsi. (дата звернення 03.12.2018).

33. Грузопотоки железных дорог Украины – 2017 // Центр транспортных стратегий. URL: https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki_zheleznykh_dorog_ukrainy_2017. (дата звернення 03.12.2018).

34. Кто и сколько покупает украинского зерна: инфографика // Ліга Бізнес. URL: <https://biz.liga.net/uaexport/prodovolstvie/novosti/kto-i-skolko-rokupaet-ukrainskogo-zerna-infografika>. (дата звернення 25.01.2019).

35. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони: Угоду ратифіковано із заявою

Законом від 16.09.2014 № 1678-VII / *Офіційний вісник України*. 2014 р. № 75, том 1. С. 83. Ст. 2125.

36. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р / Кабінет міністрів України. *Офіційний вісник України*. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.

37. Bold moves needed to secure modal share. Materials company McKinsey. *Railway Gezette International*. London, 2014. № 9. P. 74-80.

38. Директива Ради 91/440/ЄЕС від 29 липня 1991 р. про розвиток залізниць Співтовариства. / Рада європейських співтовариств. *Офіційний вісник ЄС*. 1991. L 237, 24 серпня 1991 р. С. 25–28.

39. Буянова В.К., Сметанин А.И., Архангельский Е.В. Система организации вагонопотоков. Москва, 1988. 223 с.

40. Про затвердження та введення в дію Інструктивних вказівок з організації вагонопотоків на залізницях України: Наказ Укрзалізниці від 29 грудня 2004 р. № 1028 – ЦЗ/ Державна адміністрація залізничного транспорту України. К.: ТОВ «Швидкий рух», 2005. 100 с.

41. Козаченко Д., Верлан А., Санницький Н. Розвиток конкурентного середовища на ринку залізничних перевезень. *Українська залізниця*. 2016. № 9 (39). С. 46–50.

42. DB NETZE // Deutsche Bahn AG. URL: <https://fahrweg.dbnetze.com/fahrweg-de/kunden/betrieb/netzleitzentrale-1393396>. (дата звернення 23.01.2019).

43. SNCF Réseau // SNCF. URL: <https://www.sncf.com/en/network-expertise/rail-network/sncf-reseau/network-access>. (дата звернення 23.01.2019).

44. Марценюк Л.В. Огляд досвіду реформування провідних залізниць світу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2013. Вип. 1 (43). С. 63–81.

45. Лимар Н.М. Зарубіжний досвід реформування залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2012. № 37. С.148–152.
46. Харитонов А.В. Методы оперативного управления вагонопотоками на полигоне дороги: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Москва, 2005. 27 с.
47. Акулиничев ВМ. Организация вагонопотоков: учебник. Москва: Транспорт, 1979. 223 с.
48. Акулиничев В.М., Кирьянова О.С., Боровой Н.Е. Организация вагонопотоков и маршрутизация перевозок. Москва, 1970. 319 с.
49. Буянова В.К., Сметанин А.И., Архангельский Е.В. Система организации вагонопотоков. Москва, 1988. 223 с.
50. Грунтов П.С., Дьяков Ю.В., Макаровичкин А.М. и др. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учебник для вузов / под ред. П. С. Грунтова. Москва, 1994. 543 с.
51. Сотников И.Б. Эксплуатация железных дорог (в примерах и задачах): учебное пособие для вузов и техникумов ж.д. транспорта. 4-е изд. перераб и доп. Москва, 1984. 224 с.
52. Эксплуатация железных дорог: грузовая работа, организация движения и станции /под ред. В.В. Повороженко, В.М. Акулиничева. Москва, 1982. 382 с.
53. Боровой Н.Е. Маршрутизация перевозок грузов. Москва, 1978. 215 с.
54. Аветикян А.А. Потенциал транзитности вагонопотоков. Москва, 1981. 303 с.
55. Верховых Г.В., Осьмини А.Т., Бойкова Л.А., Никифорова О.А. Эффективность формирования отправительских маршрутов на федеральных путях ОАО “РЖД”. *Экономика железных дорог*. 2006. № 9. С. 78–83.
56. Осьминин А.Т., Грошев Г.М., Никифорова О.А. Оценка эффективности маршрутизации с мест погрузки. *Железнодорожный транспорт*. 2008. № 1. С. 62–65.

57. Данько М. І., Ломотько Д.В., Запара В.М., Кулешов В.В. Формування вимог до технології взаємодії залізничних адміністрацій і власників рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 124. С. 5–11.

58. Кулешов В. В. Удосконалення інформаційної технології роботи з вагонами різних форм власності з метою оптимізації пропускної спроможності залізничних транспортних систем. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2011. Вип. 124. С. 83–90.

59. Данько Н. И., Ломотько Д.В., Кулешов В.В. Разработка организационно-технологической модели управления парком грузовых вагонов разной формы собственности. *Инновационный транспорт*. 2012. Ноябрь №4(5). С. 8–13.

60. Ковалев В.И, Елисеев С.Ю., Осминин А.Т. и др Управление парками вагонов стран СНГ и Балтии на железных дорогах России : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / под ред. В.И. Ковалева, С.Ю. Елисеева, Е. Ю. Мокейчева. Москва, 2006. 245 с.

61. Бутько Т. В., Шандер О.Е. Формалізація процесу управління парком вантажних вагонів операторських компаній. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вип. 2/3 (68). С. 55–58.

62. Лаврухін О. В., Доценко Ю.В., Долгополов П.В. Формування оптимізаційної моделі розрахунку оперативного плану поїзної роботи залізничної станції. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 30–34.

63. Бутько Т. В., Лаврухін О.В. Удосконалення технології організації перевезень в умовах невизначеності на основі раціонального використання засобів транспорту. *Збірник наукових праць ДонІТЗ*. 2006. Вип. 8. С. 21–29.

64. Мироненко В. К., Кацман М. Д., Мацюк В. І. Підвищення ефективності бойового застосування підрозділів ліквідації наслідків надзвичайної ситуації при залізничних перевезеннях небезпечних вантажів з урахуванням економічного аспекту. *Системи озброєння і військова техніка*:

науковий журнал. Х.: Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 2015. №2(42). С. 168 – 172.

65. Кацман М. Д., Мироненко В. К., Мацюк В. І. Практичне застосування мережецентричних методів для управління реагуванням на залізничні надзвичайні ситуації. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2016. № 2(47). С. 196–199.

66. Прохорченко А. В. Формування методів управління розподілом пропускної спроможності залізничної інфраструктури в умовах недискримінаційного доступу: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2015. 412 с.

67. Жуковицкий И.В., Заец А.П. Применение спутниковых технологий для мониторинга, контроля и прогнозирования эксплуатационных характеристик железнодорожного транспорта на металлургических предприятиях. *Системные технологии*. 2014. № 4(93). С. 92–97.

68. Жуковицкий И.В., Егоров О.И. Процедура идентификации поездов с использованием информации АСК ВП УЗ Е. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 6. С. 61–66.

69. Кириченко Г.І. Інтелектуальна система управління процесом доставки вантажу. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2015. № 5. С. 3–6.

70. Кириченко А.І. Проблематика застосування інформаційних технологій в управлінні процесами доставки вантажу. *Проблеми транспорту*. 2012. С. 17–27.

71. Мироненко В. К., Мацюк В. І., Родкевич О. Г. Методика визначення вартості та «справедливої ціни» доступу до інфраструктури залізничного транспорту загального користування. *Залізничний транспорт України*. Київ, 2015. Вип. 2. С. 28–32.

72. Bobrovskiy V., Kozachenko D., Vernigora R. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport Problems*. 2014. T. 9, z. 3. P. 57–65.

73. Смехов А.А. Математические модели процессов грузовой работы. Москва. 1982. 256 с.
74. Naumov V., Nagornyi Iev., Litvinova Y. Model of multimodal transport node functioning. *Archives of Transport*. 2015. Vol. 36, iss.4. P. 43–54.
75. Lomotko D.V., Alyoshinsky E.S., Zambrybor G.G. Methodological Aspect of the Logistics Technologies Formation in Reforming Processes on the Railways. *Transportation Research Procedia*. 2016. Vol. 14. P. 2762–2766.
76. Нагорний Є.В., Огороков А.М., Переста Г.І. Дослідження розвитку системи транспортного обслуговування вантажовласників у транспортних вузлах. *Вісник дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2011. № 38. С. 58–62.
77. Котенко А.М. Управління вантажною і комерційною роботою на залізничному транспорті: підручник. Харків, 2005. Ч. 1. 388 с.
78. Альошинський Є.С., Огар О.М., Пестременко-Скрипка О.С. Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту України у системі міжнародних перевезень. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 170. С. 78–84.
79. Myronenko V., Samsonkin V., Rudkovskyi S. Mathematical Model of Rationale for Reserve Fleet of Vehicles with Uneven Demand for Transportation. *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 2017. Vol. 5, iss.5. P.238–244.
80. Губенко В.К., Хара М.В., Лямзин А.А. Методы расчета эксплуатационной готовности вагонных парков промпредприятий. *Захист металургійних машин від поломок: збірник наукових праць*. 2010. Вип. 12. С. 124–131.
81. Щербина О.В., Шибяев А.Г. Эвристический метод отбора судов для согласованной работы водного транспорта. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. № 1(73). С. 112–120.

82. Rakhmangulov A., Kolga A., Osintsev N., Stolpovskikh I., Sladkowski A. Mathematical model of optimal empty rail car distribution at railway transport nodes. *Transport Problems*. 2014. Vol. 9. Issue 3. P. 125–132.

83. Fourie C.J., Zhuwaki N.T. A modelling framework for railway infrastructure reliability analysis. *South African Journal of Industrial Engineering*. 2017. Dec. Vol 28(4). P. 150–160.

84. Aly M. H. F., Hemeda H., El-sayed M. A. Computer applications in railway operation. *Alexandria Engineering Journal*. 2016. № 55. P. 1573–1580.

85. Calado M., Barros J., Nobre E., Prata B. A mixed integer programming approach for freight railcar distribution. *Production*. 2017. № 27. DOI: 10.1590/0103-6513.203815.

86. Butko T., Prokhorov V., Chekhunov D. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1. Iss. 3 (85). P. 55–61.

87. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений: зарубежные статистические исследования / перевод с англ. Г.А. Хомянина, А.Г. Шмидта; науч. редактирование и предисловие Е.М. Четыркина. Москва, 1971. 488 с.

88. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования в условиях рынка: учебное пособие. Невинномысск, 2006. 221 с.

89. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Москва, 1974. 405 с.

90. Камінська Н.І. Адаптивні методи у соціально-економічному прогнозуванні. *Форум молодих економістів-кібернетиків «Моделювання економіки: проблеми, тенденції, досвід»*: VII Міжнар. наук.-метод. конф. (Тернопіль, 21–22 жовтня 2016 р.). Тернопіль, 2016. С. 83–84.

91. Mazengia, D.H. Forecasting spot electricity market prices using time series models: thesis for the degree of master of science in electric power engineering. Gothenburg, Chalmers University of Technology, 2008. 89 p.

92. Ивахненко А.Г., Степашко В.С. Помехоустойчивость моделирования. Киев, 1985. 216 с.
93. Стрижов В.В., Крымова Е.А. Методы выбора регрессионных моделей. Москва, 2010. 60 с.
94. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. Москва, 1978. 413 с.
95. Панченко С.В., Бутько Т.В., Прохорченко А.В., Пархоменко Л.А. Формирование автоматизированной системы расчета пропускной способности железнодорожных сетей для продвижения грузопотоков предприятий горно-металлургического комплекса. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2016. № 2. С. 93–99.
96. Копитко В.І., Дацків Ю.О. Прогнозування обсягів вантажних перевезень залізниць в регіонах. *Збірник науково-технічних праць "Науковий вісник НЛТУ України"*. 2011. Вип. 21.10. С. 139–144.
97. Gheyas I., Smith L. A neural network approach to time – series forecasting. *Proceedings of the World Congress on Engineering*. 2009. Vol. II, July 1-3. P. 1292–1296.
98. Wang Y., Sun H., Zhu J., Zhu B. Optimization model and algorithm design for airline fleet planning in a multi-airline competitive environment. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Vol. 2015. P. 1–13.
99. Najaf P., Famili S. Application of an intelligent fuzzy regression algorithm in road freight transportation modelling. *Promet – Traffic & Transportation*. 2013. Vol. 25, No. 4. P. 311–322.
100. Morariu N., Iancu E., Vlad S. A neural network model for time – series forecasting. *Romanian Journal of Economic Forecasting*. 2009. No. 4. P. 213–223.
101. Чучуева И.А. Прогнозирование временных рядов при помощи модели экстраполяции по выборке максимального подобия. *Наука и современность*. 2010. Вып. № 1–2. С. 187–192.

102. Pradhan R., Kumar R. Forecasting exchange rate in india: an application of artificial neural network model. *Journal of Mathematics Research*. 2010. Vol. 2, No. 4. P. 111–117.

103. 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, Issue 3 (85). P. 39–45.

104. Xie Mei-Quan, Li Xia-Miao, Zhou Wen-Liang, Fu Yan-Bing. Forecasting the short – term passenger flow on high-speed railway with neural networks. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2014. Vol. 2014. P. 1–8.

105. Tortum A., Yayla N., Gokdag M. The modelling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications: An International Journal*. 2009. Vol. 36, Issue 3, April. P. 6199–6217.

106. Нагорний Є.В., Наумов В.С., Черепаха О.С. Нейромережева модель прогнозування параметрів вантажопотоку у містах. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 2 (219). С. 126–130.

107. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. Москва, 2002. 382 с.

108. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / перевод с англ. д.т.н. Н.Н. Кусеуль, к.т.н. А.Ю. Шелестова; под ред. д.т.н. Н.Н. Кусеуль. Москва, 2006. 1104 с.

109. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений, 3-е изд. стер. Москва, 2010. 176 с.

110. Malada H. R., Ivakhnenko A. G. Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling. Florida, 1994. 368 p.

111. Боровиков В.П. Программа STATISTICA для студентов и инженеров. Москва, 2001. 301 с.

112. Боровиков В.П., Ивченко Г.И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учеб. пособие. Москва, 2000. 283 с.
113. Бермант А. Ф. Краткий курс математического анализа: 2-е изд. переработанное и дополненное. Москва, 2008. 532 с.
114. Практичні рекомендації щодо складання технологічного процесу роботи вантажної станції. Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2011. 191 с.
115. Ranieri L., Digiesi S., Silvestri B., Roccotelli M. A Review of Last Mile Logistics Innovations in an Externalities Cost Reduction Vision. *Sustainability*. 2018. 10. 782. DOI: 10.3390/su10030782.
116. Bernacki D., Lis C. Statistical estimation and prediction of Annual Average Daily Traffic (AADT) on the first/last mile road sections in the Port of Szczecin. *Ekonomiczne Problemy Usług*. 2017. № 3 (128). P. 67–80.
117. Практичні рекомендації з технологічного-економічного управління експлуатаційною роботою залізниць. Київ: Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління перевезень, 2006. 54 с.
118. Merkle M., Marinescu D., Merkle M. Lebesgue-Stieltjes integral and Young's inequality. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*. 2014. № 8(1). P. 60–72.
119. Камке Э. Интеграл Лебега-Стилтьеса / под ред. проф. И.П. Натансона; пер. с нем. Г.П. Сафроновой. Москва, 1959. 329 с.
120. Levy R. Probabilistic Models in the Study of Language. November 6, 2012. 264 p.
121. Draper N., Smith H. Applied regression analysis: third edition. New York, 1998. 736 p.
122. Rose C., Smith M. D. The Multivariate Normal Distribution. *Mathematica Journal*. 1996. № 6. P. 32–37.
123. Лекции лауреатов премии Тьюринга / пер.с англ.; под ред. Р. Эшенхёрста. Москва, 1993. 560 с.

124. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. Основание информатики / под. ред. А. В. Ходулёва; перевод с англ. В.В.Походзея и А. В. Ходулёва. Москва, 1998. 703 с.

125. Про затвердження Статуту залізниць України: Постанова Кабінету Міністрів України від 6 квітня 1998 р. № 457 / Кабінет Міністрів України. Офіційний вісник України. 1998. № 14. С. 150. Ст. 548. Код акта 5167/1998.

126. Скалзуб В.В., Жуковицкий И.В., Клименко И.В., Заец А.П. Создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений в единой автоматизированной системе управления грузовыми железнодорожными перевозками Украины. *Системные технологии*. 2018. 3(116). С. 153–162.

127. Укрзалізниця продовжує роботу над створенням сучасних центрів управління рухом поїздів // Урядовий портал: єдиний веб – портал органів виконавчої влади України. URL: http://old.kmu.gov.ua/kmu/control/uk/publish/article?art_id=246210051&cat_id=248446167 (дата звернення 10.01.2019).

128. Про затвердження Методики розрахунку тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом: Наказ Міністерства інфраструктури України від 20.06.2013 р. № 418 / Міністерство інфраструктури України. Офіційний вісник України. 19.07.2013. № 52. С. 212. Ст. 1906. Код акта 67824/2013.

129. Пшінько О.М., Бараш Ю.С., Марценюк Л.В. Управління вантажними вагонами компаній – операторів в умовах реформування залізничного транспорту України: монографія. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна, 2015. 147 с.

130. Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

