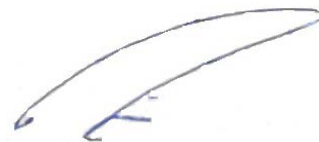


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА



**РУСТАМОВ РУСТАМ ШАЙКОВИЧ**

УДК 656.225:656.21

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Транспортні вузли» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент, **Вернигора Роман Віталійович**, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, декан факультету «Управління процесами перевезень»

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Лаврухін Олександр Валерійович**, Український державний університет залізничного транспорту, завідувач кафедри «Управління вантажною і комерційною роботою»;

кандидат технічних наук, доцент **Булгакова Юлія Вікторівна**, Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри «Управління комерційною діяльністю залізниць».

Захист відбудеться «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. об \_\_\_\_\_ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2 або на сайті <http://diit.edu.ua/> (Наука – Аспірантура і докторантура – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д08.820.02)

Автореферат розісланий «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор



І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розвиток економіки України в умовах глибоких євроінтеграційних процесів і глобалізації світової економіки суттєвим чином залежить від можливостей її підприємств створювати конкурентоспроможні продукти на світовому ринку. Одним зі стратегічних продуктів, які пропонує сьогодні Україна, є зерно. Зернова галузь є базою та джерелом сталого розвитку агропромислового комплексу й основою аграрного експорту України. Наразі Україна впевнено займає лідируючі позиції серед світових виробників і експортерів зерна. Так, в сезоні 2018/2019 при виробництві 70,1 млн. т. було експортовано 49 млн. т. зерна, що у грошовому еквіваленті склало близько 17% від загального обсягу українського експорту. Одним з шляхів підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світових ринках є побудова ефективної системи організації експортних перевезень. Для України це завдання є особливо важливим так, як частка транспортних витрат у вартості вітчизняного зерна наразі становить 35%, у той час як у США та у країнах ЄС – 10...15%.

Більше 95% експорту українського зерна здійснюється через морські порти; при цьому майже 70% зернових вантажів у порти доставляється залізничним транспортом в основному з використанням електричної тяги, що на відміну від автоперевезень не потребує значних витрат нафтопродуктів, 80% обсягів яких Україною імпортуються. Разом з тим існуюча система залізничних перевезень зернових вантажів на експорт часто демонструє свою неефективність. Серед основних причин – як дефіцит справних вагонів-зерновозів, так і низька ефективність їх експлуатації – з 2012 р. обіг вагонів-зерновозів виріс на 84%, а їх продуктивність знизилась на 34%. Таким чином, удосконалення системи експлуатації рухомого складу залізниць при організації перевезень зернових вантажів на експорт є одним із ключових завдань для зниження транспортної складової та забезпечення конкурентності українського зерна на зовнішніх ринках. При цьому запропоновані техніко-технологічні рішення зазначеної проблеми повинні мати чітке наукове обґрунтування. У цьому зв'язку тема дисертаційної роботи, яка спрямована на підвищення ефективності експортних перевезень зернових вантажів за рахунок удосконалення системи експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, є актуальною.

**Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у «Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 №430-р), «Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (наказ Міністерства інфраструктури України від 21 грудня 2015 №547), «Експортній стратегії України на 2017-2021 р.р.» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2017 №1017-р), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Удосконалення технології роботи сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів» (№ державної реєстрації ДР 0116U003748), «Удосконалення методики оперативного планування роботи парку вантажних локомотивів на основі багатокритеріальної задачі про призначення (№ державної реєстрації ДР 0117U002064), «Удосконалення залізничних перевезень аграрної продукції на експорт» (№ державної реєстрації ДР 0117U006814).

**Метою дослідження** є підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів. Поставлена мета досягається за рахунок вирішення наступних **завдань дослідження**:

- аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності системи експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів;
- дослідження існуючої системи забезпечення експортних перевезень зернових вантажів в Україні та показників експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при перевезенні зерна;
- дослідження умов ефективної експлуатації рухомого складу залізниць при перевезенні зерна;
- удосконалення імітаційної моделі процесу перевезення зернових вантажів залізничним транспортом;
- формування експортно-орієнтованої мережі вузлових залізничних станцій для забезпечення навантаження зернових маршрутних поїздів;
- оцінка ефективності експлуатації рухомого складу залізниць при організації руху зернових маршрутних поїздів.

**Об'єктом дослідження** є процес експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти на експорт.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язки між системою організації залізничних перевезень зерна у напрямку морських портів та показниками ефективності експлуатації рухомого складу.

**Методи дослідження.** Постановка завдань дослідження, вибір методів їх розв'язання та аналіз результатів виконані з використанням методів системного аналізу. Вирішення окремих задач дослідження виконане з використанням наступних методів: реляційна алгебра, RS-аналіз та математична статистика для дослідження параметрів вагонопотоків з зерновими вантажами; економіко-математичне моделювання та регресійний аналіз для визначення витрат на перевезення зерна залізничним та автомобільним транспортом; кластерний аналіз, теорія множин та методи багатокритеріальної оптимізації для визначення вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для формування зернових маршрутних поїздів; імітаційне моделювання та теорія організації експлуатаційної роботи залізниць для дослідження ефективності маршрутизації перевезень з зерновими вантажами.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розв'язанні актуального наукового завдання підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти на експорт за рахунок удосконалення системи експлуатації рухомого складу. Зокрема у дисертації отримано наступні наукові результати:

- вперше розроблено метод вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для формування відправницьких маршрутів, що базується на використанні апарату кластерного аналізу, теорії множин та багатокритеріальної оптимізації і дозволяє врахувати як множину інфраструктурно-

технологічних параметрів транспортної мережі, так і експлуатаційно-економічні критерії ефективності перевізного процесу;

– вперше отримано комплекс залежностей експлуатаційних витрат від відстані перевезень зернових вантажів, що дозволяє визначати ефективність використання залізничного транспорту залежно від форми власності та системи експлуатації рухомого складу;

– удосконалено імітаційну модель вантажних перевезень на залізничному напрямку за рахунок врахування можливості організації перевізного процесу відправницькими маршрутами з вузлових станцій навантаження, зокрема, за розкладом, що дозволяє досліджувати ефективність різних технологій залізничних перевезень зерна;

– отримали подальший розвиток методи оцінки ефективності експлуатації маршрутних поїздів, зокрема при використанні рухомого складу різних форм власності та організації руху вантажних поїздів за розкладом.

**Практичне значення отриманих результатів.** Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані для удосконалення та оцінки системи організації вагонопотоків при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти на експорт, планування розподілу вагонів-зерновозів під навантаження зерна та тягового рухомого складу під зернові поїзди. Результати роботи використані: для удосконалення технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти Одеського регіону; у навчальному процесі при підготовці магістрів у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за освітньою програмою 275.02 «Транспортні технології на залізничному транспорті»; під час виконання магістерських робіт та в курсах дисциплін «Іноваційні технології у вантажній та комерційній роботі» і «Експлуатаційна робота залізниць в умовах демонополізації галузі». Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати теоретичних та експериментальних досліджень, що наведені у роботі, отримані автором самостійно. Стаття [1] опублікована без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному: у статті [2] виконано порівняльний аналіз витрат на перевезення зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом в залежності від відстані та системи організації залізничних перевезень; в статті [3] розраховані додаткові витрати при організації маршрутних перевезень зернових вантажів та визначено можливі залізничні станції концентрації навантаження зерна; у статті [4] виконано серію експериментів з імітаційною моделлю залізничного напрямку для оцінки ефективності різних варіантів організації залізничних перевезень зерна; у статті [5] розроблено методика вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зернових маршрутів; у статті [6] проаналізовано елеваторні потужності лінійних елеваторів України та окреслені основні проблеми системи доставки зерна на експорт при організації залізничних перевезень; у статті [7] удосконалено імітаційну модель напрямку для оцінки технології залізничних перевезень зерна маршрутами, зокрема, за ро-

зкладом та виконано серію експериментів з моделлю для оцінки ефективності маршрутизації; у статті [8] виконано розрахунки плати за перевезення зерна у вагонах-зерновозах в залежності від відстані та форми власності вагонів; в статті [27] автором проаналізовано обсяги виробництва та експорту українського зерна, а також динаміку зміни парку вагонів-зерновозів; у статті [28] виконано дослідження параметрів вагонопотоків з зерновими вантажами та отримано значення елементів обігу зерновозів; у статті [29] виконано серію імітаційних експериментів з моделлю сортувальної станції для визначення впливу параметрів поїздопотоків та системи їх обслуговування на експлуатаційні показники роботи станції.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 3-й, 4-й, 6-й та 8-й міжнародних науково-практичних конференціях «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2017, 2019), 74-й, 75-й, 78-й та 79-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2018, 2019, ), науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014), 77-й міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 2015), міжнародній науково-практичній конференції «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку» (Дніпро, ДДАЕУ, 2015), 1-й, 2-й міжнародних науково-практичних конференціях «Енергооптимальні технології перевізного процесу» (Моршин, Львів, ДНУЗТ, 2016, 2017), 12-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті – ЕКУЗТ 2017» (Харків, 2017), 1-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті» (Львів, ДНУЗТ, 2018).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 29 наукових праць, з них 1 наукова стаття у закордонному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, 1 наукова стаття опублікована в іноземному фаховому виданні, 6 наукових статей у фахових виданнях, які входять до переліку Міністерства освіти і науки України та включені до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в інших виданнях, та 18 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 198 сторінок, з яких основного тексту 133 сторінки, у основному тексті роботи міститься 42 рисунки та 26 таблиць; анотація, перелік умовних позначень, зміст – на 19 сторінках, список використаних джерел складається з 169 найменувань на 18 сторінках; 8 додатків на 28 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та задачі досліджень, основні положення, що захищаються автором, наведено дані про практичне використання результатів дисертації.

У першому розділі виконано всебічний аналіз проблеми підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів до морських портів на експорт.

Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки країни та одним з основних джерел українського експорту. Перспективні плани розвитку українського аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів виробництва зернових до 100 млн. т., а експорту до рівня 60...70 млн. т. на рік. Аналіз статистичних даних та наукових джерел показує, що однією з основних проблем експорту вітчизняного зерна є низький рівень ефективності існуючої системи його доставки від виробників у морські порти. В кінцевій вартості українського зерна транспортні витрати складають 35...40%, що знижує його конкурентоспроможність на зовнішніх ринках.

В останні роки проблеми транспортування зерна, зокрема на експорт, та зниження відповідних витрат є об'єктом дослідження багатьох як вітчизняних, так і закордонних науковців та практиків, зокрема Я. А. Батигова, С.В. Дельза, В. А. Колодійчука, І. А. Оносової, Н. М. Столбуненка та інших.

Основним перевізником зерна у порти є залізничний транспорт. Однак, діюча система організації залізничних перевезень зернових вантажів, зокрема, на експорт, наразі демонструє свою неефективність – так, при збільшенні парку зерновозів з 2012 р. у 2,2 рази, обіг вагона виріс на 84%. Серед основних проблем – значна розпорошеність та низька навантажувальна спроможність станцій, зношеність вагонів та недосконала система оперування ними, дефіцит локомотивної тяги, організація перевезень значних обсягів зерна вагонними відправками.

Аналіз наукових джерел та досвіду роботи залізниць у інших країнах показує, що найбільш перспективним напрямком удосконалення системи перевезень масових вантажів, зокрема, зерна, є маршрутизація. Маршрутизація дозволяє скоротити строки доставки вантажів, покращити показники експлуатації рухомого складу та відповідно зменшити витрати на перевезення. Однак ефективно планування маршрутизації вимагає виконання комплексу досліджень з використанням сучасних наукових методів. Значний внесок у розробку питань удосконалення системи експлуатації залізничного рухомого складу за рахунок підвищення ефективності управління вагонопотоками в різний час зробили вчені Акулінічев В. М., Альошинський Є. С., Бородін А. Ф., Булгакова Ю. В., Бутько Т. В., Верлан А. І., Грунтов П. С., Козаченко Д. М., Ломотько Д. В., Лаврухін О. В., Нагорний Є. В., Негрей В. Я., Сотніков І. Б., Сотніков Є. О., Тіхоміров І. Г., Шапкін І. М. та інші.

У наукових працях цих вчених досліджені питання розробки математичних моделей, систем підтримки прийняття рішень та методів оцінки ефективності різних технологій організації перевезень, зокрема, з урахуванням економічних інтересів усіх учасників перевізного процесу, проблеми організації руху вантажних поїздів за розкладом тощо. Разом з тим існуючі методи планування та оцінки ефективності систем експлуатації рухомого складу при організації залізничних вантажних перевезень не в повній мірі враховують сучасні умови і проблеми перевезення зерна в Україні, зокрема, зміни в структурі вагонного парку та у тарифній політиці Укрзалізниці, а також особливості існуючої системи зберігання та транспортування зерна.

На підставі виконаного аналітичного огляду наукових робіт сформульована мета дослідження, що полягає у підвищенні ефективності системи експлуатації рухомого складу залізниць при перевезенні зернових вантажів у морські порти.

У другому розділі визначено основні задачі дисертаційної роботи та обрано методи їх вирішення, виконано аналіз існуючої системи забезпечення експортних перевезень українського зерна, а також досліджено показники експлуатації рухомого складу залізниць при перевезенні зерна у напрямку морських портів.

Система, що забезпечує експорт зерна, включає систему його зберігання, перевалочні потужності морських портів та систему транспортування зерна у порти.

У 1991 р. в Україні налічувалося близько 545 елеваторів і хлібоприймальних пунктів, загальним обсягом одноразового зберігання зерна близько 30 млн. т. із середнім рівнем зносу елеваторного обладнання 50%. Однак за останнє десятиріччя інвестиційна привабливість зернового бізнесу суттєво зростає, що призвело до збільшення кількості елеваторів удвічі: в даний час в Україні функціонує більше 1200 елеваторів різного типу і призначення загальною потужністю 48 млн. т. Темпи ж введення нових елеваторних потужностей в останні роки складають 1...1,5 млн. т. на рік (рис. 1).

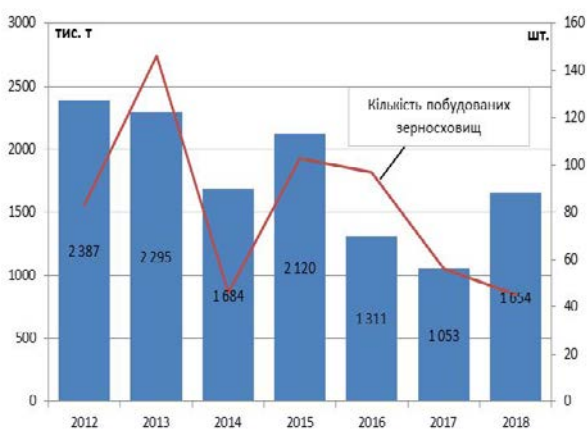


Рисунок 1 – Динаміка введення нових елеваторних потужностей

Серед зернохранилищ основна частина (73%) мають потужність зберігання до 50 тис. т., 20% – 50...100 тис. т., а потужності зберігання 7% елеваторів перевищують 100 тис. т. Більше 80% елеваторів мають можливість відвантаження на залізницю.

В цілому ж наявна елеваторна інфраструктура забезпечує існуючі обсяги виробництва зерна, а динаміка розвитку потужностей елеваторів, дає підстави позитивно оцінювати можливості по освоєнню перспективних обсягів.

Більше 95% українського експорту зерна прямує через морські порти. Перевалку зерна в 13 портах здійснюють близько 30 терміналів загальною потужністю 66 млн. т. У 2019 р. порти України переробили більше 50 млн. т. зерна (рис. 2).

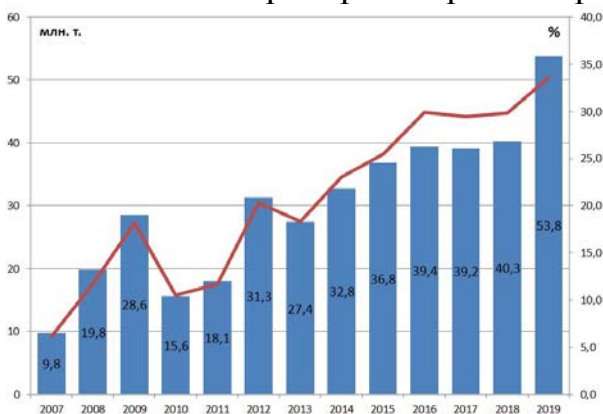


Рисунок 2 – Обсяги перевалки зерна в морських портах України

Близько 90% обсягів перевалки зерна у морських портах здійснюють приватні термінали, зокрема у сезоні 2018/2019 лідером стала компанія ТІС переробивши 6,5 млн. т. зерна.

Портова термінальна інфраструктура для перевалки зерна потужно розвивається і є привабливим напрямком для інвестицій. У 2020 р. потужність перевалки зерна в портах планується довести до рівня 90 млн. т., що цілком достатньо для освоєння перспективних обсягів експорту.

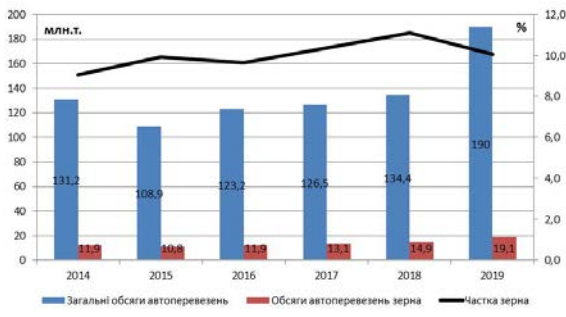
Транспортна система, що забезпечує доставку зернових вантажів від лінійних зернохранилищ до місць реалізації, зокрема у морські порти, представлена залізничним, автомобільним і річковим транспортом.



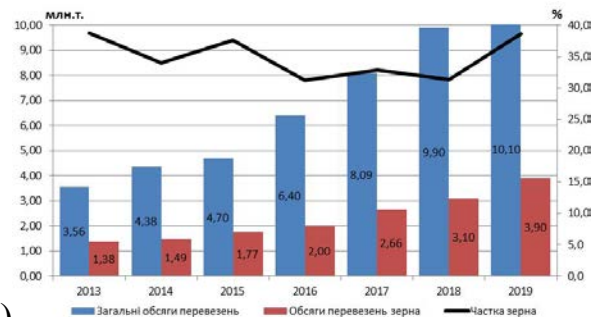
Близько 30% всього експортного зерна доставляється в порти автомобілями. У 2019 р. автотранспортні підприємства перевезли 19,1 млн. т. зерна, що складає близько 10% від загальних обсягів автоперевезень (рис. 3а).

Однак, забезпечуючи гнучкість та зручність системи транспортування для клієнтів, в першу чергу невеликих партій зерна на короткі відстані, тарифи на послуги автомобільного транспорту є найвищими. До недоліків автоперевезень необхідно також віднести низьку якість та недостатню пропускну здатність припортових доріг, забруднення атмосфери продуктами згоряння палива тощо.

Річкові перевезення мають найнижчу собівартість, однак нерозвинена портова інфраструктура та дефіцит суден наразі не дозволяють повністю використовувати потенціал річкового транспорту, частка якого у перевезенні зерна складає близько 5%. У 2019 р. річками перевезено 3,9 млн. т. зерна (рис. 3б). Разом з тим, деякі агрохолдинги активно розвивають цей напрямок перевезень, інвестуючи кошти як у портову інфраструктуру, так і оновлення парку суден.



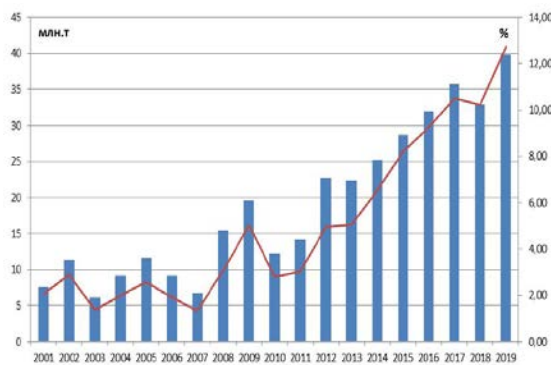
а)



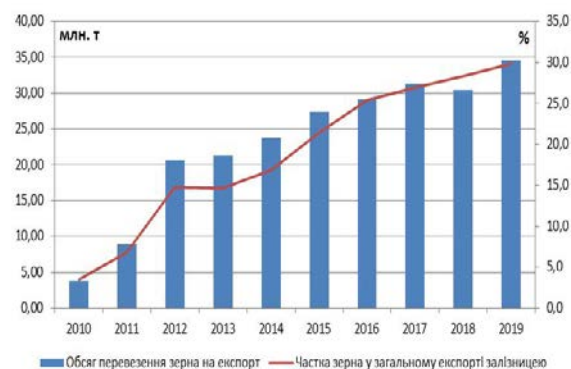
б)

Рисунок 3 – Обсяги перевезення зерна: а) автомобільним транспортом; б) річковим транспортом

Близько 70% обсягів перевезення зернових вантажів на експорт у напрямку портів здійснюється залізничним транспортом. У 2019 р. українські залізниці перевезли 39,8 млн. т. зернових вантажів (рис. 4а). Частка зернових вантажів в загальному обсязі залізничних перевезень демонструє тенденцію до зростання: якщо в 2001 р. перевезення зерна складали лише 2%, то у 2019 р. – 12,7%, по експортним перевезенням цей показник для зерна склав 30% (рис. 4б).



а)



б)

Рисунок 4 – Обсяги залізничних перевезень зерна та його частка у загальних обсягах: а) загальні; б) експортні

Система залізничних перевезень зерна України характеризується значною розпорошеністю станцій навантаження. До навантаження зерна пристосовано більше 500 станцій по всій території країни. Вивантаження зерна здійснюється на 40 припортових станціях. Результати статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів з зерном показали, що половина станцій вантажать у середньому менше 1 вагона на добу (рис. 5), а третина станцій здійснює навантаження загалом менше 30 днів на рік (рис. 6). Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є концентрація навантаження зерна на опорних (вузлових) станціях для формування відправницьких маршрутів.

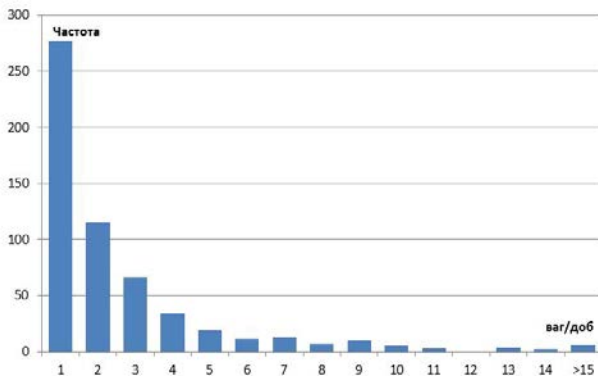


Рисунок 5 – Розподіл станцій за середньодобовими обсягами навантаження зерна

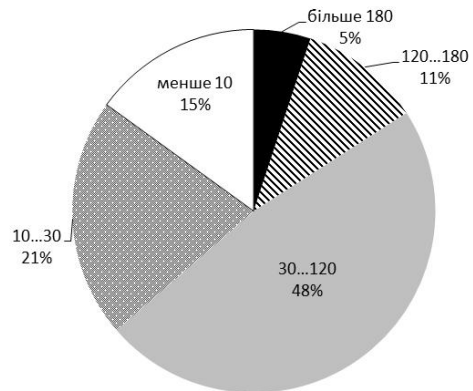


Рисунок 6 – Розподіл станцій за періодами навантаження зерна протягом року, днів

До недавнього часу істотною проблемою перевезення зернових був дефіцит вагонів-зерновозів. Однак в останні 2...3 роки парк зерновозів істотно збільшився (в основному за рахунок вагонів приватних компаній) і у 2019 р. склав близько 28 тис. вагонів, з яких 60% належить приватним компаніям (рис. 7). При цьому гострою залишається проблема зношеності зерновозів – середній вік становить 27...29 років, а по вагонах власності УЗ – 36 років (рис. 8).

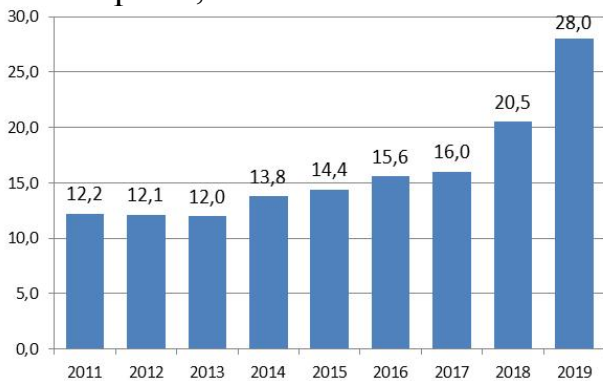


Рисунок 7 – Динаміка зміни парку зерновозів України

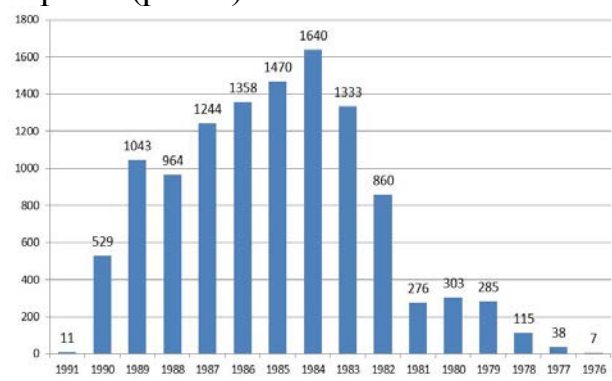


Рисунок 8 – Структура парку зерновозів Укрзалізниці по рокам випуску

У 2018 р. Укрзалізниця почала активно впроваджувати маршрутизацію при перевезенні зернових вантажів. Однак основна частина зернових маршрутів є технічними або ступінчатими, рівень же відправницької маршрутизації складає наразі близько 25 % (для порівняння у США – 95%). Варто зазначити, що тільки близько 70 станцій (13%) мають можливості до відвантаження та формування відправни-

цьких маршрутів з зерном. Окрім того, надання Укрзалізницею переваги при розподілі порожніх вагонів відправникам великих партій зерна призвело до переорієнтації частини відправників на автотранспорт. Аналіз показав, що, незважаючи на зростання парку зерновозів, їх експлуатаційні показники погіршились. Так, якщо у 2016 р. обіг вагона-зерновоза становив 9,4 доби, то у 2019 р. – 14 діб (рис. 9). При цьому в структурі обігу зерновоза власне операція руху складає лише 20%, а близько 42% – прості на технічних станціях (рис. 10). Це свідчить про недосконалість діючої системи організації залізничних перевезень зернових вантажів та про існування резервів скорочення обігу та покращення показників експлуатації вагонів.

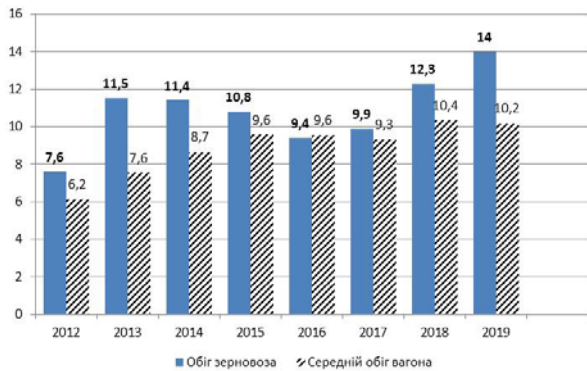


Рисунок 9 – Обіг вагона-зерновоза та середній обіг вагона на мережі

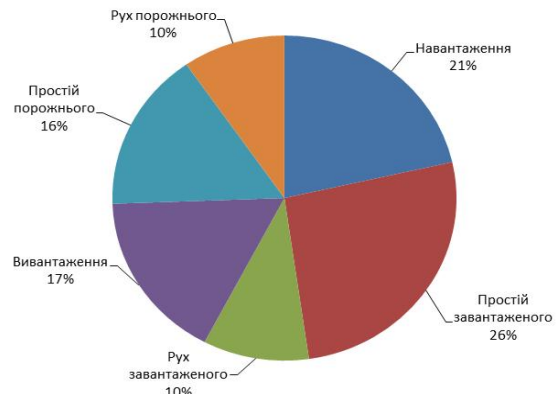
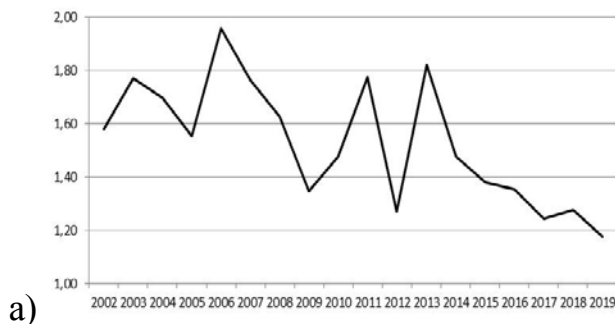


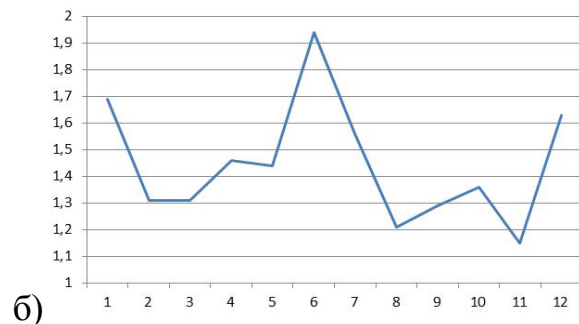
Рисунок 10 – Структура обігу зерновоза

Для оцінки заходів, спрямованих на удосконалення системи організації залізничних перевезень українського зерна в морські порти на експорт, необхідно визначити параметри експлуатації вагонів-зерновозів при організації перевезень повагонними відправками. З цією метою в дисертації був виконаний аналіз даних АСК ВП УЗ-Є про експортні перевезення зерна за річний період.

Перевезення зерна характеризуються значною як сезонною, так внутрішньо місячною нерівномірністю. Сезонна нерівномірність коливається в межах 1,3...1,4 (рис. 11а), а добова нерівномірність навантаження зерна – в межах від 1,15 (у листопаді) до 1,94 (у червні) (рис. 11б). Обсяги навантаження зерна по окремим станціям демонструють значно вищу нерівномірність, як сезонну, так і добову, що потрібно враховувати при плануванні перевезень (рис. 12).



а)



б)

Рисунок 11 – Коефіцієнт нерівномірності обсягів залізничних перевезень зерна: а) сезонної; б) добової

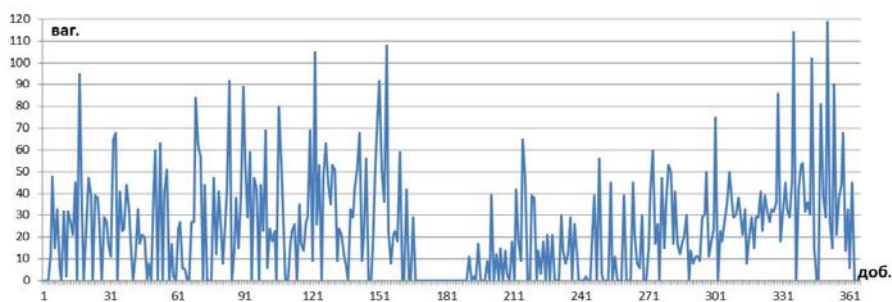


Рисунок 12 – Нерівномірність навантаження зерна по станції Прилуки

*RS*-аналіз часових рядів, що характеризують щодобове навантаження зерна по основним станціям, показав, що вони є антиперсистентними, тому прогнозування обсягів навантаження зерна доцільно виконувати з використанням методів теорії ймовірностей та математичної статистики.

На основі статистичного аналізу даних АСК ВП УЗ-Є про рух зерновозів встановлені основні показники експлуатації вагонів з зерном: середня відстань перевезення – 568 км, середня швидкість руху завантажених вагонів – 198 км/доб, порожніх – 311 км/доб; дільнична швидкість руху – 35,6 км/год.

У третьому розділі отримано залежності, що дозволяють оцінити ефективність використання залізничного транспорту, зокрема, порівняно з автомобільним, в залежності від умов експлуатації рухомого складу, а також удосконалено імітаційну модель залізничного напрямку для дослідження руху вагонів з зерном.

Для оцінки ефективності впровадження тих чи інших заходів, зокрема, відправницької маршрутизації, спрямованих на удосконалення технології доставки зерна у порти, необхідно оцінити витрати на перевезення зернових як автомобільним, так і залізничним транспортом. Загальні економічні витрати, пов'язані з доставкою 1 т зерна на портові термінали в загальному випадку визначаються як:

$$S = S_{\text{тр}} + S_{\text{ел}} + S_{\text{р}}, \quad (1)$$

де  $S_{\text{тр}}$  – витрати, пов'язані з перевезенням зерна;  $S_{\text{ел}}$  – витрати, пов'язані з переробкою зерна на елеваторах;  $S_{\text{р}}$  – приведені витрати, пов'язані з розвитком інфраструктури та парку рухомого складу для перевезень.

Вартість доставки зерна автотранспортом нелінійно залежить від відстані перевезень і може бути апроксимована за допомогою залежності:

$$c_{\text{авт}} = \frac{1}{\ln(1,4286 + 0,0017l_{\text{пер}})}, \quad (2)$$

де  $l_{\text{пер}}$  – відстань перевезень.

В даний час більшість інвентарних вагонів-зерновозів, що перебували у власності АТ «Укрзалізниця», перейшли у підпорядкування Центру транспортної логістики (ЦТЛ); в зв'язку з цим плата за перевезення зерна в таких вагонах визначається як для власних (орендованих) вагонів. При цьому витрати на доставку зерна в порти можуть бути визначені за формулою:

$$S_{\text{зал}} = S_{\text{пв}} + S_{\text{ел}} + S_{\text{пп}} + \frac{S_{\text{інф-зав}} + S_{\text{інф-пор}} + S_{\text{ваг-в}} \cdot \theta_{\text{ваг}} + S_{\text{пз}} + S_{\text{дод}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (3)$$

де  $S_{\text{пв}}$  – вартість підвезення вантажу до елеватору автомобільним транспортом, грн/т;  $S_{\text{ел}}$  – витрати, пов'язані з перевантаженням зерна на елеваторі, грн/т;



$S_{\text{пп}}$  – вартість перевалки зерна в порту, грн/т;  $S_{\text{інф-зав}}$ ,  $S_{\text{інф-пор}}$  – витрати, пов'язані з оплатою за тарифом залізниць за використання інфраструктури при перевезенні відповідно власного завантаженого і порожнього вагону, грн./ваг;  $S_{\text{пз}}$ ,  $S_{\text{дод}}$  – відповідно витрати, пов'язані з додатковими платами і зборами, що стягуються залізницями, а також отриманням різних сертифікатів і додатковими платежами, грн/ваг;  $S_{\text{ваг-в}}$  – добова ставка за користування вагоном, грн/ваг;  $\theta_{\text{ваг}}$  – обіг вагона, діб.  $p_{\text{ст}}$  – статичне навантаження вагона-зерновоза, т.

На рис. 13 представлені залежності витрат на перевезення зерна в порт автомобільним і залізничним транспортом. Залізничний транспорт є більш конкурентоспроможним з автомобільним на відстанях більше 150 км під час перевезення у вагонах ЦТЛ, на відстанях більше за 250 км – у нових власних вагонах, та на відстанях більше 350 км у орендованих вагонах приватних компаній.

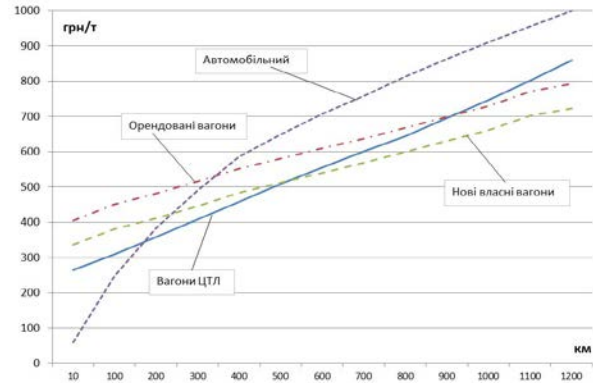


Рисунок 13 – Залежність витрат на перевезення зерна в порт

З огляду на стохастичний характер роботи залізниць оцінка ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти була виконана за допомогою спеціально розробленої імітаційної моделі.

При побудові моделі ланцюг поставки зерна від елеваторів до портів (рис. 14) розглядається як замкнута транспортна система. Об'єктом обслуговування при цьому є вагони, з якими в процесі їх обігу виконуються певні технологічні операції. У моделі кожен вагон описується структурою:

$$v = \{i, \mathbf{P}, t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, s\} \tag{4}$$

де  $i$  – ідентифікатор вагона;  $\mathbf{P}$  – вектор параметрів;  $t_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{к}}$  – відповідно момент початку і закінчення виконання технологічної операції;  $s$  – ідентифікатор состава.

Вектор  $\mathbf{P}$  параметрів вагона містить інформацію про тип вагону  $k$ , масу вантажу  $m$ , станцію відправлення  $S_{\text{в}}$  та призначення  $S_{\text{п}}$  тощо:

$$\mathbf{P} = \{k, m, S_{\text{в}}, S_{\text{п}}, U\} \tag{5}$$

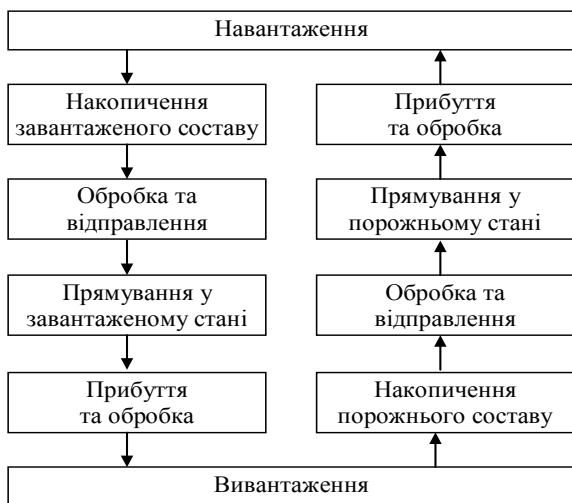


Рисунок 14 – Принципова схема моделі руху вагонів

Для можливості дослідження різних варіантів організації перевезень зерна між станціями його навантаження та портами до вектору параметрів вагону  $\mathbf{P}$  (5) додано параметр  $U$ , який характеризує тип технології організації перевезень з вагоном (повагонна відправка, маршрутна в завантаженому напрямку, рух кільцевих маршрутів, рух за розкладом тощо).

В процесі моделювання руху кожного вагона його загальний обіг розбивається на етапи, тривалості перебування в яких моделюються як випадкові величини.

У якості апаратів обслуговування в системі доставки зерна залізничним транспортом розглядаються підсистеми прийому, вантажної роботи, формування і відправлення на залізничних станціях, а також залізничні напрямки між станціями. Кожному апарату обслуговування  $d_j$  у відповідність ставиться множина вагонів  $\mathbf{V}$ , що знаходяться в обробці, ідентифікатор наступного (відповідно до технології) апарату обслуговування  $n$ , тип  $q_v$  та параметри  $q_n$  функції розподілу випадкової величини тривалості обслуговування:

$$d = \{\mathbf{V}, n, q_v, q_n\} \quad (6)$$

Зміна стану апаратів обслуговування виконується по команді системного таймера з деяким кроком  $t_c$ .

Параметр  $U$  (5), що характеризує тип технології організації перевезень зерна, представляє собою список:

$$U = \{m_j\}, \quad j=1, 2, \dots, g \quad (7)$$

де  $m_j$  – параметр, що характеризує тривалість знаходження вагона/поїзда в певній  $j$ -тій фазі обслуговування між станціями навантаження та вивантаження;  $g$  – кількість фаз (рис. 14).

В залежності від технології організації перевезень для кожної  $j$ -ї фази обслуговування параметр  $m_j$  може приймати наступні значення: 0 – дана фаза обігу вагона відсутня для цього варіанту; 1 – тривалість фази є постійною величиною; 2 – тривалість фази моделюється як випадкова величина з заданим законом розподілення; 3 – тривалість фази визначається за результатами імітаційного моделювання процесу.

Імітаційна модель процесу перевезення зерна залізничним транспортом зроблена на основі об'єктно-орієнтованого підходу і реалізована у вигляді програмного комплексу. Після закінчення вагоном чергового циклу обігу фіксуються тривалості перебування його в кожній з підсистем. Далі ці дані використовуються для аналізу процесу перевезення зерна.

За результатами статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів з зерном на одному з потужних та стабільних напрямків Торопилівка – Чорноморська (ТІС) були отримані параметри випадкових величин, що характеризують тривалість знаходження зерновозів в кожній технологічній фазі перевізного процесу. При цьому встановлено, що зазначені випадкові величини мають логарифмічно-нормальне розподілення (табл. 1). З врахування отриманих законів розподілення виконана ідентифікація імітаційної моделі.

Таблиця 1 – Характеристики випадкових величин тривалості руху зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська (ТІС)

Випадкова величина	Закон розподілення	Математичне сподівання, год	Середнє квадратичне відхилення, год
Тривалість навантаження	Логарифмічно-нормальний	28,70	4,34
Тривалість вивантаження	Логарифмічно-нормальний	38,67	10,79
Тривалість руху у завантаженому стані	Логарифмічно-нормальний	83,52	25,04
Тривалість руху у порожньому стані	Логарифмічно-нормальний	59,40	13,46
Разом	–	210,29	–

Адекватність моделі підтверджена на основі порівняння статистичних даних про обіг зерновозів на вказаному напрямку з результатами моделювання цього процесу (рис. 15). За допомогою критерію Уїлкоксона встановлено, що відповідні вибірки належать одній генеральній сукупності.

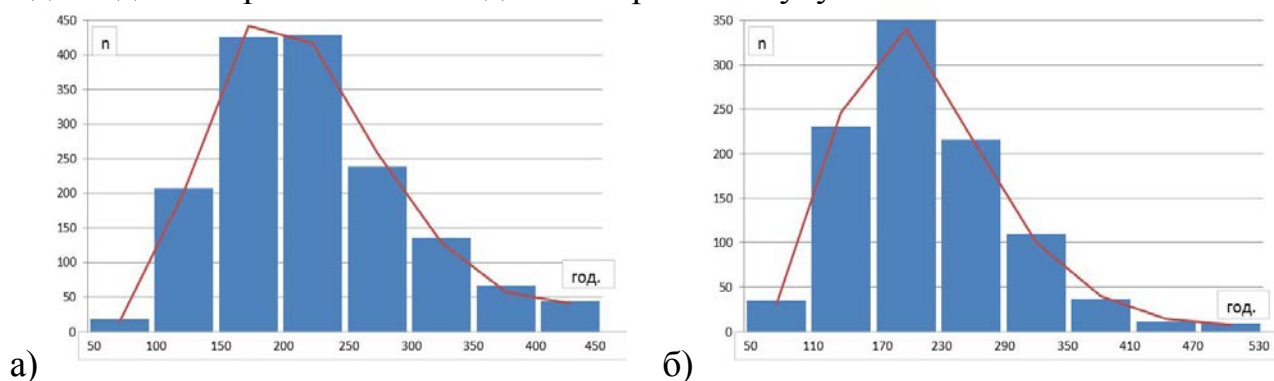


Рисунок 15 – Розподілення випадкової величини обігу зерновоза на маршруті Торопилівка-Чорноморська: а) за даними АСКВП-УЗ-Є; б) за даними моделювання

Формування відправницьких маршрутів вимагає від відправників додаткових витрат, пов'язаних з організацією підвезення додаткових обсягів зерна автотранспортом до вузлового елеватора, накопиченням та зберіганням маршрутної партії зерна на елеваторі, розвитком інфраструктури вузлового елеватора:

$$E_{\text{дод}} = \min_{T_n} \left( \frac{T_n - 1}{2} c_{\text{зб}} + \frac{T_n K}{365 p_{\text{ст}} m_M T_{\text{ок}}} + l_{\text{авт}} c_{\text{авт}} \left( \frac{m_M - m_c T_{\text{ок}}}{m_M} \right) \sqrt{\frac{m_M + m_c T_{\text{ок}}}{m_c T_{\text{ок}}}} \right), \quad (8)$$

де  $T_n$  – тривалість накопичення вантажів на маршрут;  $c_{\text{зб}}$  – вартість зберігання зерна на елеваторі;  $c_{\text{авт}}$  – вартість 1т-км при перевезенні зерна автотранспортом;  $l_{\text{авт}}$  – відстань перевезення зерна до елеватора автотранспортом; де  $m_M$  – кількість вагонів у маршруті;  $m_c$  – середньодобова кількість вагонів, які відправляються з елеватора;  $K$  – додаткові витрати, пов'язані з розвитком інфраструктури;  $T_{\text{ок}}$  – термін окупності інвестицій.

На рис. 16 наведено графік, що характеризує залежність додаткових витрат відправника від терміну накопичення маршруту. Встановлено, що мінімальні додаткові витрати, які пов'язані з накопиченням вантажу на маршрут, досягаються при періоді у 4...6 діб та відстані підвозу автотранспортом до 30 км.

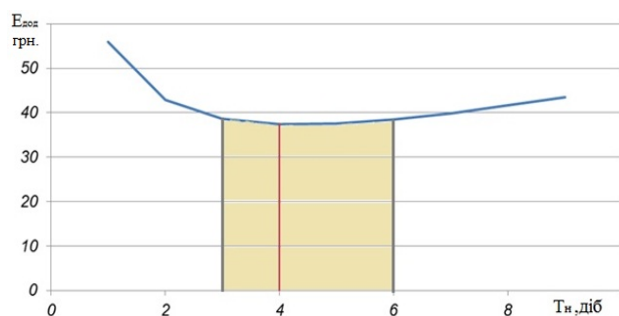


Рисунок 16 – Додаткові витрати відправників, пов'язані з маршрутизацією

Окрім того, в дисертації отримано комплекс залежностей, що дозволяють оцінити ефективність маршрутизації в залежності від відстані та умов виконання перевезення (рис. 17). Так, за наявної інфраструктури для накопичення та формування маршруту відправник може скоротити витрати на перевезення на 30 грн. на кожній тоні зерна, порівняно з вагонними відправками, а за наявності і парку власних вагонів – на 50...60 грн/т. У випадку ж відсутності необхідної інфраструктури або парку вагонів маршрутизація за існуючої тарифної політики для відправника буде економічно недоцільною.

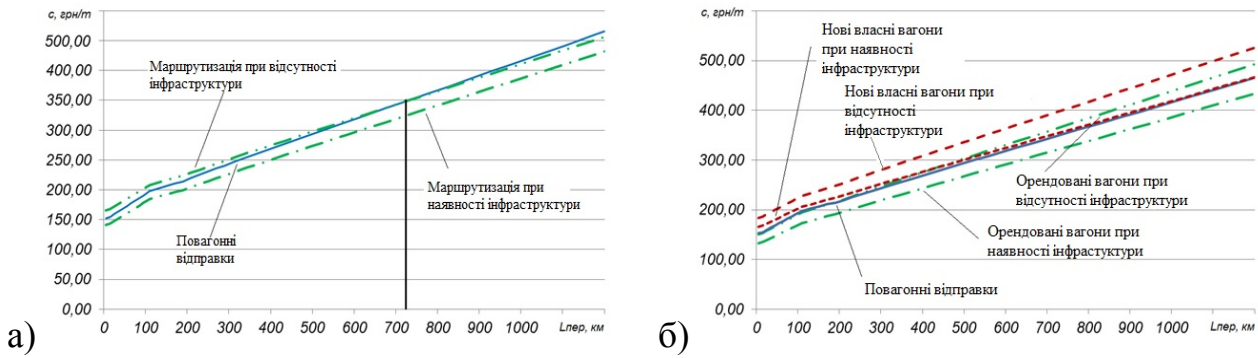


Рисунок 17 – Витрати на перевезення зернових вантажів маршрутними відправками: а) у вагонах власності УЗ; б) у власних та орендованих вагонах

У четвертому розділі розроблено методику формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для організації перевезень маршрутними поїздами, а також виконано оцінку ефективності організації руху зернових маршрутів.

Суттєвою проблемою залізничної системи доставки зерна в морські порти є значна розпорошеність станцій навантаження, близько 85% з яких не мають можливостей для формування маршрутів. У дисертації запропонована концепція формування мережі вузлових станцій для концентрації навантаження зерна відправницькими маршрутами. Доставка зерна на вузлові станції з лінійних і польових елеваторів району концентрації при цьому забезпечується автотранспортом.

Задача визначення вузлових станцій та відповідних їм районів можливої концентрації навантаження зерна може бути сформульована наступним чином.

На залізничному полігоні розташована множина  $S$  станцій навантаження зерна  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_z\}$ , де  $z$  – загальна кількість станцій навантаження зерна ( $z = 572$ ). Відстані між парами станцій  $s_i$  та  $s_j$  ( $s_i, s_j \in S$ ) представлені матрицею  $L = \{l_{ij}\}$ .

Кожен елемент множини  $S$  (станція) характеризується рядом параметрів та представляється структурою:

$$s_i = \{I, N, c, q, p, \mathbf{T}, \mathbf{K}\}, \quad (9)$$

де  $I$  – ідентифікатор станції;  $N$  – назва станції;  $c$  – класність станції;  $q$  – середньорічний обсяг навантаження зерна, ваг.;  $p$  – потужність елеваторної інфраструктури по одночасному зберіганню зерна, тис. т.;  $\mathbf{T}$  – вектор, що характеризує відстань від станції до основних морських портів;  $\mathbf{K} = \{k_1, k_2, k_3\}$  – вектор, що характеризує обсяг додаткових капіталовкладень на розвиток інфраструктури станції при реалізації навантаження відповідно 1, 2 та 3 маршрутів з зерном на тиждень.

На основі цих вихідних даних необхідно:

- з множини  $S$  виділити підмножину  $S^*$  ( $S^* \subset S$ ) вузлових станцій  $s_u^*$  ( $s_u^* \in S^*$ ,  $u=1, 2, \dots, m$ ), на яких буде здійснюватись навантаження маршрутних поїздів з зерном;
- для кожної вузлової станції  $s_u^*$  (тип  $U$ ) визначити район концентрації навантаження  $R_u$  ( $u=1, 2, \dots, m$ ), тобто множину станцій  $s_v \in S$  (тип  $V$ ), з яких буде організоване підвезення зерна автотранспортом на вузлову станцію  $s_u^*$ :

$$R_u = \{I_r, Q_r, s^*, s_1, s_2, \dots, s_v, \dots, s_f\}, \quad s_v \in S, \quad (10)$$

де  $I_r$  – ідентифікатор району концентрації;  $Q_r$  – сумарне річне навантаження зерна на всіх станціях району, ваг.



При цьому необхідно дотримуватись наступних умов:

– відстань від вузлової  $U$ -станції  $s_u^*$  району  $R_u$  до будь-якої  $V$ -станції району  $s_v$  ( $s_v \in R_u$ ) не повинна перевищувати максимально встановленої величини  $l_{\max}$

$$(\forall s_v \in R_u)(\forall s_u^* \in R_u)(l_{uv} \leq l_{\max}), v=1,2,\dots,f_u, u=1,2,\dots,m \quad (11)$$

– сумарний річний обсяг зерна, що навантажується на станціях району концентрації  $R_u$  повинен бути не менше мінімально встановленого значення  $Q_{\min}$ :

$$(\forall R_u)(Q_r \geq Q_{\min}), u=1,2,\dots,m \quad (12)$$

Розв'язок задачі має забезпечувати мінімальні загальні витрати, пов'язані з маршрутизацією перевезення зерна на експорт у порти:

$$\sum_{u=1}^m E_u^{\text{авто}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зб}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зМ}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зБ}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{інф}} \rightarrow \min \quad (13)$$

де  $E_u^{\text{авто}}$  – додаткові витрати на перевезення зерна на вузлову станцію району  $R_u$  автотранспортом;  $E_u^{\text{зб}}$  – додаткові витрати на зберігання зерна на вузловій станції району  $R_u$  для накопичення маршруту;  $E_u^{\text{зМ}}$  – витрати на перевезення зерна в порти маршрутами з вузлової станції району  $R_u$ ;  $E_u^{\text{зБ}}$  – витрати на перевезення зерна в порти вагонними відправками зі станцій району  $R_u$ ;  $E_u^{\text{інф}}$  – додаткові приведені витрати, пов'язані з розвитком елеваторної та залізничної інфраструктури вузлової станції району  $R_u$ .

Для визначення можливих вузлових станцій розроблена методика, що базується на методах кластерного аналізу. При цьому використаний агломеративний алгоритм (стратегія об'єднання кластерів). В якості інформативних параметрів з врахуванням експертних оцінок обрано (9): класність станції –  $c$ , обсяг навантаження –  $q$ , потужність інфраструктури –  $p$  і додаткові витрати на її модернізацію –  $K$ . Стандартизація цих параметрів виконана на розмах.

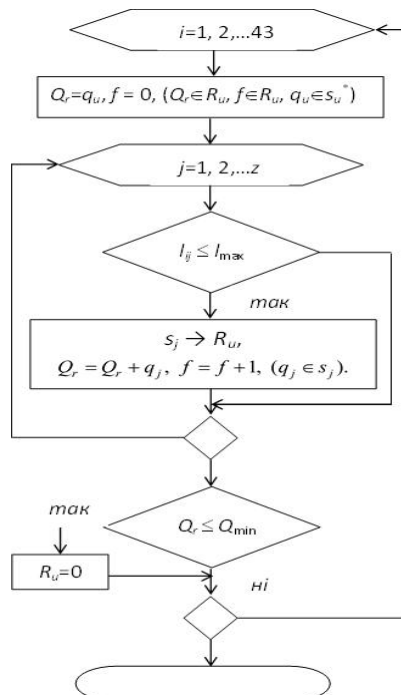


Рисунок 18 – Алгоритм формування районів концентрації навантаження

На основі стратегії об'єднання Варда і «канберрівської» міри відмінності об'єктів вихідна множина станцій  $S$  була розділена на дві підмножини –  $S^*$ , яка включає вузлові станції можливої концентрації навантаження ( $U$ -станції) – всього 43 станції, та  $S'$ , що включає станції, на яких навантаження зернових маршрутів недоцільне (529 станцій). На основі розробленої процедури (рис. 18) з врахуванням умов (11) та (12) навколо вузлових станцій було сформовано 41 район можливої концентрації навантаження  $R_u$  (10), до складу яких увійшло 76 станцій із загальним обсягом навантаження 15 млн. т. зернових на рік.

Однак при цьому в отриманій множині районів  $R$  частина станцій входить одразу до складу декількох районів  $R_u$ .

Таким чином, в отриманій множині  $R$  необхідно виділити таку підмножину  $R^*$ , усі  $m^*$  елементів якої (райони концентрації  $R_u$ ,  $u=1, 2, \dots, m^*$ ) були б взаємно непересічними множинами. При цьому сумарний обсяг навантаження зерна у підсумковій підмножині  $R^*$  повинен бути максимальним, а загальна величина витрат, пов'язаних з концентрацією навантаження зерна та формуванням зернових маршрутів повинна бути мінімальна (13), тобто:

$$\begin{cases} Q(R^*) \rightarrow \max \\ E(R^*) \rightarrow \min \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^{m^*} Q_{r(i)} \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^{m^*} E_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (14)$$

Для розв'язання вказаної задачі методами теорії множин було отримано матрицю  $X=|x_{ut}|$  ( $u=1, 2, \dots, m$ ;  $t=1, 2, \dots, n$ ), в якій кожному рядку  $u$  відповідає певна множина (район)  $R_u \in R$ , а кожному стовпчику  $t$  – певна  $U$ -станція або  $V$ -станція. Кожен елемент матриці представляє собою булеву змінну  $x_{ut} = \{0; 1\}$ , яка приймає значення  $x_{ut} = 1$ , якщо станція  $s_t$  може бути включена до складу району  $R_u$  ( $s_t \in R_u$ ), та  $x_{ut}=0$  – в іншому випадку ( $s_t \notin R_u$ ). Кожній станції  $s_t$  відповідає певне значення середньорічного обсягу навантаження зерна  $q_t$  (8), а також деякий параметр  $e_{ut}$ , що характеризує величину додаткових витрат при включенні станції  $s_t$  до району  $R_u$ . Цільова функція (14) при цьому приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \rightarrow \max \\ \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \rightarrow \min \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \\ - \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \end{pmatrix} \rightarrow \max \quad (15)$$

за наступних обмежень:

$$(\forall s_t) \left( \sum_{u=1}^m x_{ut} \leq 1 \right), t = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

$$(\forall R_u^*) \left( \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \geq Q_{\min} \vee \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} = 0 \right), u = 1, 2, \dots, m \quad (17)$$

$$(\forall s_t \notin R_u) (x_{ut} = 0), u = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

Задача (14)-(18) є задачею багатокритеріальної (векторної) оптимізації. Однак особливості задачі (булеві змінні) дозволяють перейти до однокритеріальної оптимізаційної задачі шляхом лінійної згортки з нормуванням критеріїв. Отримана задача була вирішена за допомогою симплекс-методу, модифікованого для задач з булевими змінними. У результаті була сформована підмножина  $R^*$ , яка є об'єднанням непересічних множин (районів)  $R_u$ . У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження включено 70 станцій, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний річний обсяг навантаження зерна маршрутами 109 тис. ваг або близько 7,5 млн. т.

Оцінка ефективності різних технологій організації залізничних перевезень зерна у порти була виконана з використанням удосконаленої імітаційної моделі. При цьому були досліджені наступні варіанти організації перевезень на маршруті від однієї з визначених вузлових станцій Торопилівка (річний обсяг відправлення 7121 ваг.) до станції Чорноморська-ТІС (відстань 790 км): 1) відправлення зерна вагонними відправками; 2) ступінчата маршрутизація перевезень зерна (формування маршрутів на технічних станціях); 3) організація перевезень зерна відправ-

ницьким маршрутами; 4) організація перевезень зерна відправницькими маршрутами за розкладом при збереженні існуючої тривалості виконання технологічних операцій на станціях із забезпеченням точного часу відправлення поїздів за рахунок створення резервів часу; 5) організація перевезень зерна відправницькими маршрутами за розкладом із забезпеченням точного часу відправлення поїздів за рахунок жорсткого нормування технологічних операцій на станціях.

Виконані за допомогою розробленої імітаційної моделі дослідження показали, що організація перевезень за варіантом 4 не є ефективним методом скорочення обігу вагонів і призводить до значного збільшення його тривалості. Разом з тим, застосування відправницької маршрутизації дозволяє скоротити обіг вагона на 27%, а застосування розкладу руху відправницьких маршрутів з чітким дотриманням технологічного процесу на станціях дозволяє скоротити обіг на 57%, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками; продуктивність вагонів при цьому зростає на 27% та 82% відповідно. Також скорочується і робочий парк зерновозів, необхідний для здійснення перевезень (на 24% та 47% відповідно), що дозволяє оновити парк вантажних вагонів і збільшити навантажувальні здатності елеваторів при збереженні витрат на перевезення зерна на існуючому рівні (рис. 19).



Рисунок 19 – Порівняння показників експлуатації вагонів-зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська-ТІС в залежності від технології перевезень

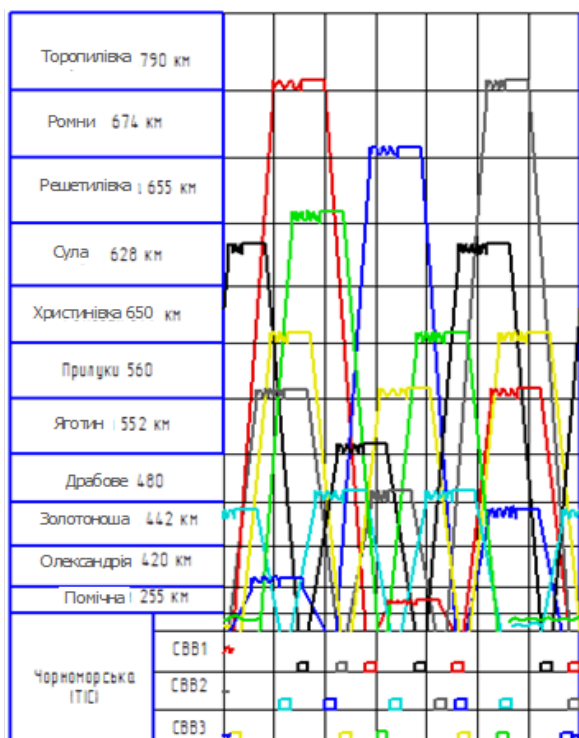


Рисунок 20 – Графік руху зернових маршрутів

З використанням імітаційної моделі була виконана оцінка ефективності руху зернових поїздів за розкладом від деяких визначених станцій концентрації навантаження до морського порту ТІС. За результатами моделювання був розроблений тижневий графік руху кільцевих маршрутів з зерном між вузловими станціями і морським терміналом (рис. 20).

Розрахунки показали, що організація перевезень зерна маршрутами за таким графіком дозволяє у 2 рази скоротити необхідний робочий парк вагонів, а також істотно поліпшити такі показники експлуатації вагонів, як обіг та продуктивність.

У додатках наведені характеристика об'єкта дослідження, результати досліджень, а також довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом на експорт за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції.

1. Україна посідає лідируючі позиції серед найбільших світових виробників та експортерів зерна. Перспективні плани розвитку українського аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів виробництва зернових до 100 млн. т., а експорту – до рівня 60...70 млн. т. на рік. Існуючі методи планування та оцінки ефективності систем експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, що здійснює близько 70% експортних перевезень зерна, не в повній мірі враховують сучасні умови перевезення зернових вантажів в Україні, зокрема, зміни в структурі вагонного парку та у тарифній політиці Укрзалізниці, а також особливості існуючої системи зберігання та транспортування зерна.

2. Інфраструктура зі зберігання зерна та його перевалки в портах наразі активно розвивається, а її потужності є достатніми для повного забезпечення наявних та перспективних обсягів експорту зернових. Основними проблемами залізничних перевезень зерна є висока розпорошеність станцій навантаження зерна при низькій навантажувальній потужності більшості станцій, недостатня пропускна здатність припортової залізничної інфраструктури, дефіцит локомотивної тяги, зношеність вагонів-зерновозів, недосконала система планування перевезень. На основі статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів-зерновозів встановлені основні показники їх експлуатації, зокрема, середня відстань перевезення, тривалість обігу та його окремих елементів. Встановлено що з 2012 р. суттєво погіршилися показники експлуатації зерновозів – обіг вагонів виріс на 84%, а продуктивність знизилась на 34%.

3. Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зерна можливе при впровадженні відправницької маршрутизації та її раціональному плануванні на основі сучасних наукових методів. З цією метою отримано комплекс залежностей, що визначають ефективність використання автомобільного чи залізничного транспорту при перевезенні зернових вантажів в залежності від відстані, форми власності рухомого складу та системи організації перевезень. Встановлено, що залізничні перевезення є конкурентними на відстанях від 150 км, а при формуванні зернових маршрутів відправник, в залежності від наявної інфраструктури та парку власних вагонів, може скоротити витрати на перевезення на 30...60 грн/т, порівняно з вагонними відправками.

4. Для оцінки ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти була удосконалена імітаційна модель залізничного напрямку за рахунок уведення до її структур технологічного параметру, що дозволяє досліджувати організацію руху відправницьких маршрутів з вузлових станцій навантаження, зокрема за розкладом; виконана ідентифікація моделі та оцінка її адекватності.

5. Формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутів виконано на основі розробленої методики, що базується на методах кластерного аналізу та багатокритеріальної оптимізації з булевими змінними. У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження зерна з 572 станцій включено 70, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг навантаження зерна маршрутами близько 7,5 млн. т. на рік.

6. Виконані за допомогою удосконаленої імітаційної моделі дослідження показали, що застосування відправницької маршрутизації з вузлових станцій навантаження дозволяє скоротити обіг вагона при перевезенні зерна у порт на 27%, а застосування технології руху маршрутів за розкладом – на 57%, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками; продуктивність вагона при цьому збільшується на 27% та 82% відповідно.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

1 Рустамов, Р.Ш. Оценка перспектив развития зерновой логистики в Украине /Р.Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – с. 127-133.

2. Коробйова, Р.Г. Внедрение бимодальных технологий перевозки зерновых грузов в Украине/ Р.Г. Коробйова, Р.Ш. Рустамов, С. В. Гревцов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 9. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – с. 29-34.

3. Козаченко, Д.М. Удосконалення технічного забезпечення та технологій експортних перевезень зернових вантажів в Україні/ Д.М. Козаченко, Р. Г. Коробйова, Р. Ш. Рустамов // Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. – 2015. – №4. – С. 121-127.

4. Козаченко, Д.М. Оценка эффективности технологии железнодорожных перевозок зерновых грузов с использованием имитационного моделирования/Д.М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н.И. Березовый, Р. Ш. Рустамов // Вестник БелГУТа. – 2015. – №2 (31). – с.109-113.

5 Kozachenko, D. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine/ D. Kozachenko, R. Vernigora, R. Rustamov // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ, – Д.: ДНУЗТ, 2017. – №2(68) – с. 56-70.

6. Вернигора, Р. В. Анализ системы хранения украинского зерна/ Р.В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 13. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – с. 10-18.

7. Kozachenko, D. Resource-saving technologies of railway transportation of grain freights for export / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Kuznetsov, R. Rustamov, A. Papahov, N. Logvinova //Archives of Transport, – 2018. – Vol. 45, Issue 1. – p.p. 53-64.

8. Вернигора, Р. В. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р.В. Вернигора, А.М. Окороков, П.С. Цупров, Р.Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 16. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – с. 22-30.

**Праці апробаційного характеру:**

9. Козаченко Д. Н., Рустамов Р. Ш., Ким М. Э. Исследование железнодорожных перевозок зерновых грузов в Украине // «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий»: Тезисы 3-й междунар. науч.-практ. конф. – Днепропетровск. – 2014. – с. 8-9.

10. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Оцінка ефективності відправницької маршрутизації перевезення зернових вантажів залізничним транспортом парку // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 74-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 183-184.

11. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Перспективи використання бімодальної технології при перевезенні зернових вантажів парку // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 74-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 184-185.

12. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Анализ инфраструктуры Украины по обеспечению перспективных объемов переработки и экспорта зерна // «Развиток теории та практики функціонування залізничних станцій»: Тези наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 34-37.

13. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Визначення витрат на перевезення зернових вантажів у морські порти України // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 75-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. – с. 138-139.

14. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Повышение эффективности экспортных железнодорожных перевозок зерна за счет концентрации грузопотоков // «Развиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»: Тези 77-ї міжн. наук.-практ. конф. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – с. 106-107.

15. Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г., Рустамов Р.Ш. Удосконалення технічного забезпечення та технології експортних перевезень зернових вантажів в Україні // «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку»: Тези міжн. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ. – 2015. – с. 166-167.

16. Вернигора Р.В., Козаченко Д.М., Рустамов Р.Ш. Дослідження ефективності перевезення зернових вантажів маршрутами за розкладом // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 4-ї міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ – 2015. – с. 28-30.

17. Козаченко Д.Н., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Исследование вагонопотоков с зерном на основе имитационного моделирования // «Перспективы взаимодействия залізниць та промислових підприємств»: Тези 4-ї міжнар. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ – 2015. – с. 46-49.

18. Козаченко Д. М., Рустамов Р. Ш., Вернигора Р. В. Оптимізація перевезень зернових вантажів маршрутами із застосуванням методів нечіткого керування // «Енергооптимальні технології перевізного процесу»: Тези І-ї наук.-практ. конф. – Моршин – ДНУЗТ. – 2016. с.71-72.

19. Козаченко Д.М., Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Аналіз досвіду США та Канади щодо організації залізничних перевезень зернових вантажів // «Енергооптимальні технології перевізного процесу»: Тези 2-ї наук.-практ. конф. – Львів – ДНУЗТ. – 2017. с. 83-85.

20. Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Визначення вузлових станцій можливої концентрації навантаження зерна на основі методів кластерного аналізу // «Проблеми економіки та управління на залізн. трансп. – ЕКУЗТ 2017»: Матеріали XII міжн. наук.-практ. конф. – Харків: Харківська друкарня ПЗ, 2017. – с. 190-193.

21. Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Аналіз залізничних перевезень зернових грузів в порти України на експорт // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 6-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ – 2017. – с. 72-74.

22. Вернигора Р. В., Березовий М.І., Рустамов Р. Ш. Інфраструктурне забезпечення експорту зерна в портах України // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 78-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – с. 132-133.

23. Вернигора Р. В., Цупров П. С., Рустамов Р.Ш. Перспективи мультимодальних перевезень зерна в Україні// «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті»: Матеріали міжн. наук.-практ. конф. – Львів: ДНУЗТ, 2018. – С. 25-27.

24. Вернигора Р. В., Мозолевич В. О., Рустамов Р. Ш. Перспективи перевезення зернових вантажів на експорт автомобільним та річковим транспортом // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 79-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2019. – с. 152-154

25. Вернигора Р. В., Огороков А. М., Рустамов Р. Ш. Аналіз структури парку вагонів-зерновозів та проблем їх експлуатації в Україні // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 79-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2019. – с.154-156

26. Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Аналіз нерівномірності залізничних перевезень зернових вантажів // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 8-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ – 2019. – с. 30-32

#### **Додаткові праці, які відображають наукові результати дисертації:**

27. Козаченко, Д.М. Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом/ Д.М. Козаченко, Р. Ш. Рустамов, Х. В. Матвієнко // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 6. – Д.: ДНУЗТ, 2013. – с. 56-60

28. Козаченко, Д.М. Підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом/Д.М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р.Ш. Рустамов // Українські залізниці – 2014. №7(13). – с.56-59.

29. Mozolevych, G. The research of effect of train flows parameters and technical and technological parameters of marshalling yard on its indicators by simulation/ G. Mozolevych, O. Puhach, R. Rustamov // Transport Problems 2015: Proceedings IV Symposium of young researchers – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2015 – p. 770-778.

## АНОТАЦІЯ

*Рустамов Р. Ш.* Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при перевезенні зернових вантажів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, 2020.

Дисертація присвячена проблемі підвищення ефективності системи експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом на експорт.

У дисертації виконано всебічний аналіз проблеми підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів до морських портів на експорт. Серед основних проблем – значна розпорошеність станцій навантаження та недосконала система планування перевезень. Для подолання цих проблем пропонується впроваджувати відправницьку маршрутизацію, а її планування здійснювати з використанням наукового підходу.

Отримано комплекс залежностей, що визначають ефективність використання залізничного транспорту при перевезенні зерна в залежності від відстані, форми власності вагонів та системи організації перевезень.

Для оцінки ефективності різних варіантів технології перевезень зерна використано удосконалену імітаційну модель залізничного напрямку.

Для визначення можливих районів концентрації навантаження зерна розроблено методику, що базується на методах кластерного аналізу та багатокритеріальної оптимізації. Отримане рішення дозволяє охопити відправницькою маршрутизацією 7,5 млн. т. зерна. Виконані дослідження показали, що маршрутизація дозволяє скоротити обіг вагона при перевезенні зерна у порт на 27%...50%, а продуктивність вагона збільшити на 25...75%.

*Ключові слова:* експорт зерна, залізничні перевезення, експлуатація вагонів, маршрутизація перевезень, концентрація навантаження, імітаційне моделювання, обіг вагону.

## АННОТАЦИЯ

*Рустамов Р. Ш.* Повышение эффективности эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта при перевозке зерновых грузов. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна., г. Днепропетровск, 2020.

Диссертация посвящена проблеме повышения эффективности системы эксплуатации подвижного состава при перевозке зерновых грузов железнодорожным транспортом на экспорт.



В диссертации выполнен всесторонний анализ проблемы повышения эффективности железнодорожных перевозок зерновых грузов к морским портам на экспорт. Среди основных проблем – значительная распыленность станций погрузки и несовершенная система планирования перевозок. Для преодоления этих проблем предлагается внедрять отправительской маршрутизацию, а ее планирование осуществлять с использованием научного подхода.

Получен комплекс зависимостей, определяющих эффективность использования железнодорожного транспорта при перевозке зерна в зависимости от расстояния, формы собственности вагонов и системы организации перевозок.

Для оценки эффективности различных вариантов технологии перевозок зерна использована усовершенствованная имитационная модель железнодорожного направления.

Для определения возможных районов концентрации погрузки зерна разработана методика, основанная на методах кластерного анализа и многокритериальной оптимизации. Полученное решение позволяет охватить отправительской маршрутизацией 7,5 млн. т. зерна. Выполненные исследования показали, что маршрутизация позволяет сократить оборот вагона при перевозке зерна в порт на 27%...50%, а производительность вагона увеличить на 25...75%.

*Ключевые слова:* экспорт зерна, железнодорожные перевозки, эксплуатация вагонов, маршрутизация перевозок, концентрация погрузки, имитационное моделирование, оборот вагона.

## ABSTRACT

*Rustamov R.* Improving the operational efficiency of railway rolling stock during the transportation of grain cargo. – Manuscript of qualification scientific work.

The dissertation for obtaining a scientific degree of a Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), specialty 05.22.20 – operation and repair of vehicles. – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2019.

The dissertation contains the results obtained by the author, which together solve the scientific and practical problem of increasing the efficiency of transporting grain cargo by rail to seaports by improving the operating system of the rolling stock.

The aim of the study is to increase the efficiency of the wagon fleet in the transportation of grain to sea ports through the introduction of senders routing of wagon flows. The scientific results obtained in the thesis, as well as the developed methods, can be used to improve and evaluate the system of organization of wagon flows for the transportation of grain cargo by rail to ports for export, planning the distribution of grain cars for loading and traction rolling stock for grain trains.

The main text of the dissertation consists of four sections.

The first section contains a comprehensive analysis of the problem of improving the efficiency of rail transportation of grain cargo to seaports for export. Now Ukraine is confidently taking a leading position among world grain producers and exporters.

More than 95% of Ukrainian grain export is carried out through seaports; more

than 60% of grain cargoes are delivered to ports by rail. The analysis shows that the existing system of rail transportation of grain goods for export often shows its inefficiency. Among the main problems are the considerable dispersion and low loading capacity of the stations, the deterioration of wagons and the imperfect system of handling them, the shortage of locomotive traction, and the organization of transportation mainly by wagon consignments. One of the ways to increase the competitiveness of domestic grain on world markets is to build an effective system for operating rolling stock of railway transport in organizing export transportation.

An analysis of scientific sources and railway experience in other countries shows that the most promising direction for improving the system of transportation of bulk goods, in particular grain, is the routing of wagon flows.

The second section analyzes the existing system for ensuring the export of Ukrainian grain and explores the parameters of wagon flows with grain in the direction of seaports.

The system for exporting grain includes a grain storage system, transshipment facilities at sea ports and a grain transportation system. The analysis showed that the existing elevator and port infrastructure, as well as its development dynamics, give reason to positively assess the opportunities for mastering promising volumes of Ukrainian grain export. Grain is transported from linear elevators to ports by rail (up to 70% of the volume), road (about 30%) and river (up to 3%) transport.

One of the key problems of the existing system of rail transportation of grain cargo is the significant deterioration of the cars fleet, as well as an inefficient system of their operation. So, since 2016, the grain-cars fleet has increased by 40%, but wagons turnover has increased by 30%. One of the reasons for this situation is the significant dispersion of grain loading stations. One way to solve this problem is to concentrate loading grain at the nodal stations.

In the third section, a set of dependencies is obtained that determine the efficiency of using road or rail transport for the transportation of grain goods depending on the distance, type of rolling stock ownership and the operating system of the rolling stock.

The dissertation found that rail transport is more competitive than road transport at distances of more than 150 km when transported in Ukrzaliznytsia wagons and at distances of more than 500 km in new own wagons. It was determined that the minimum additional costs that are associated with the accumulation of cargo for the route train are achieved with a period of 4 ... 6 days and a distance of road transport up to 30 km. In addition, it was found that with the existing infrastructure for the accumulation and formation of the route train, the sender can reduce transportation costs by 30 UAH for each ton of grain, in comparison with carload shipments, and if there is also a fleet of own wagons – by 50...60 UAH / t

Given the stochastic nature of the railways work, it is advisable to use simulation modeling to evaluate the effectiveness of various options for the technology of rail transportation of grain cargo to sea ports. For this purpose, in the dissertation, the simulation model of freight transportation in the railway direction was improved by taking into account the possibility of organizing the movement of shipping routes

from hub loading stations, in particular according to a schedule. This model allows you to study the effectiveness of different technologies for organizing wagon flows with grain.

In the fourth section, a methodology has been developed for choosing nodal stations and concentration areas of grain loading for the formation of route trains, which is based on the use of cluster analysis apparatus, set theory and multicriteria optimization. This methodology allows to take into account both the set of infrastructural and technological parameters of the transport network and operational and economic criteria of effectiveness.

The task of forming loading concentration areas around the node stations is formalized as a multi-criteria optimization problem with Boolean variables. In the final decision, 70 stations were included in 24 districts of grain loading concentration, which, with minimal additional costs, provides the maximum total volume of grain loading by route trains of about 7.5 million tons per year.

Studies carried out using the developed simulation model showed that the use of sender routing reduces the wagon turnover when transporting grain to the port by 27%, and the use of technology for the movement of route trains by schedule allows to reduce the wagon turnover by 50% and increase its productivity up to 2 times, by compared to carloads.

*Keywords:* grain export, rail transportation, wagon operation, routing, loading concentration, simulation, wagon turnover.

Наукове видання

**РУСТАМОВ РУСТАМ ШАІКОВИЧ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 02.04.2020 р.

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 0,9.

Тираж 100 примірників. Зам. №9

Дніпровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавця та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпро, 49010