

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

КОЛІСНИК АЛІНА ВОЛОДИМИРІВНА



УДК 656.073.235:004

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ  
КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ  
ПОТОКІВ**

05.22.01 – транспортні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Бутько Тетяна Василівна**,  
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра управління експлуатаційною роботою, завідувач кафедри.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Мацюк Вячеслав Іванович**,  
Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра технологій транспорту та управління процесами перевезень, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент  
**Нестеренко Галина Іванівна**,  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра управління експлуатаційною роботою, доцент кафедри.

Захист відбудеться «01» жовтня 2020 р. об 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий «29» серпня 2020 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



А.В. Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Збільшення обсягів інтермодальних контейнерних перевезень є загальносвітовою тенденцією. Інтермодальні перевезення за участю залізниць – єдиний ринковий сегмент загальних європейських залізничних вантажоперевезень, який показав приріст в обсягах +50 %. Проте, за останні 10 років аналіз статистичних даних довів загальну тенденцію спаду обсягів залізничних перевезень вантажів як країнами Європи, так і в Україні. Обсяги вантажних перевезень територією України за цей період продемонстрували тенденцію зменшення майже на 11 %.

Основною причиною гальмування розвитку інтермодальних залізничних перевезень в Україні, що призводить і до зменшення обсягів вантажних перевезень у цілому, є неузгодженість роботи портів і залізничних термінальних станцій. У результаті цього виникають значні простой контейнерів під час їх транспортування залізницею, зокрема в Україні на залізничних термінальних і припортових станціях простой сягають близько 8 діб. Невчасна доставка товару вантажоодержувачу призводить до зменшення кількості заявок на перевезення контейнерів залізницею, що значно впливає на обсяги вантажних перевезень.

З метою підвищення конкурентоспроможності залізниць і збільшення обсягів вантажних перевезень доцільно сприяти розвитку інтермодальних контейнерних перевезень територією України. Це можливо реалізувати за рахунок розроблення та впровадження автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею, яка базується на системному підході, що враховує всі елементи системи інтермодальних перевезень, які відповідають за процес накопичення і транспортування контейнерних партій сухопутною ділянкою шляху: залізничні термінальні вантажні, сортувальні, припортові станції, порт, – в умовах випадкових контейнеропотоків, що надходять від вантажовідправників.

Ці питання закріплені в положеннях Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, у якій першочерговими завданнями проголошено забезпечення розвитку мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів для забезпечення взаємодії різних видів транспорту; гармонізацію розвитку припортової інфраструктури (залізничних підходів, автомобільних доріг) і пропускної спроможності портів.

Тому актуальним завданням є формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень, що дасть можливість усім учасникам процесу 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 Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 р. № 548-р), а також науково-дослідної роботи за темою «Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної

моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях» (ДР №0115U000275), у якій автор брала безпосередню участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності контейнерних інтермодальних перевезень шляхом формалізації та автоматизації процесів транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків.

Для досягнення вищезазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту, зокрема при перевезенні потоків контейнерів;
- проаналізувати наукові дослідження щодо удосконалення залізничних контейнерних перевезень;
- провести дослідження особливостей структури і параметрів контейнеропотоків та отримати залежності кількісних характеристик з використанням теорії випадкових потоків;
- на основі системного підходу формалізувати процес управління залізничними контейнерними інтермодальними перевезеннями як задачу стохастичного програмування для формування автоматизованої технології;
- сформулювати процедуру представлення часових характеристик контейнеропотоків і модель їх прогнозування;
- розробити процедуру оптимізації моделі оперативного управління транспортуванням контейнерів від залізничних термінальних станцій до портів;
- провести процедуру оптимізації сформованої моделі;
- удосконалити інформаційно-керуючу систему управління залізничними перевезеннями шляхом інтеграції сформованої системи підтримки прийняття рішень при транспортуванні контейнеропотоків на АРМи оперативних працівників;
- оцінити економічну ефективність розробленої автоматизованої технології транспортування контейнерів.

*Об'єкт дослідження* – процес транспортування контейнеропотоків залізничним транспортом.

*Предмет дослідження* – автоматизована технологія транспортування контейнерів.

**Методи дослідження.** При здійсненні аналізу основних кількісних і якісних показників роботи підсистеми контейнерних перевезень були застосовані методи математичної статистики та теорії ймовірностей; при побудові моделі управління залізничними контейнерними перевезеннями були використані методи системного підходу, теорії випадкових потоків, стохастичного програмування; при побудові прогнозних моделей застосовувались методи навчання нейронних мереж; при побудові кумулятивних функцій інтенсивностей контейнеропотоків були використані методи інтегрального числення; для оптимізації моделі стохастичного програмування було використано метод відпалу.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі на основі системного підходу вирішено наукове завдання з формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень з використанням теорії випадкових потоків, що дозволяє зменшити загальні експлуатаційні витрати на перевезення контейнерів.

З цією метою вперше:

- формалізовано процес накопичення контейнерних партій на термінальних станціях на основі теорії випадкових потоків як суперпозицію нестационарних потоків Пуассона та Ерланга різної кратності;
- для визначення параметрів процесу накопичення контейнерної партії певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу на залізничних терміналах отримано загальний вигляд функції оцінки ймовірності шляхом представлення процесу надходження контейнерів у вигляді нестационарних неординарних потоків із різним ступенем ергодичності;
- процес планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень був сформульований як оптимізаційна модель стохастичного програмування, яку було представлено цільовою функцією у вигляді сумарних експлуатаційних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. Результатом оптимізації даної моделі є такі елементи планування, як моменти закінчення накопичення та способи транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону (системний ефект); дана модель є основою для побудови оперативного плану транспортування контейнерних партій із заданим рівнем надійності;
- вперше для прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на залізничні термінали було розроблено модель на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання, що використовує схему представлення функцій умовної інтенсивності надходження контейнерів у вигляді нерегулярних часових рядів.

Набула подальшого розвитку система АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції систем підтримки прийняття рішень (СППР) на АРМі оперативних працівників АТ «Укрзалізниця», що реалізують автоматизовану технологію раціонального управління контейнерними перевезеннями при взаємодії з СППР інтермодального оператора.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дисертаційного дослідження, що представляють автоматизовану технологію управління транспортуванням контейнерів у складі системи інтермодальних перевезень, можуть бути використані при тактичному та оперативному плануванні роботи залізничних підсистем при взаємодії з морським транспортом.

Одержані в дисертації результати використовуються при управлінні транспортуванням контейнерів у складі системи інтермодальних перевезень на базі відділу філіалу «Центр транспортного сервісу «Ліски» акціонерного товариства «Українська залізниця», у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці фахівців зі спеціальності «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» з дисциплін «Управління експлуатаційною роботою» та «Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами», «Організація інтермодальних перевезень», курсовому та дипломному проектуванні при підготовці фахівців за освітньою програмою «Транспортні технології», а також при

проведенні занять зі слухачами інституту перепідготовки кадрів і підвищення кваліфікації при УкрДУЗТі.

Практичне використання результатів роботи підтверджено актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в такому: у роботах [2, 3, 13, 14, 17] проведено аналіз розвитку комбінованих перевезень в Україні і за кордоном і технологій, використовуваних у світі, запропоновано контрейлерну технологію, що сприяє швидкому переходу стиків колій з 1520 на 1435 мм; у роботах [4, 5, 8, 16] визначено економічний ефект від побудови контрейлерного терміналу та економічну доцільність контрейлерних перевезень шляхом порівняння вартостей виконання перевантажувальних операцій на станціях відправлення і призначення та вартості перевезення «мертвої ваги»; у роботах [22, 30] наведено розрахунки збитків від аварійних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів, запропоновано варіанти технологій при перевезенні таких вантажів у міжнародному сполученні; у роботі [31] виконано моделювання комбінованих перевезень, наведено графі станів руху вантажного модуля на станціях перевантаження та систему диференціальних рівнянь Колмогорова для графа; у роботах [6, 7, 12] запропоновано підходи до формування поїздів збільшеної маси і довжини та визначено економічну ефективність від впровадження таких перевезень; у роботах [9, 25, 26] розроблено структуру модулів інформаційно-керуючої системи щодо комбінованого поїзда; у роботі [10] проведено прогнозування тривалості руху поїзда на дільниці та оцінена точність і адекватність результатів; у роботі [11] формалізовано технологічний процес перевезення контейнерів у міжнародному сполученні та розроблено оптимізаційну модель управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі математичного апарату теорії випадкових потоків; у роботах [28, 29] запропоновано спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу різної висоти підлоги від рівня головок рейок і платформ з різною величиною міжрейкової колії.

Дослідження, висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТі.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: VII, VIII Международных научно-практических конференций «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте» (АР Крым, Судак, 11-13 октября 2012 г., 8–11 октября 2013 г.); 3-й Международной научно-практической конференции «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.); 74-й, 75-й, 76-й, 77-й, 78-й, 79-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26–28 квітня 2012 р., 24–25 квітня 2013 р., 15–17 квітня 2014 р., 21–23 квітня 2015 р., 26–28 квітня 2016 р., 25–27 квітня 2017 р., 24–26 квітня 2018 р.); 8-й, 9-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Харків 5–8 червня 2012 р., 5–7 червня 2013 р.); 10-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків 5–7 червня 2014 р.);

11-й Міжнародній науково-практичній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків 11–13 червня 2015 р.); 30-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 25–27 жовтня 2017 р.); 1-й Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець – Харків, 24-30 січня 2020 р.).

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

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковано 31 наукову працю, з яких одинадцять статей опубліковано у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (чотири з них включено до міжнародних наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus), і шістнадцять праць апробаційного характеру, чотири додаткових праці.

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

Повний обсяг тексту дисертації 195 сторінок, з яких обсяг основного тексту складає 138 сторінок друкованого тексту, 48 ілюстрацій, 4 таблиці, список використаних джерел включає 130 найменувань і 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, подано загальну характеристику роботи.

**У першому розділі** проведено аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту, зокрема при перевезенні потоків контейнерів, і виявлено негативні тенденції щодо зменшення обсягів залізничних вантажних перевезень як в Україні, так і за кордоном. У порівнянні обсягів вантажних перевезень за період з 2013 по 2018 рік в Україні спостерігається тенденція їх зменшення на 10,56 %. Зокрема залізничний транспорт знизив свої показники на 4%. Обсяг залізничних вантажних перевезень в країнах Європи за період з 2016 по 2018 року впав на 4,7%. Інтермодальні перевезення за участю залізниць є єдиним ринковим сегментом загальних європейських залізничних вантажоперевезень, що показав приріст в обсягах +50 %.

Детальний аналіз обсягів перевалки контейнерів довів значний приріст їхніх обсягів у морських портах, зокрема в Одеському. Починаючи з 2015 року спостерігається тенденція збільшення обсягів перевалки контейнерів у портах на 10-20 % за кожний рік. Статистичні дослідження довели, що часові показники обробки контейнера на залізничних термінальних вантажних станціях разом з часом непродуктивних простоїв підпорядковуються нормальному закону розподілу з такими параметрами: математичне очікування  $\mu = 181,77$  год, середньоквадратичне відхилення  $\sigma = 4093,6$  год, коефіцієнт нерівномірності  $K_n = 1,97$ . Значний час витрачається на накопичення контейнерів для відправлення їх

маршрутним прямим поїздом (приблизно 2-3 доби), а також на переробку поїзда на сортувальних станціях при перевезенні контейнерів у складі інших поїздів. На припортових станціях виникає черга для вивантаження контейнерів на термінали у зв'язку з нестачею вантажно-розвантажувальної техніки, локомотивів, а простій у терміналах в порту викликає нераціональне бронювання місць на судні, коли судноплавні лінії заявляють про більшу кількість місць, ніж може поміститись у судно. Як показали дослідження, часи перебування контейнерів на припортовій станції підпорядковується закону Ерланга 3-го порядку і мають такі параметри: інтенсивність  $\lambda = 0,005415$ , коефіцієнт Ерланга  $\kappa_e = 3$ . Отже, за рахунок непродуктивних простоїв значно збільшується час просування контейнерів у складі інтермодальних перевезень.

Закордонний і вітчизняний досвід дає приклад розвитку наукових розробок у сфері інтермодальних перевезень. Питанням удосконалення технологій інтермодальних перевезень приділяла увагу значна кількість науковців і фахівців: Н. М. Алексійчук, Є. С. Альошинский, Т. В. Бутько, М. І. Данько, Ю. М. Дьомін, А. Г. Кіріллова, А. М. Котенко, В. В. Кулешов, Д. В. Ломотько, В. І. Мацюк, В. К. Мироненко, Г. І. Музикіна, Є. В. Нагорний, С. М. Резер, П. С. Шилаєв, В. О. Шиш, Н. Ю. Шраменко, F. Russo, U. Sansone, Athanasios Ballis, John Golias, Irina Harris, Yingli Wang.

На основі проведеного аналізу закордонних і вітчизняних наукових робіт виявлено, що задачі транспортування контейнерів до порту залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень з урахуванням імовірнісної природи ключових складових цього процесу та з використанням системного підходу, який базується на створенні системного ефекту з урахуванням усіх елементів системи інтермодальних перевезень на сухопутних ділянках шляху, вирішено не повною мірою. З урахуванням випадкової природи в процесі перевезення контейнерів і мінливості транспортного ринку виникає необхідність у його формалізації, що у свою чергу може бути основою при формуванні автоматизованої технології в межах великої залізничної транспортної системи. Для вирішення цієї складної задачі першочергово слід провести роботу з прогнозування випадкових потоків і зокрема потоків контейнерів.

У другому розділі проведено дослідження особливостей структури і параметрів контейнеропотоків та отримано залежності кількісних характеристик з використанням теорії випадкових потоків.

Типову схему полігону, що відповідає сухопутній частині шляху, яку долають контейнери за допомогою залізничного транспорту в напрямку морського порту, наведено на рис. 1.



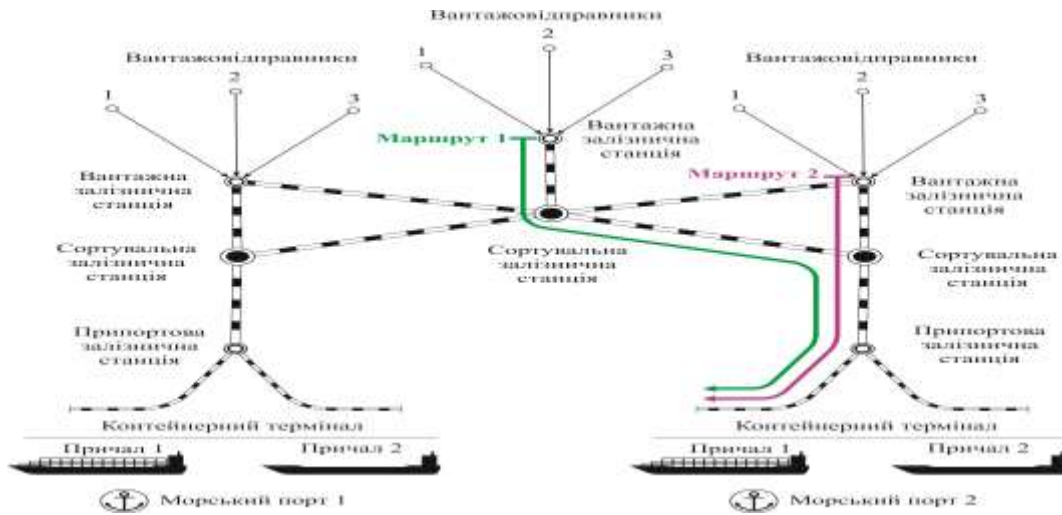


Рис.1. Схема організації доставки контейнерів залізничним транспортом до морських портів при здійсненні інтермодальних перевезень

Дослідження процесу надходження контейнерних потоків до залізничних термінальних станцій довели, що такі потоки відносяться до класу неординарних, нестаціонарних потоків Пуассона та Ерланга. Було показано, що одним з найважливіших параметрів процесу надходження контейнерів як випадкового потоку, з точки зору теорії, є функція умовної інтенсивності, яка представляє собою функцію фільтрації історії випадкового часового точкового процесу і є основою для обчислення всіх необхідних числових характеристик. Отримано залежності ймовірності накопичення контейнерних партій певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу для випадків представлення процесу надходження контейнерів у вигляді нестаціонарних неординарних потоків Пуассона та Ерланга, які виглядають так:

- для контейнерних потоків, що представляють потоки Пуассона

$$P(k, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{i=1}^{x(s,k)} \prod_{j=1, \Sigma j q_{ij} < k, q_{ij} \in \mathbb{N}}^s \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_j(t) dt\right)^{q_{ij}}}{q_{ij}!}, \quad (1)$$

де  $k$  – кількість контейнерів, які прибудуть на станцію;  $t_0, \tau$  – моменти початку та завершення планового періоду відповідно;  $\lambda_j(t)$  – інтенсивність потоку контейнерів кратності  $j$  як функція від часу;  $q_{ij}$  – кількість подій потоку кратності  $j$  на часовому інтервалі  $[t_0, \tau]$  у  $i$ -му варіанті реалізації розвитку подій;  $s$  – максимальна кратність потоку, що розглядається на даному терміналі;  $x(s, k)$  – потужність множини ймовірнісних випадків розвитку подій при даних значеннях змінних  $s$  та  $k$ , коли під випадком розуміється одна з можливих реалізацій потоку, що характеризується множиною  $\{q_{i1}, q_{i2}, q_{i3} \dots q_{is}\}$  потоку, яка розглядається на

даному терміналі;  $\int_{t_0}^{\tau} \sum_{i=1}^s \lambda_i(t) dt = \int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt = \Lambda(t)$  – «ведуча функція потоку», тобто кумулятивна сумарна інтенсивність потоків всіх кратностей як функція від часу;  
 - Ерланга

$$P(N([t_0, \tau]) \geq n) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{i=1}^{x(s,k)} \prod_{j=1, \Sigma_j q_{ij} < k, q_{ij} \in \mathbb{N}}^s \sum_{r=0}^{k_j-1} \frac{\left(k_j \int_{t_0}^{\tau} \lambda_j(t) dt\right)^{k_j((k_j-1)q_{ij}+1+r)}}{((k_j-1)q_{ij}+1+r)!}. \quad (2)$$

Формула (2) є важливою складовою для побудови моделі імовірнісних характеристик контейнеропотоків на термінальних залізничних станціях. У випадках, коли кількість вантажовідправників є обмеженою, доцільно враховувати наявність післядії в потоках контейнерів. Для таких процесів модель потоку Ерланга дозволить достатньо точно спланувати процес накопичення контейнерних партій, тоді як їх апроксимація пуассонівським потоком буде некоректною.

На основі системного підходу формалізовано процес управління залізничними контейнерними інтермодальними перевезеннями як оптимальну задачу стохастичного програмування з цільовою функцією у вигляді експлуатаційних сумарних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху, що виглядає як

$$\begin{aligned} C(\tau, \omega, P) = & \frac{1}{\sum_{i=1}^z (N_i(P, \tau_i) + N_i^0)} \sum_{i=1}^z \left( e_{\text{кр}} \int_{t_0}^{\tau_i} W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) dt + e_{\text{в.зм}} \cdot l_i \frac{1}{\rho_i} \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) + \right. \\ & \left. + e_{\text{в.г}} \frac{l_i}{V_i^{\text{мін}}} + \left( e_{\text{кр}} \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) + e_{\text{в.г}} \frac{1}{\rho_i} \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) \right) \times \right. \\ & \left. \times \left( \tau_i + \frac{l_i}{V_i^{\text{мін}}} + (1 - \omega_i) H\left(\left(m_i - \delta_i\right) - \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) \sum_{j=1}^{S_i} \left( \mu_{ij}^{\text{неп}} + \sigma_{ij}^{\text{неп}} \sqrt{2} \text{erf}^{-1}(2P-1) \right) + \frac{k_i}{\lambda_i} \frac{1}{\lambda_i} \left( \int_0^P x^{k_i-1} e^{-x} dx \right)^{-1} \right) \right) + \right. \\ & \left. + e_{\text{с.т}} \left( T_i(\tau_i) + \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) t_{\text{к}} - t_{\text{зн}} \right) H\left( T_i(\tau_i) + \left( W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) + N_i^0 \right) t_{\text{к}} - t_{\text{зн}} \right) \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3)$$

Оптимізація даної моделі повинна проводитись із урахуванням наступних обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_i \geq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z \\ P \geq P_{\text{мін}} \\ N_i^0 + W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) \leq m_i^{\text{макс}}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z \\ \sum_{i=1}^z \int_{\tau_0}^{\tau_i} W_i(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^e}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^e}\}) dt \leq N_c \end{array} \right. \quad (4)$$

У формулах (3), (4)  $P$  – поточний рівень імовірності;  $z$  – кількість маршрутів доставки контейнерів до порту;  $\tau$  – змінний вектор часів закінчення накопичення контейнерних партій  $\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_z)$  на термінальних станціях маршрутів;  $\omega$  – вектор булевих змінних  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_z)$ , що приймають значення 1

у випадку відправлення неповносоставного маршрутного контейнерного поїзда та 0 у іншому випадку;  $e_{к.г}$  – вартість контейнеро-години;  $e_{в.г}$  – вартість вагоно-години;  $e_{в.км}$  – вартість вагоно-кілометра;  $e_{с.г}$  – вартість судно-години;  $t_0$  – момент початку періоду планування;  $W_i\left(P, \tau_i, \left\{\lambda_{l_i}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\right\}, \left\{q_{l_i}, \dots, q_{n_i^c}\right\}\right)$  – функціонал, що повертає мінімальне значення кількості контейнерів, які з імовірністю  $P$  будуть накопичені на термінальній станції  $i$ -го маршруту на момент часу  $\tau_i$  відповідно до множини функцій інтенсивностей  $\left\{\lambda_{l_i}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\right\}$  і множини величин кратностей  $\left\{q_{l_i}, \dots, q_{n_i^c}\right\}$  складових потоків прибуття контейнерів на термінальну (початкову) станцію  $i$ -го маршруту;  $n_i^c$  – кількість складових потоків на термінальній станції  $i$ -го маршруту;  $N_i^0$  – кількість контейнерів на термінальній станції  $i$ -го маршруту на момент початку періоду планування  $t_0$ ;  $l_i$  – довжина  $i$ -го маршруту від термінальної станції до порту;  $m_i$  – норма кількості вагонів у складі поїзда на  $i$ -му маршруті з розрахунку, що одна фітінгова платформа перевозить один 40-футовий контейнер;  $\delta_i$  – максимальне відхилення кількості вагонів у бік зменшення при формуванні прямого контейнерного поїзда на  $i$ -му маршруті;  $v_i^{dil}$  – середня дільнична швидкість поїзда на  $i$ -му маршруті;  $S_i$  – кількість сортувальних станцій на шляху прямування за  $i$ -м маршрутом;  $\mu_{ij}^{nep}, \sigma_{ij}^{nep}$  – величини математичного очікування та середньоквадратичного відхилення відповідно при обчисленні квантілі нормального закону розподілу часу переробки поїзда на  $j$ -й сортувальній станції  $i$ -го маршруту  $Q_{ij}^{nep}(P) = \mu_{ij}^{nep} + \sigma_{ij}^{nep} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P-1)$ , що містить у своєму складі вагони з контейнерами;  $\mu_i^{norm}, \sigma_i^{norm}$  – величини математичного очікування та середньоквадратичного відхилення відповідно при обчисленні квантілі нормального закону розподілу часу просування поїзда від припортової станції до порту на  $i$ -му маршруті  $Q_i^{norm}(P) = \mu_i^{norm} + \sigma_i^{norm} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P-1)$ , що містить у своєму складі вагони з контейнерами;  $\operatorname{erf}^{-1}(x)$  – зворотна функція похибок Лапласа;  $T_i(\tau_i)$  – поточний час прибуття контейнерів по  $i$ -му маршруту до порту;  $t_k$  – середній час завантаження контейнера на судно;  $t_{zn}$  – момент часу закінчення завантаження судна згідно з розкладом;  $H$  – функція Гевісайда,

$$H(x) = \begin{cases} 1 & , \text{якщо } x > 0 \\ 0 & , \text{якщо } x \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$P_{\min}$  – мінімально допустимий рівень імовірності при плануванні, тобто мінімальний рівень впевненості в можливості реалізації отриманого плану;  $m_i^{\max}$  –

максимально допустима кількість вагонів у складі поїзда на  $i$ -му маршруті;  $N_c$  – кількість вільних місць для завантаження контейнерів на судні.

Перше обмеження (4) необхідне для забезпечення умови невід’ємності часів завершення накопичення контейнерних партій. Друге обмеження забезпечує необхідний рівень здійсненності плану. Третє обмеження запобігає накопиченню контейнерів у кількості, що перевищує максимально допустимий склад поїзда. Четверте обмеження запобігає накопиченню та перевезенню контейнерів сумарно по всіх терміналах у кількості, що перевищує кількість вільних контейнеромісць на судні.

Цільова функція разом із системою обмежень, що регламентують технологічний процес, представляють оптимізаційну модель оперативного управління транспортуванням контейнерів від залізничних термінальних станцій до портів.

Оптимізація сформованої математичної моделі являє собою складну задачу стохастичного програмування, розв’язання якої потребує розроблення певної технології, що дозволить автоматизувати не лише ті обчислювальні процеси, які безпосередньо пов’язані з обчисленням значень цільової функції та пошуком оптимального рішення, але й процеси обробки історичної інформації та здійснення прогнозів з метою забезпечення процесу оптимізації якісними вихідними даними.

**У третьому розділі** на основі аналізу було визначено, що однією з найважливіших складових для отримання якісного розв’язання при оптимізації задачі організації транспортування контейнерів залізницею в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень є наявність прогнозу інтенсивності контейнеропотоків відповідних кратностей на час планового періоду.

На основі аналізу було встановлено, що найбільш адекватний спосіб подання даних, які відображують інформацію щодо функцій умовної інтенсивності, є представлення їх у вигляді часових рядів. Розроблено оригінальну схему представлення функцій умовної інтенсивності у вигляді нерегулярних часових рядів за допомогою послідовності числових кортежів, кожен з яких складається з трьох елементів. Виявлено, що найбільш успішною сучасною нейронною архітектурою для моделей прогнозування часових рядів вважаються рекурентні нейронні мережі на основі модулів довгої короткострокової пам’яті.

Виходячи з кінцевості величин кратності реальних контейнеропотоків було отримано формулу визначення ймовірності для потоку контейнерів з максимальною кратністю 3, що виглядає так:

$$P(k, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{n=0}^k \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{n-2i}{3} \rfloor} \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^{n-2i-3j} \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^i \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)^j}{(n-2i-3j)! i! j!}, \quad (6)$$

де  $\left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$  – означає цілу частину від ділення числа  $x$  на число  $y$ ;  $n$  – ітератор, що перебирає всі можливі розміри контейнерних партій, які не перевищують  $k$ . Цей

запис надає більш наочне уявлення про комбінаторний характер процесу обчислення формули. Таким чином, ітератор другої суми  $i$  перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 2, що відповідають умові неперевикнення кількості контейнерів  $k$ . Ітератор третьої суми  $j$  перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 3, що відповідають умові неперевикнення кількості контейнерів  $k$  з урахуванням кількості подій  $i$  потоку кратності 2. Величина  $k - 2i - 3j$  представляє кількість подій потоку кратності 1 за тієї самої умови, та обчислюється за залишковим принципом.

З метою визначення обсягу партій контейнерів, який представлений функціоналом, що залежить від рівня впевненості реалізації оперативного плану, функцій інтенсивностей і величин кратностей складових потоків, було отримано залежність імовірності накопичення щонайменше  $n$  контейнерів від кількості контейнерів і тривалості часового інтервалу, що наведено на рис. 2а.

У результаті оптимізації моделі управління транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень за методом імітації відпалу отримано залежність питомих витрат, що припадають на транспортування одного контейнера залізницею до морського порту, від часів завершення накопичення партій контейнерів на двох термінальних станціях, що наведено на рис. 2б. Наявність мінімуму цільової функції, який відповідає прийнятному рівню витрат, додатково свідчить про адекватність моделі. Його величина дорівнює 3993,86 грн/конт. і є співставною з середнім питомих значенням собівартості транспортування контейнерів від термінальних станцій до морських портів в Україні.

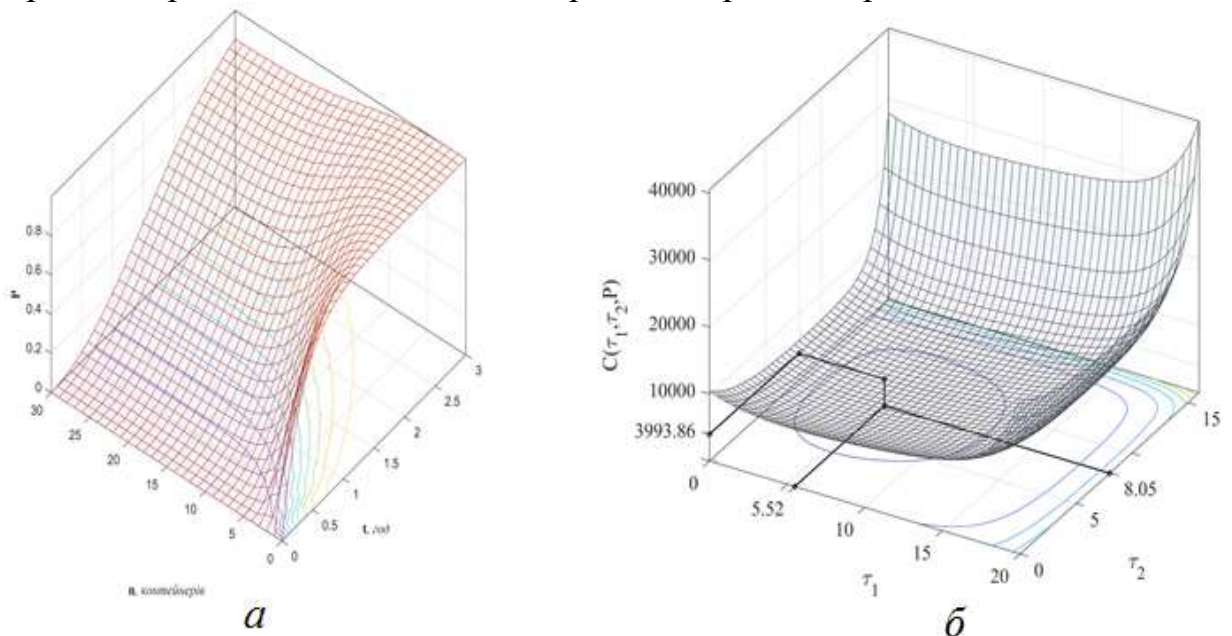


Рис. 2. Результати моделювання: а–залежність імовірності накопичення щонайменше  $n$  контейнерів від кількості контейнерів і тривалості часового інтервалу; б–залежність питомих витрат, що припадають на транспортування одного контейнера залізницею до морського порту, від часів завершення накопичення партій контейнерів на двох термінальних станціях

У результаті оцінювання ефективності розробленої технології було встановлено, що вона надає можливість зменшити експлуатаційні витрати на залізничні перевезення контейнерів щонайменше на 10 % порівняно з традиційною технологією планування. Даний результат був досягнутий в першу чергу завдяки створенню та використанню системного ефекту, що є наслідком включення до єдиного процесу планування всіх термінальних залізничних станцій технологічно пов'язаних через адресування контейнерних партій до спільного судна в порту.

Таким чином, впровадження даної технології дозволить зменшити простої контейнерів і залізничного рухомого складу на залізничних станціях, а також мінімізувати кількість випадків затримки контейнеровозів у портах, що у свою чергу призведе до здешевлення і пришвидшення доставки вантажів у міжнародному сполученні.

**У четвертому розділі** з метою реалізації розробленої автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею удосконалено інформаційно-керуючу систему управління залізничними перевезеннями шляхом інтеграції систем підтримки прийняття рішень (СППР) при транспортуванні контейнеропотоків на АРМі оперативних працівників.

Передбачається, що розроблені СППР, окрім обробки інформації про кількість накопичених контейнерів на станціях будуть містити інформацію з зовнішніх баз даних, а саме в формі таких повідомлень електронного обміну даними ЕДІФАКТ ООН: CUSREP, CUSCAR, INVRPT, PAXLST, IFTDGN щодо розкладу прибуття і відправлення суден, а також кількості місць на суднах. Після обробки всієї інформації та прогнозування надходження контейнерної партії на станцію, визначається оптимальний час завершення накопичення контейнерної партії та варіант відправлення контейнерів. Далі виконуються розрахунки експлуатаційних витрат на основі запропонованої оптимізації математичної моделі та приймається рішення інтермодальним оператором щодо оптимальної технології формування та просування контейнерної партії до порту.

СППР інтегруються до автоматизованих робочих місць АРМів ДСП, АРМів ДСЦ на залізничних термінальних і припортових станціях, оператора інтермодальних перевезень, який має зв'язок з АСК ВП УЗ-Є.

Запропонована автоматизована технологія організації процесу доставки контейнерів залізничними шляхами при здійсненні інтермодальних перевезень дозволяє використовувати системний ефект при взаємодії термінальних залізничних станцій і морських портів. Як показали результати досліджень у розділах 2, 3, впровадження даної технології призведе до зниження більш ніж на 10 % собівартості сухопутної частини транспортування контейнерів у міжнародному сполученні.

Удосконалену структуру АСКВПУЗ-Є в умовах перевезення контейнерів наведено на рис. 3.

Інтегральний економічний ефект з наростаючим підсумком, який складається з економічного ефекту, отриманого для вантажовідправника та залізниці, з урахуванням поточних і капітальних витрат від використання запропонованої автоматизованої технології протягом 5 років становитиме 113,57 млн. грн.

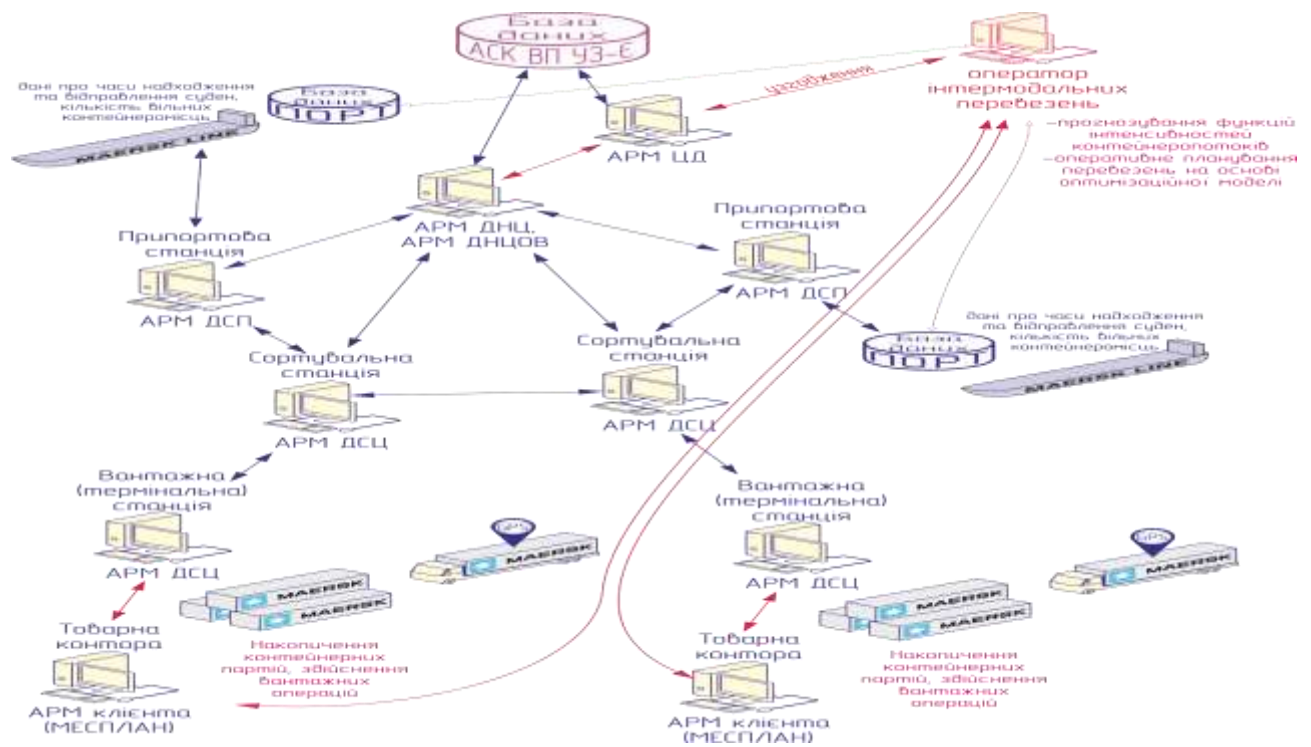


Рис. 3. Удосконалена структура АСКВПУЗ-Є в умовах перевезення контейнерів

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень з використанням теорії випадкових потоків.

1. Детальний аналіз технології транспортування контейнерів залізницею до порту показав складність, що обумовлена стохастичністю цього процесу, починаючи з надходження контейнерних потоків від вантажовідправників до термінальних станцій, закінчуючи просуванням та обробкою поїздів на шляху прямування. Статистичні дослідження на АТ «Укрзалізниця» довели, що часові показники обробки контейнера на станції відправлення підпорядковуються нормальному закону розподілу з такими параметрами: математичне очікування  $\mu = 181,77$  год, середньоквадратичне відхилення  $\sigma = 4093,6$  год, коефіцієнт нерівномірності  $K_n = 1,97$ . Значний час витрачається на накопичення контейнерів для відправлення їх маршрутним прямим поїздом (приблизно 2-3 доби), а також на переробку поїзда на сортувальних станціях при перевезенні контейнерів у складі інших поїздів. Як довели дослідження, часи перебування контейнерів на припортовій станції підпорядковуються закону Ерланга 3-го порядку і мають такі параметри: інтенсивність  $\lambda = 0,005415$ , коефіцієнт Ерланга  $k_e = 3$ . Отже, за рахунок непродуктивних простоїв значно збільшується час просування контейнерів у складі інтермодальних перевезень.

2. На основі проведеного аналізу закордонних і вітчизняних наукових робіт виявлено, що задачі транспортування контейнерів до порту залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень із урахуванням імовірнісної



природи ключових складових цього процесу і з використанням системного підходу вирішено не повною мірою.

3. На основі аналізу підходів і методів різних наукових теорій, пов'язаних з дослідженням і представленням стохастичних процесів, було встановлено, що інструментом, який є найбільш придатним для формалізації процесів надходження контейнерів до термінальних залізничних станцій і накопичення контейнерних партій з метою формування і відправлення контейнерних поїздів, є математичний апарат теорії випадкових потоків або часових точкових процесів.

4. Було доведено, що найбільш простим способом формалізації нестационарного неординарного потоку, що являють собою контейнерні партії, які надходять до термінальної станції, є його представлення у вигляді суперпозиції потоків, кожен з яких являє собою множину подій однакової кратності. На основі реальних даних процесу надходження контейнерів при застосуванні методу максимізації логарифмічної функції правдоподібності було отримано аналітичний вигляд умовної функції інтенсивності нестационарного неординарного потоку та функції інтенсивності складових потоків, що відрізняються за параметром кратності.

5. Із урахуванням отриманих залежностей процес планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень був сформульований у вигляді оптимізаційної моделі стохастичного програмування, основа якої була представлена оптимізаційною моделлю з цільовою функцією у вигляді експлуатаційних сумарних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. У результаті оптимізації даної моделі можуть бути визначені моменти закінчення накопичення та спосіб транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону (системний ефект). Ця модель є основою для побудови оперативного плану транспортування контейнерних партій.

6. Для визначення вихідних даних для побудови оперативного плану було розроблено модель прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання та реалізовано у вигляді програмного продукту в середовищі Matlab.

У результаті проведеного на реальних даних моделювання було встановлено, що похибка прогнозу знаходиться в межах 6 %, що дозволяє віднести розроблену прогнозу модель до класу високоточних моделей. Даний результат обумовлений застосуванням у складі архітектури розробленої моделі шару з елементів довгої короткострокової пам'яті, які забезпечують можливість знаходження прихованих залежностей і зв'язків між субструктурами даних, навіть якщо вони віддалені часовими інтервалами значної тривалості.

7. Здійснено оптимізацію моделі стохастичного програмування за допомогою алгоритму імітації відпаду. Під час оптимізації моделі було побудовано поверхню відгуку цільової функції та отримано її глобальний мінімум, що відповідає мінімуму питомих експлуатаційних витрат на транспортування контейнерних партій у бік порту для завантаження на судно. Наявність мінімуму цільової функції моделі, що знаходиться в межах планового періоду, і його величина, узгоджувана із даними про собівартість транспортування контейнерів,



свідчать про адекватність розробленої моделі. Також під час моделювання було доведено, що результати оптимізації дозволяють визначити ключові елементи оперативного плану роботи термінальних залізничних станцій: моменти часу закінчення накопичення контейнерних партій на термінальних станціях і спосіб їх транспортування до морського порту (у складі прямого повносоставного або неповносоставного маршрутного поїзда або у складі попутних вантажних поїздів із можливим подальшим переформуванням на сортувальних станціях).

8. З метою підвищення якості залізничних перевезень і збільшення обсягів вантажних перевезень, зокрема при перевезенні контейнерів, запропоновано впровадити новий модуль до АСКВП УЗ-Є шляхом його інтегрування на АРМи оперативних працівників зокрема ДНЦ, ДСП, ДНЦОВ, ДСЦ, що будуть містити СППР, також на АРМи оператора інтермодальних перевезень. Це дозволить за допомогою системного підходу узгодити роботу портів і залізничних термінальних станцій, що призведе до зменшення простоїв контейнерів на залізничних станціях і в портах, отже зменшаться загальні експлуатаційні витрати на перевезення контейнерів.

9. Впровадження розробленої автоматизованої технології дасть можливість для зменшення на 10 % експлуатаційних витрат на залізничні перевезення контейнерів. Інтегральний економічний ефект з наростаючим підсумком, який складається з економічного ефекту, отриманого для вантажовідправника та залізниці з урахуванням поточних і капітальних витрат від використання запропонованої автоматизованої технології протягом 5 років, становитиме 393,35 млн грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові праці:

1. Світлична А. В. Аналіз шляхів розвитку комбінованих перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 131. С. 104-108.
2. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності контрейлерних перевезень вантажів. *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. 2012. Вип. 33. С. 87-95.
3. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Концепція організації контрейлерних перевезень «на просторі 1520 і 1435 мм». *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 22-27.
4. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Визначення доцільності та моделювання контрейлерних перевезень *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 11-17.
5. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Розвиток контрейлерних перевезень вантажів на залізницях України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 142. С. 37-43.
6. Котенко А. М., Лаврухін О. В., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Шевченко В. І., Пилипейко О. М. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 145. С. 50-59.

7. Лаврухін О. В., Котенко А. М., Світлична А. В., Шевченко В. І. Перевезення контрейлерів довгосоставними і великоваговими поїздами. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 5-11.

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

8. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В., Пупена С. І. Перспективи розвитку комбінованих перевезень. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. Вип. 1/3 (61). С. 56–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.

9. Колісник А. В. Формування структури і комплексу задач інформаційно-керуючої системи для управління контрейлерними перевезеннями. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 3. С. 17-22.

10. Prokhorchenko A., Panchenko A., Parkhomenko L., Nesterenko H., Muzykin M., Prokhorchenko H., Kolisnyk A. Forecasting the estimated time of arrival for a cargo dispatch delivered by a freight train along a railway section. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 3, № 3 (99). P. 30–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується в базі Scopus).

11. Butko T., Prokhorov V., Kolisnyk A., Parkhomenko L. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується в базі Scopus).

#### **Праці апробаційного характеру:**

12. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Пилипейко О. М., Світлична А. В. Удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. (Харків, 26–28 квітня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 129. С. 263–264.

13. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень «на просторі 1435мм і 1520мм» при застосуванні інтероперабельних технічних засобів і технологій. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: тези доповідей 8-ї міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості*. (м.Харків, 5–8 червня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 38. С. 87-88.

14. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Основні напрями організації контрейлерних перевезень «на просторі 1435мм і 1520мм». *Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті: Матеріали VII Междунар. науч.-практ. конф.* (Судак, 11-13 октября 2012 г.) Киев: ГЭТУТ, 2012. С. 253-254.

15. Пилипейко О. М., Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Нові форми транспортного обслуговування власників вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. (Харків, 24–25 квітня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 397–398.

16. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Ресурсозберігаюча технологія контрейлерних терміналів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* (Харків, 24–25 квітня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 401.
17. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Обґрунтування технологій контрейлерних перевезень. *Проблеми економіки и управления на железнодорожном транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (АР Крым, Судак, 8–11 октября 2013 г.).* Киев: ГЭТУТ, 2013. С. 306–309.
18. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності функціонування транспортної системи України: *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: тези доповідей 9-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості.* (Харків, 5–7 червня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 42. С. 45-46.
19. Котенко А. М., Світлична А. В. Транзитні перевезення і розвиток комбінованого транспорту: *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* (Харків, 15–17 квітня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 306.
20. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень міжнародними транспортними коридорами. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики: тези доповідей 10-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості.* (Харків, 5–7 червня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 19-20.
21. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Підвищення ефективності експлуатаційної роботи на основі впровадження єдиних наскрізних технологічних процесів роботи транспортних цехів промислових підприємств і залізниць. *Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: тезисы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.).* Днепропетровск: ДНУЖТ, 2014. С. 51–53.
22. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Перевезення небезпечних вантажів комбінованим транспортом. *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. 147.
23. Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень за чинниками глобальної логістики. *Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика: тези доповідей 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості.* (Харків, 11–13 червня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 50. С. 32-33.
24. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Світлична А. В. Ефективність впровадження комбінованих перевезень в Україні. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

25. Бутько Т. В., Колісник А. В. Формування автоматизованої технології комбінованих перевезень на залізничній мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези доповідей 30-ї Міжнар.наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (м. Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. № 4. (додаток). С. 5-6.
26. Бутько Т. В., Колісник А. В., Москаленко О. В. Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ-Є при комбінованих перевезеннях. *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. 155–156.
27. Бутько Т. В., Колісник А. В., Пархоменко Л. О. Удосконалення організації взаємодії залізничних вузлів та портів при контейнерних перевезеннях. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей 1-ї Міжнар. Наук.-техн. конф. (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 13.
- Додаткові праці, які відображають результати дисертації:**
28. Спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат. №74305 Україна, МПК(51) В61В 1/00, В60S 13/00 / Шилаєв П. С., Котенко А. М., Дунаєвський Л. М., Світлична А. В. №u201203893; заяв. 30.03.12, опубл. 25.10.2012, бюл. № 20/2012, 7с.
29. Спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат.№105535, Україна, МПК(51) В61В 1/00, В61J 1/00, В60S 13/00, E01B/ Шилаєв П. С., Котенко А. М., Дунаєвський Л. М., Світлична А. В. №a20120357, заяв. 26.03.2012, опубл. 26.05.2014, бюл. № 10/2014, 8с.
30. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Методики визначення втрат від аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 141. С. 272-280.
31. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Технології і технічні засоби комбінованих перевезень вантажів за чинниками глобальної логістики. *Науковий журнал «ScienceRise»*. 2015. № 1/2(6). С. 21-25.

## АНОТАЦІЯ

Колісник А. В. Формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків. – Рукопис.

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

Дисертація присвячена питанням підвищення ефективності контейнерних інтермодальних перевезень шляхом формалізації та автоматизації процесів транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків.

Проведено аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту, зокрема при перевезенні потоків контейнерів; проведено дослідження особливостей структури та параметрів контейнеропотоків і отримано залежності кількісних характеристик. Дослідження процесу надходження контейнерних потоків до залізничних термінальних станцій довели, що такі потоки належать до класу

неординарних, нестационарних потоків Пуассона та Ерланга. Було показано, що одним з найважливіших параметрів процесу надходження контейнерів як випадкового потоку є функція умовної інтенсивності, яка являє собою функцію фільтрації історії випадкового часового точкового процесу і є основою для обчислення всіх необхідних його числових характеристик. З метою формалізації процесів транспортування контейнерних партій до порту у складі інтермодальних перевезень запропоновано використання математичного апарату теорії випадкових потоків, найбільш придатного для відтворення всіх складових технологічних процесів з урахуванням системного підходу та їхньої стохастичної природи. З метою планування процесу організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів сформовано оптимізаційну модель оперативного управління цим процесом, яка представлена цільовою функцією у вигляді сумарних питомих експлуатаційних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. Вперше розроблено модель прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання, яка використовує схему представлення функцій умовної інтенсивності надходження контейнерів у вигляді нерегулярних часових рядів.

Сформовані моделі дозволяють не тільки на оперативному, а й тактичному і стратегічному рівнях системи управління перевізним процесом комплексно підходити до вирішення технологічних задач, пов'язаних з плануванням транспортування контейнерів до порту з урахуванням стохастичності всього процесу.

Набула подальшого розвитку система інформаційної взаємодії АСК ВП УЗ Є з інтермодальним оператором шляхом інтеграції (СППР) на АРМі оперативних працівників, що реалізує автоматизовану технологію раціонального управління контейнерними перевезеннями.

*Ключові слова:* теорія випадкових потоків, нестационарні неординарні потоки, задача стохастичного програмування, автоматизована технологія транспортування контейнерів залізницею.

## АННОТАЦИЯ

Колесник А. В. Формирование автоматизированной технологии транспортировки контейнеров железной дорогой на основе теории случайных потоков. – Рукопись.

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

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности контейнерных интермодальных перевозок путем формализации и автоматизации процессов транспортировки контейнеров по железной дороге на основе теории случайных потоков.

Проведен анализ технико-эксплуатационных показателей работы железнодорожного транспорта, в частности при перевозке потоков контейнеров, проведено исследование особенностей структуры и параметров контейнеропотоков

и получены зависимости количественных характеристик. Исследование процесса поступления контейнерных потоков на железнодорожные терминальные станции доказали, что такие потоки относятся к классу неординарных, нестационарных потоков Пуассона и Эрланга. Было доказано, что наиболее простым способом формализации нестационарного неординарного потока, какими есть контейнерные партии, поступающие на терминальные станции, является его представление в виде суперпозиции потоков, каждый из которых представляет множество событий одинаковой кратности. На основе реальных данных процесса поступления контейнеров методом максимизации логарифмической функции правдоподобия получен аналитический вид условной функции интенсивности нестационарного неординарного потока и функции интенсивности составляющих потоков, отличающихся по параметру кратности. Было показано, что одним из важнейших параметров процесса поступления контейнеров как случайного потока есть функция условной интенсивности, которая представляет собой функцию фильтрации истории случайного временного точечного процесса и является основой для вычисления всех необходимых его числовых характеристик. С целью формализации процессов транспортировки контейнерных партий в порт в составе интермодальных перевозок предложено использование математического аппарата теории случайных потоков, наиболее подходящего для воспроизведения всех составляющих технологических процессов с учетом системного подхода и их стохастической природы. В целях планирования процесса организации транспортировки контейнерных партий железной дорогой к морским портам сформирована оптимизационная модель оперативного управления этим процессом, представленная целевой функцией в виде суммарных удельных эксплуатационных затрат на продвижение контейнеров сухопутной частью пути и системой ограничений, которая воспроизводит технологические параметры процесса. Также в ходе моделирования было доказано, что результаты оптимизации позволяют определить ключевые элементы оперативного плана работы терминальных железнодорожных станций: моменты времени окончания накопления контейнерных партий в терминальных станциях и способ их транспортировки в морской порт (в составе прямого полносоставного или неполносоставного маршрутного поезда или в составе попутных грузовых поездов с возможной последующей переформировкой на сортировочных станциях).

Впервые разработана модель прогнозирования интенсивности потока поступления контейнеров на основе рекуррентных нейронных сетей глубинного обучения, которая использует схему представления функций условной интенсивности поступления контейнеров в виде нерегулярных временных рядов.

Сформированные модели позволяют не только на оперативном, но и тактическом и стратегическом уровнях системы управления перевозочным процессом комплексно подходить к решению технологических задач, связанных с планированием транспортировки контейнеров в порт с учетом стохастичности всего процесса. Предложено внедрить новый модуль в единую автоматизированную систему управления грузовыми перевозками путем его интегрирования на АРМы оперативных работников, который будет содержать в себе СППР, а также на АРМ оператора интермодальных перевозок. Это позволит с помощью системного подхода согласовать работу портов и железнодорожных терминальных станций, что

приведет к уменьшению простоев контейнеров на железнодорожных станциях и в портах, следовательно уменьшатся общие эксплуатационные расходы на перевозку контейнеров.

*Ключевые слова:* теория случайных потоков, нестационарные неординарные потоки, задача стохастического программирования, автоматизированная технология транспортировки контейнеров по железной дороге.

## ABSTRACT

A. Kolisnyk. Formation of automated technology transporting containers by rail based on the theory of random flows. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Science in speciality 05.22.01 – transport systems. – Ukrainian State University of Railway Transport, MES of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to the issue of increasing the efficiency of container intermodal transport by formalizing and automating the processes of transporting containers by rail based on the theory of random flows.

The paper analyzes the technical and operational indicators of railway transport, in particular when transporting container flows. A study of the structural features and parameters of container flows and the dependence of quantitative characteristics. The study of the process of container flows to railway terminal stations proved that such flows belong to the class of extraordinary, non-stationary flows of Poisson and Erlang. It was shown that one of the most important parameters of the process of container arrival as a random flow, from the point of view of theory, is a conditional intensity function, which is a function of filtering the history of a random temporary point process and which is the basis for calculating all its numerical characteristics. In order to formalize the processes of transporting container lots to the port as part of intermodal transport, it is proposed to use the mathematical apparatus of the theory of random flows or temporary point processes, which is most suitable for reproducing all components of technological processes taking into account the systematic approach and their stochastic nature. The optimization model of the operational management of container transportation from railway terminal stations to ports is represented by the objective function in the form of total operating costs for the promotion of containers by the land part of the track and a system of restrictions that reproduces the process parameters. For the first time, an original scheme was developed for representing the functions of the conditional intensity of container inflow in the form of irregular time series; a model was developed for predicting the intensity of the flow of container inflows based on recurrent neural networks of deep learning.

*Keywords:* random flow theory, non-stationary extraordinary flows, the problem of stochastic programming, automated technology for transporting containers by rail.

КОЛІСНИК АЛІНА ВОЛОДИМИРІВНА

**ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ  
КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ  
ПОТОКІВ**

05.22.01 – транспортні системи

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



доц. В. М. Прохоров

---

Підписано до друку "26" серпня 2020 р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.  
Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1  
Замовлення №149. Тираж 100 прим.

---

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