

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

БОГОМАЗОВА ГАННА ЄВГЕНІВНА



УДК 656.073.73

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

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

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
Жуковицький Ігор Володимирович,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра електронних обчислювальних машин, завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент
Кириченко Ганна Іванівна,
Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра технологій транспорту та управління процесами перевезень, завідувач кафедри.

Захист відбудеться “27” червня 2019 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий “27” травня 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 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-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 прискореного 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” (сmt Коктебель, 2–7 червня 2008 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Логістика промислових регіонів” (Донецьк – Маріуполь, 26–28 травня 2010 р.); VIII міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті” (АР Крым, Судак, 8–11 октября 2013 г.); 3-й міжнародної науково-практичної конференції “Перспективи взаємодіяння залізничних дорог промислових підприємств” (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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, задачу, 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.

У **першому розділі**, відповідно до мети дисертаційного дослідження, проведено аналіз статистичних даних вантажних перевезень 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 прямуванні 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”. На сьогодні тільки 945 локомотивів перебувають в експлуатації, з яких 202 – тепловози, 743 – електровози. 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. Перешкодою на шляху переміщення експортних вантажів за умови своєчасної доставки є простій вагонів на припортових і прикордонних перевантажувальних станціях у зв'язку із завантаженістю інфраструктури на цих напрямках. Такі показники відображають незлагодженість роботи залізниці із портом та митницею. Тобто виникає ефект “останньої милі”.

Покращення результатів роботи залізниці можна досягти у разі забезпечення рівноправного доступу до користування послугами об'єктів інфраструктури залізничного транспорту всіх учасників перевезення, що передбачено Директивами ЄС. Але в Україні цей процес стримується, тому необхідним постає завдання удосконалення технології управління вагонопотоками в існуючих умовах.

Вдосконаленню управління вагонопотоками на мережі залізниць, оптимізації параметрів роботи транспортних засобів, розвитком та подальшим впровадженням інформаційних технологій у перевізний процес приділялось багато уваги в роботах таких вчених та практиків, як: А.А. Аветикян, В.М. Акулінічев, Є.С.Альошинський, Є.В. Архангельський, К.А. Бернгард, В.І. Бобровський, Т.В. Бутько, В.А. Буянов, І.І. Васильєв, П.С. Грунтов, В.К. Губенко, М.І. Данько, І.В. Жуковицький, Г.І. Кириченко, Д.М. Козаченко, А.М. Котенко, О.В. Лаврухін, Д.В. Ломотько, В.І. Мацюк, В.К. Міроненко, Є.В. Нагорний, О.М. Огар, С.В. Панченко, В.В. Повороженко, А.В. Прохорченко, В.М. Самсонкін, А.О. Смахов, І.Б. Сотніков, О.Г. Шибяєв, С.І. Fourie, М. Gokdag, А. Kolga, N. Osintsev, А. Rakhmangulov, А. Sladkowski, I. Stolpovskikh, А. Tortum, N. Yayla та інші.

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. Такий спосіб прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання. Прогнозування реалізоване за допомогою повнозв'язного багат шарового перцептрона Румельхарта з прямим поширенням, який складається з вхідного шару, двох прихованих шарів та вихідного шару. У цій мережі на прихованих шарах застосовується нелінійна функція активації сигмоїд, на вихідному – гіперболічний тангенс. 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. Результати прогнозування наведено на рисунку 1.

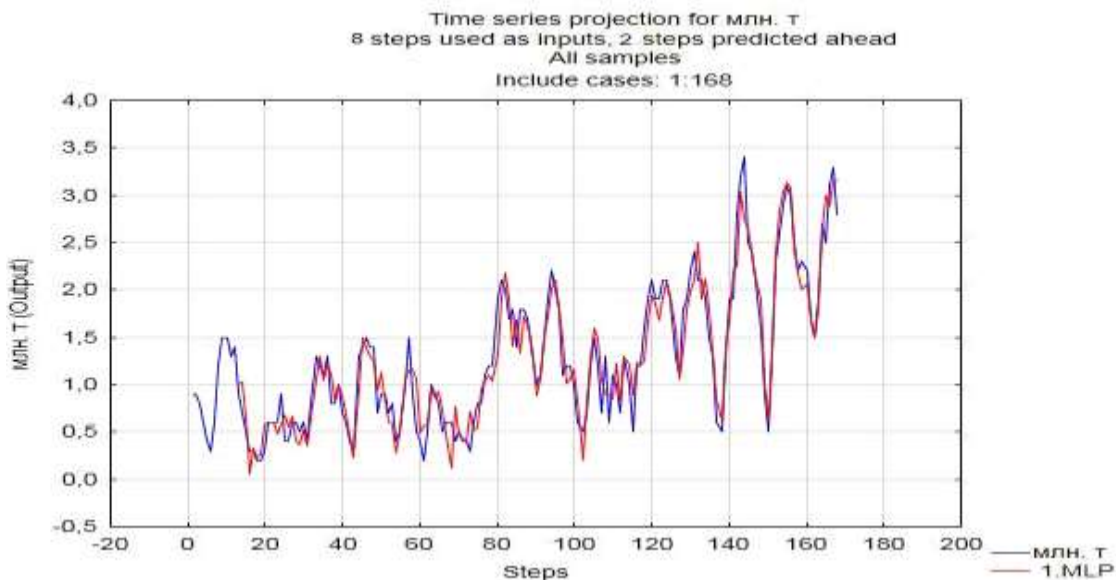


Рисунок 1 – Порівняння прогнозного ряду обсягів перевезення зерна та продуктів перемолу

Перевірку на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення зерна та продуктів перемолу проведено за допомогою використання коефіцієнта розбіжності прогнозу, що запропонований Г.Тейлом. Чим ближче значення коефіцієнта до нуля, тим кращим є збіг прогнозів з фактичними даними. Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Перевірка на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення вантажів

Період	Фактичні дані Y_t , млн. т	Прогнозні дані \hat{Y}_t , млн. т	Помилка прогнозу $Y_t - \hat{Y}_t$, млн. т	Коефіцієнт розбіжності прогнозу $k_T = \frac{\sqrt{\sum(\hat{Y}_t - Y_t)^2}}{\sqrt{\sum Y_t^2}}$
Січень 2016	1,8	1,786232	0,013768	0,007649
Лютий 2016	2,8	2,713318	0,086682	0,030958
Березень 2016	2,7	2,588141	0,111859	0,041429
Квітень 2016	2,5	2,277128	0,222872	0,089149
Травень 2016	1,7	1,618872	0,081128	0,047722
Червень 2016	1,3	1,396673	-0,096673	0,074364
Липень 2016	2,1	2,266609	-0,166609	0,079338
Серпень 2016	3,3	3,055446	0,244554	0,074107

Якість та надійність прогновної нейромережевої моделі визначено через значення *MAPE*, що склало 5,56%. Це свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що залізничний транспорт є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень.

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. Графічна інтерпретація впорядкованої множини варіантів переміщення вагонопотоків (рисунок 2) свідчить про наявність альтернативних маршрутів від станції навантаження до станції призначення та завантаженість цих станцій, що вказує на існування ефекту “першої та останньої милі”.

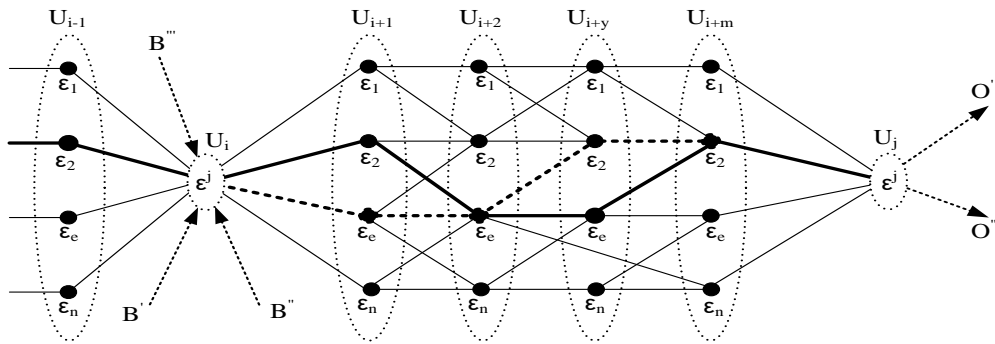


Рисунок 2 – Графічна інтерпретація упорядкованої множини варіантів переміщення вагонопотоків на напрямку

Система переміщення вагонопотоку може бути переведена із початкового стану до наступного за допомогою функції переходу S^k (послідовності оптимального керівництва на кожному k -му кроці). Функція переходу визначається оцінкою технічних, технологічних, експлуатаційних та економічних (витратних) показників $S^k \{ \epsilon(i)^k, \epsilon(i+1)^{k_{1,2,\dots,n}}, \epsilon(i+2)^{k_{1,2,\dots,n}}, \dots, \epsilon(i+m)^{k_{1,2,\dots,n}} \}$. При цьому має виконуватись умова максимізації функції цілі – економії, отриманої в результаті реалізації оптимального плану просування вагонопотоку. 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. Максимальна ефективність може бути досягнута при врахуванні вектора керуючих змінних $\{N_a, t_1, t_2\}$ та вектора змінних поточного стану системи $\{m_{\text{маг}}, m_{\text{ман}}\}$. При цьому: N_a – множина вагонів певної a -ї приналежності, ваг.; t_1 – час слідування вагонів від початкової станції маршруту до кінцевої, год; t_2 – час перебування місцевих вагонів на “першій та/або останній милі”, год; $m_{\text{маг}}, m_{\text{ман}}$ – кількість магістральних та маневрових локомотивів відповідно.

З урахуванням керуючих змінних та поточного стану системи математична модель технології управління вагонопотоками на напрямках з урахуванням можливих затримок на “першій та останній милі” з імовірністю отримання фінансових ризиків набуває вигляду

$$\begin{aligned}
C(N_a, t_1, t_2, m_{маг}, m_{ман}) = & N_a \cdot \frac{C_{нідв}}{n_{ун}} \cdot \mathfrak{G}_1(m_{маг}) + \\
& + \frac{1}{N_a} \cdot \left(\frac{C_{ст}^{відпр} \cdot \mathfrak{G}_2^{відпр}(m_{ман})}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_{\min}}^{t_2} t_{ст}^{відпр} \cdot \exp\left(-\frac{(t_{ст}^{відпр} - \overline{t_{ст}^{відпр}})^2}{2\sigma^2}\right) dt_{ст}^{відпр} + \right. \\
& \left. + \frac{C_{ст}^{призн} \cdot \mathfrak{G}_2^{призн}(m_{ман})}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_{\min}}^{t_2} t_{ст}^{призн} \cdot \exp\left(-\frac{(t_{ст}^{призн} - \overline{t_{ст}^{призн}})^2}{2\sigma^2}\right) dt_{ст}^{призн} \right) + \\
& + \frac{C_{слід}(t_1) \cdot \mathfrak{G}_3(m_{маг})}{N_a} + N_a \cdot \frac{C_{поверн}}{\bar{N}} \cdot \mathfrak{G}_4(m_{маг}) + \frac{N_a \cdot R(t_1, t_2)}{k_{зан} \cdot n_{заг}} \rightarrow \min, \quad (1)
\end{aligned}$$

де $C_{нідв}$ – питомі експлуатаційні витрати, що пов'язані із пропуском дільницею та технічних станцій вантажних вагонів відповідно до заданого напрямку, грн/ваг.; $n_{ун}$ – уніфікована кількість вагонів у складі поїзда на полігоні планування, ваг.; $\mathfrak{G}_\gamma(m_\zeta)$ – функція Хевісайда, яка враховує наявність або відсутність магістрального або маневрового локомотивів на певному технологічному процесі у вигляді

$$\mathfrak{G}_\gamma(m_\zeta) = \begin{cases} 0, & m_\zeta \leq 0, \\ 1, & m_\zeta > 0, \end{cases} \quad (2)$$

де m_ζ – кількість локомотивів ζ -го типу (магістральний або маневровий), що відповідає певному технологічному процесу; γ – індекс, що відповідає кожному елементу технологічного процесу роботи залізничної системи; $C_{ст}^{відпр}$, $C_{ст}^{призн}$ – питомі експлуатаційні витрати на станції відправлення та призначення відповідно, грн/год; σ – стандартне відхилення простою місцевих вагонів на станції; t_{\min} – мінімальний час перебування місцевих вагонів на станції, год; $t_{ст}^{відпр}$, $t_{ст}^{призн}$ – фактичний час простою місцевих вагонів на станціях відправлення та призначення відповідно, год; $C_{слід}$ – експлуатаційні витрати на шляху прямування, грн; $C_{поверн}$ – питомі експлуатаційні витрати на повернення власних порожніх вагонів на станцію приписки або іноземного вагона до міждержавного стику, грн/ваг.; \bar{N} – середня потужність струменя вагонопотоку на заданому напрямку, ваг.; $R(t_1, t_2)$ – функція фінансового ризику, що пов'язаний із можливістю грошових втрат залізниці у разі виплати штрафу за прострочення терміну доставки вантажу, грн/ваг.; $k_{зан}$ – коефіцієнт заповнення пропускнуої спроможності залізничної лінії; $n_{заг}$ – потужність існуючого технічного стану на заданому напрямку, ваг.

Перший доданок цільової функції (1) відображає витрати, що несе залізниця у зв'язку з подачею до станції навантаження необхідної кількості технічно справних вагонів у встановлений термін відповідно до заявок відправника.

Інтеграл Лебега-Стілтєса зі змінною верхньою границею часу перебування вагонів на “першій та останній милі”, що застосовується у складі другого доданка цільової функції (1), відтворює природу невизначеності на цих етапах перевізного процесу. За допомогою застосування інтеграла Лебега-Стілтєса, що відтворює стохастичність процесу, можна визначити можливий час перебування вагонів на “першій та останній милі”. Тобто час є змінною величиною, якою можна управляти на основі використання інтеграла Лебега-Стілтєса. Таким чином, отримуємо модель стохастичного програмування.

Третій доданок цільової функції (1) відображає витрати залізниці на шляху просування вагонів, а четвертий доданок враховує витрати на необхідність повернення власних порожніх вагонів на станцію приписки або іноземних вагонів до міждержавного стику.

Остання складова цільової функції (1) відображає можливі фінансові втрати залізниці у разі виникнення ефекту “першої та останньої милі” у вигляді виплати штрафу за прострочення терміну доставки вантажів. Причинами недотримання терміну доставки вантажів можуть виступати як затримки часу на t_1 та на t_2 , а так і обидві затримки одночасно. Дослідження показали, що час слідування вагонів t_1 та час t_2 підпорядковані нормальному розподілу. Крім того, між цими величинами спостерігається наявність кореляційної залежності, про що свідчить величина коефіцієнта лінійної кореляції $\rho=+0,2429$, яка дає підстави розглянути ці величини в межах єдиного імовірнісного поля. З цією метою побудовано лінійну регресійну модель у вигляді біваріативного нормального закону розподілу.

Відповідно, імовірність реалізації даного ризику залежить від значення, якого може набувати їх сума. У такому разі, для визначення імовірності розраховується об’єм фігури, яка є частиною куполоподібної гауссівської поверхні, якою представлена функція щільності даного біваріативного нормального закону розподілу. Однак для визначення імовірності в даному випадку необхідно обчислити об’єм фігури, основа якої є частиною цієї фігури, що відсічена площиною під певним кутом. Отже, формула із використанням логічного виразу у складі індикаторної функції та за допомогою нотації Айверсона має такий вигляд

$$q = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} [t_1 + t_2 > t_u] \cdot f(t_1, t_2) dt_1 dt_2, \quad (3)$$

де $f(t_1, t_2)$ – функція щільності біваріативного нормального закону розподілу; t_u – термін реалізації ризику, який пов’язаний із нормативним терміном доставки вантажу t_n таким співвідношенням: $t_u = t_n + 2$, діб. Реалізація ризику, тобто нарахування штрафів за прострочення терміну доставки вантажу, починається з другої доби перевищення нормативного терміну.

Для розрахунку був обраний напрямок перевезення при нормативному терміні доставки вантажу 8 діб, тоді термін реалізації ризику дорівнює 10 діб. На рисунку 3 наведено графічний вигляд результату моделювання імовірності реалізації ризику, яка була побудована на основі статистичних даних.

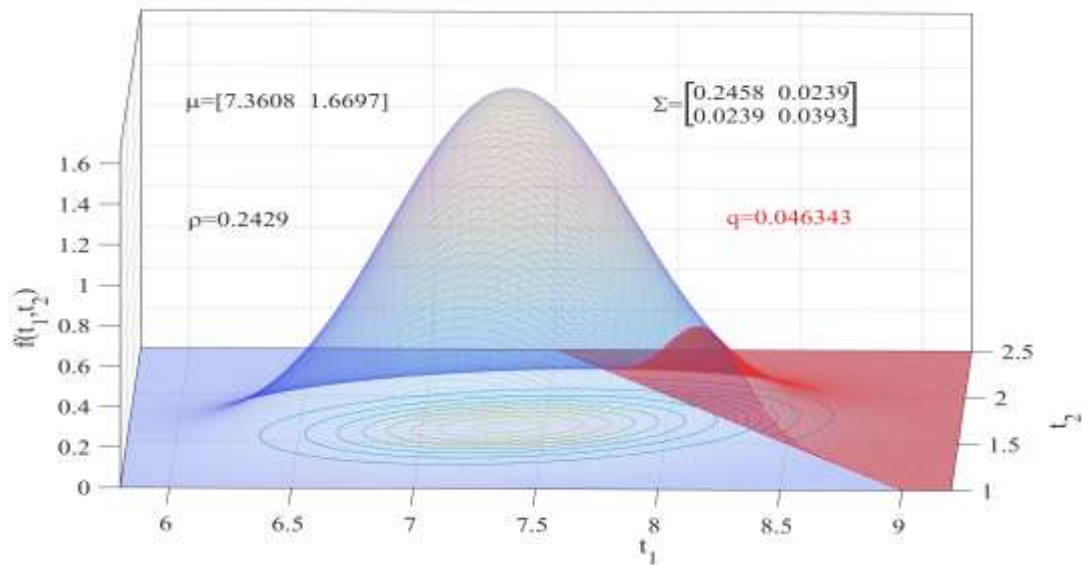


Рисунок 3 – Графічний вигляд результату моделювання імовірності реалізації ризику на основі біваріативного нормального закону розподілу

Таким чином, функція ризику із застосуванням розгорнутого запису функції щільності біваріативного нормального закону розподілу набуває вигляду

$$R(t_1, t_2) = (\bar{c} \cdot \bar{f}) \int_0^\infty \int_0^\infty \left[t_1 + t_2 > t_u \right] \frac{1}{2\pi\sigma_{t_1}\sigma_{t_2}\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left(\left(\frac{t_1-\mu_{t_1}}{\sigma_{t_1}} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{t_1-\mu_{t_1}}{\sigma_{t_1}} \right) \left(\frac{t_2-\mu_{t_2}}{\sigma_{t_2}} \right) + \left(\frac{t_2-\mu_{t_2}}{\sigma_{t_2}} \right)^2 \right)} dt_1 dt_2, \quad (4)$$

де \bar{c} – середня провізна плата за перевезення одного вагона в даному поїзді, грн/ваг.; \bar{f} – середня частка штрафу від провізної плати на даному напрямку, що визначається на основі статистичних даних; μ_{t_1} , σ_{t_1} , μ_{t_2} , σ_{t_2} – математичне очікування та середньоквадратичне відхилення імовірнісних змінних t_1 та t_2 відповідно.

Надана технологія перевезення на заданому напрямку підлягає оптимізації з обов'язковим урахуванням технологічних обмежень (5).

Графічну інтерпретацію результату моделювання наведено на рисунку 4. Наявність мінімуму цільової функції, який досягається при значеннях аргументів, що знаходяться в межах припустимих значень (рисунок 4), 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.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 1 \leq N_a \leq \frac{a_y}{q_{cm}} \quad - \text{надходження необхідної кількості вагонів} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{до пунктів навантаження;} \\
 t_1 + t_2 \leq T_{дост} \quad - \text{виконання терміну доставки вантажу;} \\
 N_{j \text{ поїзд}} \leq N_s \quad - \text{довжина вантажного поїзда не повинна перевищувати} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{довжини приймально-відправних колій станції;} \\
 \sum_s \sum_d \Pi_{наяв}^{см/дільн} \geq \Pi \quad - \text{можливість пропуску поїзда на певному напрямку;} \\
 Q_{т.лок} \geq Q_{бр.поїзда} \quad - \text{придатність локомотива для перевезення заданої} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{маси поїзда;} \\
 t_{см} \leq t_{норм}^{см} \quad - \text{час перебування вагонів на станціях не повинен} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{перевищувати нормативний час,}
 \end{array} \right. \quad (5)$$

де a_y – кількість вантажу в пункті навантаження y , т; q_{cm} – середнє статичне навантаження вагона, т/ваг.; $T_{дост}$ – термін доставки вантажу, доба; $N_{j \text{ поїзд}}$ – довжина j -го поїзда, ваг.; N_s – довжина приймально-відправних колій на s -й станції, ваг.; $\Pi_{наяв}^{см/дільн}$ – наявна пропускна спроможність s станцій та d дільниць відповідно у поїздах; Π – кількість поїздів, що задіяні при розподілі вагонів за напрямками; $Q_{т.лок}$ – розрахункова сила тяги даного локомотива, т; $Q_{бр.поїзда}$ – маса бруто поїзда, т; $t_{норм}^{см}$ – нормативний час перебування місцевих вагонів на станції, год.

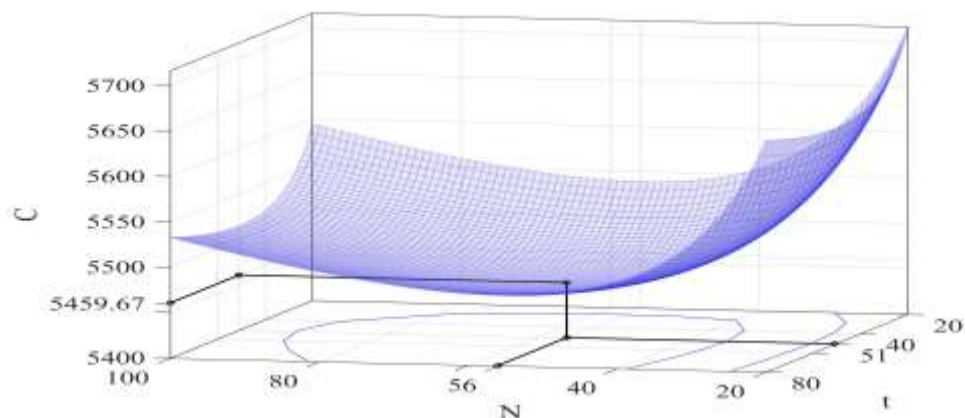


Рисунок 4 – Графічна інтерпретація результату моделювання

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 єдиної автоматизованої системи керування вантажними

перевезеннями Укрзалізниці. Удосконалену структуру СППР єдиного диспетчера на напрямку з урахуванням ефекту “першої та останньої милі”, імовірності отримання фінансового ризику та результату моделювання подано на рисунку 5.

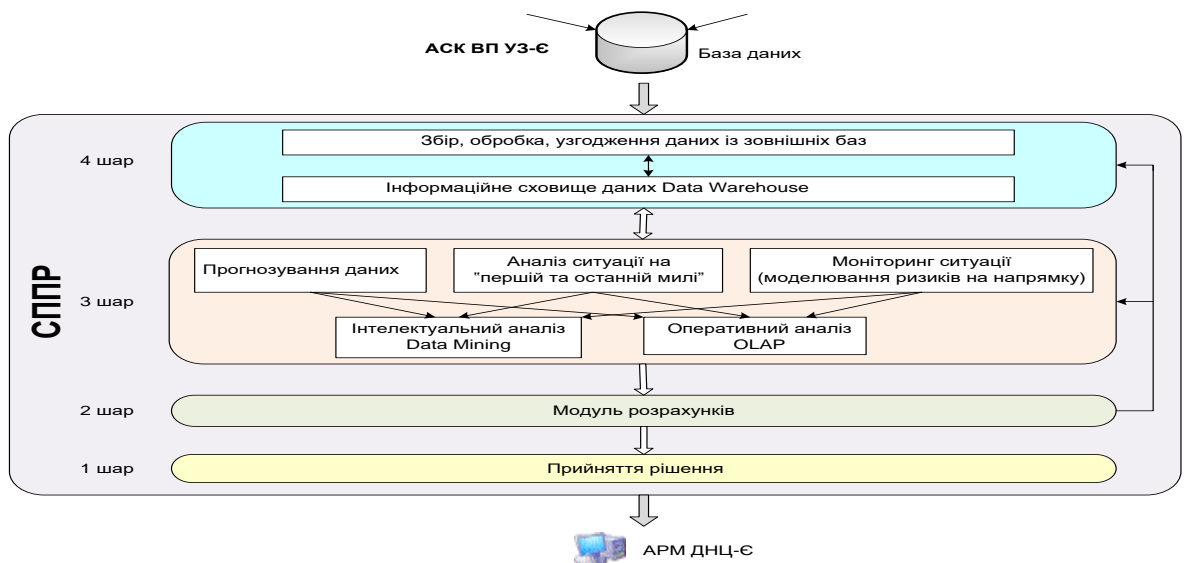


Рисунок 5 – Структура системи підтримки прийняття рішення, що реалізується на автоматизованому робочому місці єдиного диспетчера на напрямку

Запропонована технологія веде до кардинально нової автоматизованої технології диспетчерського управління. Передбачається, що єдиний диспетчер буде відповідати за вагонопотік на певному напрямку в ув'язці зі станціями навантаження та вивантаження і тим самим отримувати повну та достовірну інформацію на напрямку в автоматизованому режимі. Перехід до нової системи централізованого управління перевізним процесом на напрямку зменшує кількість передач поїзда від диспетчера до диспетчера, і залишаються лише дві ланки, що керують процесом руху: Головний центр, який координує роботу та відстежує рух поїздів на великих відстанях – від станції відправлення до станції призначення, та регіональні центри, які здійснюватимуть оперативне управління.

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. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

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 залізничного транспорту. При цьому доступ

до розподілу порожніх вагонів і тягових ресурсів та поточної інформації про інфраструктуру залізничного транспорту здійснюється в автоматизованому режимі й відкритий для всіх учасників перевезення. Укрупнену функціональну схему технології управління вантажними перевезеннями за умови недискримінації всіх учасників перевезення зображено на рисунку 6.

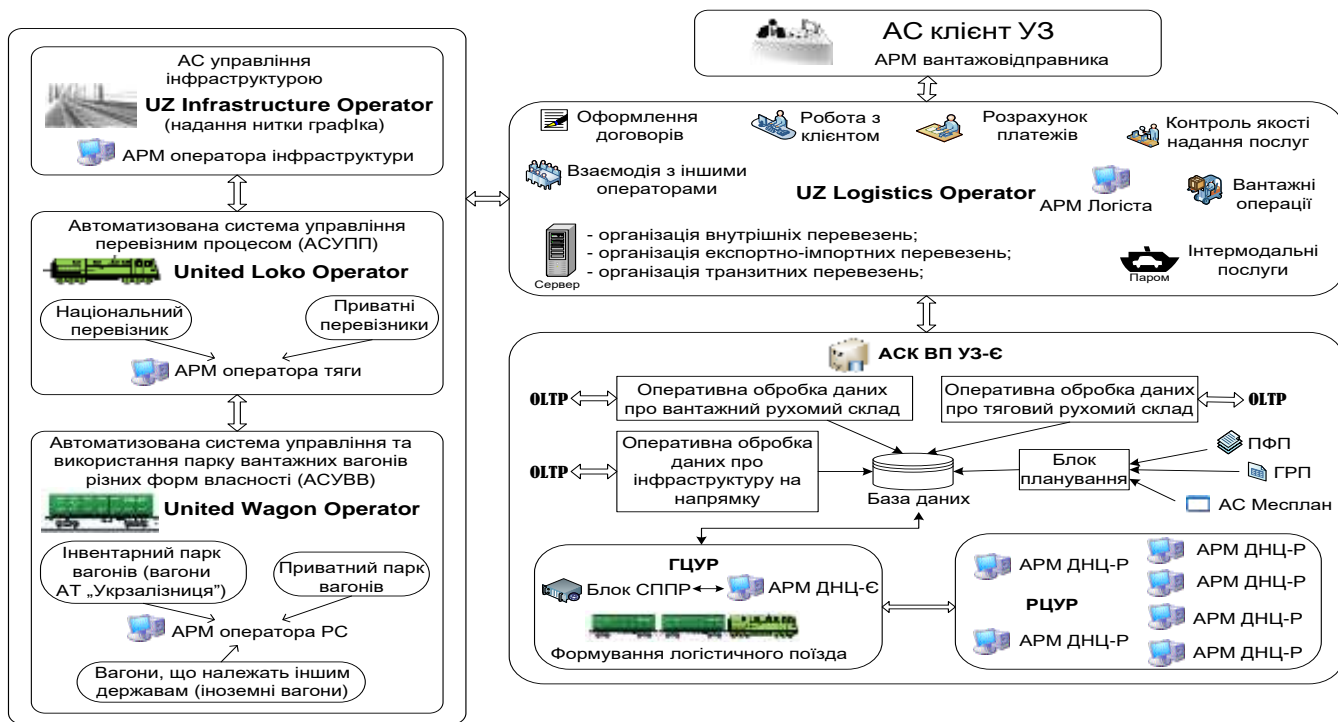


Рисунок 6 – Укрупнена функціональна схема технології управління вантажними перевезеннями в умовах недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури всіх учасників перевезення

Економічна ефективність з наростаючим підсумком від впровадження автоматизованої технології управління вагонопотоками на напрямку Золотнишине – Чорноморськ-Порт, враховуючи весь цикл роботи вантажного вагона за розрахунковий період 5 років застосування запропонованої технології, склала 54155947 грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено задачу формування ефективної автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках, яка дає можливість диспетчерському апарату приймати обґрунтовані рішення щодо усунення затримок у перевізному процесі з урахуванням “першої та останньої милі”, а також більш точно обчислити величину фінансового ризику. Основні результати та висновки полягають у наступному:

1. Аналіз статистичних даних залізничних вантажних перевезень виявив, що обсяги перевезення залізницею знижуються, незважаючи на підвищення показників вантажоперевезень на інших видах транспорту. У середньому за останні 5 років спад відбувається на 4,5 % за рік у порівнянні з попереднім роком. Обіг вагонів

збільшується. Визначено, що основними причинами погіршення вищезазначених показників є нестача вантажних вагонів і тягових ресурсів та їх незадовільний стан, а також необґрунтовані простої вагонів на станціях навантаження та вивантаження. Основним видом сполучення за обсягами перевезення є внутрішнє, на другому місці – експорт. При цьому найбільший вантажообіг припадає на експортні вантажі. Виявлено, що у разі завантаженості напрямку перевезення значно зростає як кількість затриманих поїздів, так і час затримки, що спричинений простоєм поїздів як на початковому, так і на завершальному етапі перевезення.

2. З урахуванням особливостей вхідної інформації сформовано нейромережеву модель прогнозування обсягів перевезення. Даний спосіб прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання. Якість та надійність прогнозу нейромережевої моделі визначено через значення середньої помилки прогнозу, яка склала 5,56 % від фактичних значень обсягів перевезення вантажів, що свідчить про високу точність прогнозування. Зважаючи на те, що залізничний транспорт є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. На основі прогнозного рівня обсягів перевезення вантажу визначено необхідну кількість вагонів певного типу, що будуть відповідати умовам перевезення, та завантаженість залізничних напрямків із ув'язкою станцій відправлення та призначення. Отримані дані підтверджують існування ефекту “першої та останньої милі”.

3. Для більш чіткої організації перевізного процесу формалізовано технологічний процес перевезення вантажів на залізничних напрямках у вигляді оптимізаційної математичної моделі процесу просування вагонопотоків. Цільова функція моделі представляє сукупні експлуатаційні витрати та заснована на використанні інтеграла Лебега-Стілтєса, що враховує ефект “першої та останньої милі”. Враховуючи отримані дані щодо імовірності несвоєчасного прибуття вагонів, сформована математична модель дозволяє управляти часом перебування вагонів на “першій та останній милі”, а також визначати величину можливих ризиків, що виникають у процесі експлуатації вагонів і призводять до збільшення витрат залізниці.

4. 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.

5. На основі запропонованої оптимізаційної моделі сформовано автоматизовану технологію управління вагонопотоками, що реалізується у вигляді

СППР диспетчерського апарату. СППР інтегрується до АРМ ДНЦ-Є на напрямку, що підключене до єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці. Сформована автоматизована технологія управління перевізним процесом надає інформаційну та технологічну підтримку диспетчеру для раціонального управління перевезеннями на напрямку при зменшенні витрат залізниці на транспортування вантажу в умовах невизначеності.

6. Удосконалено структуру та розроблено комплекс додаткових задач АСК ВП УЗ-Є в умовах недискримінаційного доступу до залізничної інфраструктури всіх учасників перевезення, що дало змогу забезпечити рівноправний доступ до інфраструктури, підвищити прозорість та інформативність операційної діяльності підприємств і механізмів їх управління, посилити взаємодію державного та приватного секторів, створити вільний та конкурентний ринок транспортних послуг.

7. Реалізація автоматизованої технології оптимального управління перевезеннями зменшує експлуатаційні витрати приблизно на 10 % у порівнянні з витратами, що розраховуються за існуючою методикою визначення фактичної собівартості перевезень вантажів. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні. 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.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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., Puri 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. (снт 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 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 міжнарод. 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. Мкртчян 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.

АНОТАЦІЯ

Богомазова Г.Є. Формування автоматизованої технології управління вагонопотоками на залізничних напрямках. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертацію присвячено питанню підвищення ефективності перевізного процесу на залізничному транспорті України на основі автоматизації управління вагонопотоками на залізничних напрямках. З цією метою 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-Стілтєса, що враховує ефект “першої та останньої милі”. Модель також враховує можливі ризики, що виникають у процесі експлуатації вагонів.

Сформована модель носить універсальний характер та в умовах наявності зворотного зв’язку дозволяє управляти перевізним процесом з найменшими експлуатаційними витратами залізниці. Проведені розрахунки показали зменшення витрат залізниці приблизно на 10 % у порівнянні з витратами, що розраховуються за існуючою методикою визначення фактичної собівартості перевезень вантажів. Оптимізаційна модель є основою формування автоматизованої технології управління вагонопотоками, яка реалізована у вигляді системи підтримки прийняття рішень диспетчерського апарату.

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

АННОТАЦИЯ

Богомазова А.Е. Формирование автоматизированной технологии управления вагонопотоками на железнодорожных направлениях. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте Украины на основе автоматизации управления вагонопотоками на железнодорожных направлениях. В основу работы положена задача формирования эффективной технологии организации и управления грузовыми перевозками, которая дает возможность принимать обоснованные решения по рациональному использованию объектов железнодорожного транспорта на основных направлениях и устранения задержек в перевозочном процессе. Достижимый результат при решении поставленной цели заключается в управлении существующими ресурсами с наименьшими затратами. С этой целью проведено прогнозирование объемов перевозок грузов. Исследования показали высокую точность прогнозирования по отношению к реальным значениям железнодорожной отрасли на основе аппарата искусственной нейронной сети. Качество и надежность прогнозной нейросетевой модели определены через значение средней ошибки прогноза, которая составила 5,56 % от фактических значений объемов перевозок грузов, что свидетельствует о высокой точности прогнозирования. На основании прогнозных данных определены необходимое количество вагонов конкретного типа, которые будут соответствовать условиям перевозки, и установлена загруженность железнодорожных направлений с увязкой станций отправления и назначения.

Для решения задачи управления существующими ресурсами с наименьшими затратами исследован процесс перемещения подвижного состава на направлениях, учитывающий возможные риски при перевозке грузов. Выявлены основные причины, ведущие к возникновению эффекта “первой и последней мили”, а именно отсутствие необходимого количества технически исправных грузовых вагонов и соответствующих тяговых ресурсов в установленные сроки и существенные трудности с пропуском поездов, в частности через припортовые и пограничные станции. В работе формализована технология процесса продвижения вагонопотоков на направлениях в виде оптимизационной математической модели, целевая функция которой представляет совокупные эксплуатационные расходы, и основана на использовании интеграла Лебега-Стилтьеса, учитывающего эффект “первой и последней мили”. Модель также учитывает возможные риски, возникающие в процессе эксплуатации вагонов. Сформированную оптимизационную модель целесообразно отнести к задачам стохастического программирования.

Анализ статистических данных показал, что время продвижения вагонов от начальной станции маршрута до станции назначения, а также время нахождения вагонов на “первой и последней миле” подчинены нормальному распределению. Наличие положительной корреляции между этими двумя величинами даёт основания рассматривать соответствующие параметры в рамках единого вероятностного поля. Такой подход предоставляет возможность более точно определить вероятность несвоевременного прибытия вагонов в пункт назначения и, соответственно, величину финансового риска.

В результате моделирования доказано, что существует экстремум целевой функции типа минимум, что позволяет сформировать процедуру оптимального

управления параметрами перевозки. Таким образом, сформированная модель носит универсальный характер и в условиях наличия обратной связи позволяет управлять перевозочным процессом с наименьшими эксплуатационными затратами железной дороги. Проведенные расчеты показали уменьшение расходов железной дороги приблизительно на 10 % по сравнению с расходами, которые рассчитываются по существующей методике определения фактической себестоимости перевозок грузов. Оптимизационная модель является основой формирования автоматизированной технологии управления грузовыми перевозками, которая реализована в виде системы поддержки принятия решений диспетчерского аппарата.

Ключевые слова: управление вагонопотоками, железнодорожные направления, первая и последняя миля, интеграл Лебега-Стилтьеса, эксплуатационные расходы, функция риска.

ABSTRACT

Bogomazova G.Ye. Formation of Automated Wagon Traffic Control Technology on Railway Directions. – 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, 2019.

The thesis deals with the issue of increasing the transport process efficiency on the railway transport of Ukraine on the basis of wagon traffic control automation on railway directions. For this purpose, the technology was formalized for the wagon traffic process on directions 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.

The defined model is universal, and with feedback provided it enables to control the freight process with the least operating costs of the railway. The conducted calculations have shown the decrease of the railway costs by approximately 10% compared to the costs calculated with the current methodology of determining the actual cost of freight. The optimization model is the basis for the formation of the automated wagon traffic control technology, implemented as a decision-making support system for the traffic controllers.

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

БОГОМАЗОВА ГАННА ЄВГЕНІВНА

УДК 656.073.73

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

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. Бауліна Г. С.

Підписано до друку “21” травня 2019 р.
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів
Умовн. друк.арк. 0,9. Обл.-вид.арк. 1,1
Замовлення № __. Тираж 150 прим.

Видавництво УкрДУЗТ. Свідоцтво ДК № 6100 від 21.03.2018 р.
Друкарня УкрДУЗТ: 61050, м. Харків майдан Фейєрбаха, 7