

АНОТАЦІЯ

Хоменко Ю. Л. Підвищення ефективності транспортно–технологічної системи експорту зернових у змішаному автомобільно-залізнично-водному сполученні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології (за видами). – Український державний університет науки і технологій, МОН України, Дніпро, 2026.

Дисертацію присвячено вирішенню наукового завдання з підвищення ефективності транспортно-технологічної системи експорту зернових вантажів у змішаному автомобільно-залізнично-водному сполученні шляхом обґрунтування розмірів робочих парків транспортних засобів. Це дозволить прискорити процес транспортування та оптимізувати використання рухомого складу різних видів транспорту.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні науково-прикладного завдання оптимізації параметрів транспортно-технологічних ліній для забезпечення постачання значних обсягів зернових, зернобобових, продуктів перемолу та олійних від місць зародження до прикордонних митних переходів (як сухопутних, так і морських). В роботі вперше:

- формалізовано процес постачання зернових вантажів навалом у глобальних ланцюгах постачання на основі багатокритеріальної оптимізаційної моделі, що, на відміну від існуючих підходів, відображає функціонування єдиної автомобільно-залізнично-водної транспортно-технологічної системи;

- розроблено метод нормування парку транспортних засобів, який, на відміну від існуючих, передбачає централізоване управління парками транспортних засобів у межах єдиної системи типу «множина автомобілів – відправницький залізничний маршрут – морське судно» в ланцюзі постачання зернових;

- встановлено закономірності формування надлишкової вантажної маси та її грошового еквівалента залежно від розміру робочого парку транспортних

засобів у межах єдиної автомобільно-залізнично-водної транспортно-технологічної системи.

Доопрацьовано:

- імітаційну модель процесу постачання зернових вантажів, яка, на відміну від існуючих, передбачає оптимізацію параметрів єдиної автомобільно-залізнично-водної транспортно-технологічної системи за інтегральним критерієм мінімізації часу та системою критеріїв ефективності використання парків транспортних засобів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів, наведено загальну характеристику роботи.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану виробництва сільгосппродукції, теоретичних основ та технології організації перевезень зернових вантажів.

Визначено, що сільськогосподарська продукція, зокрема зернові, є ваговою складовою світового товарного ринку, що формує базис глобальної продовольчої безпеки. Україна є одним із найбільших країн-експортерів, яка до 2021 року забезпечувала близько 4% світового виробництва зернових, займаючи 5 місце серед експортерів пшениці станом на 2021/2022 м.р. Початок повномасштабної військової агресії російської федерації призвів до блокування морських портів, руйнації інфраструктури та скорочення доступних посівних площ. Наслідком цього стало скорочення врожайності основних культур на 22-30%.

Для забезпечення перевезень зернових на експорт використовуються різні види транспорту, основним із яких є залізничний, що пояснюється його можливостями перевезення великих обсягів вантажів з відносно невеликою собівартістю. До 2022 року понад 90% експорту зернових здійснювалося через морські порти, при цьому залізниця забезпечувала підвезення 55-60% обсягів, автомобільний транспорт – 30-35%, річковий – 7-10%.

Аналіз наукових праць дослідників, які вивчали питання організації та оптимізації перевезення вантажів маршрутами показало, що вони здебільшого

зосереджені на питаннях оптимізації маси та довжини, використання рухомого складу або зменшення собівартості перевезень. При цьому питання формування товарних запасів як на елеваторах у місцях зародження вантажопотоків, так і на шляху прямування та у морських портах залишалося поза увагою. Також недостатньо дослідженим залишилося питання впливу технології виконання перевезень на записи протягом всього ланцюга.

Встановлено, що методологічною основою сучасних досліджень є об'єктно-орієнтоване та агентне моделювання, що дозволяє симулювати поведінку потоків зернових в портах із врахуванням «запасів в дорозі». Використання програмного забезпечення, що поєднує дискретно-подійний та агентно-орієнтований підходи (наприклад, AnyLogic), дозволяє визначити комплексні раціональні показники роботи ланцюга з урахуванням затримок та порушень.

Повернення до традиційних напрямків транспортування зернових вантажів – через морські порти, знов актуалізувало питання оптимізації процесу змішаних перевезень. Аналіз проведених досліджень показав, що як інструменти покращення досліджувалися різні варіанти покращення роботи різних елементів цієї системи – маршрутизація залізничних перевезень, створення мережі вузлових елеваторів для концентрації маси зернових вантажів, впровадження руху маршрутних поїздів за розкладом. Проте, аналіз цих досліджень показав, що ряд питань, зокрема пов'язаних із розв'язанням питань щодо оптимізації роботи транспортних засобів та раціональної кількості запасів на шляху прямування залишилися не вирішеними.

Аналіз наукових праць дозволив встановити, що питання підвищення ефективності транспортно-технологічних ліній перевезення зернових вантажів на експорт є актуальним. Щодо інструментів, які використовуються для проведення моделювання роботи мультимодальних систем перевезення зернових вантажів, дослідженням встановлено, що агентне моделювання є сучасним та актуальним інструментом, який дозволяє виконати всебічний аналіз всіх параметрів транспортно-технологічних ліній перевезення зернових вантажів.

Другий розділ присвячено аналізу сучасного стану та напрямків розвитку транспортно-технологічних ліній. Визначено, що Україна має стабільно зростаючий аграрний сектор, зокрема у 2021 році спостерігався найбільший в історії країни обсяг експорту пшениці. Встановлено, що ще до початку військової агресії проти нашої країни національна транспортна система стикалася із складнощами організації перевезень зернових вантажів на експорт, що в свою чергу впливає на світову продовольчу безпеку.

Було виконано дослідження ринку зернових за 2021/22 маркетинговий рік, яке встановило, що Україна входить до п'ятірки лідерів з експорту зерна пшениці. При цьому найбільші країни-експортери знаходяться на значній відстані, що вимагає ефективної організації ланцюгів постачання зернових та підвищення відмовостійкості транспортної системи та аграрно-промислового комплексу. Проведений аналіз обсягів виробництва зернових в Україні показав, що найбільші обсяги виробляються у Вінницькій (65956,5 тис. ц.), Чернігівській (57334,1 тис. ц.) та Полтавській (56837,0 тис. ц.) областях. Дослідження обсягів відправки зернових на експорт по регіональних філіях акціонерного товариства «Українські залізниці» встановило, що найбільшими відправниками є Південно-Західна та Південна регіональні філії.

Також у розділі проведено аналіз рейтингу пунктів пропуску міждержавного кордону за річними обсягами перевезень вантажів. Аналіз показав, що найбільший обсяг зернових переміщується через Південний та Миколаївський морський порти (13818,4 тис. т. та 5087,2 тис. т. відповідно). Встановлено, що станом на кінець 2021 року загальний обсяг експортованих вантажів становив близько 28,414 млн тонн без урахування разових автомобільних перевезень у міжнародних перевезеннях. Водночас після початку агресії з боку РФ, окупації частини Херсонської області та постійних обстрілів Миколаївського торговельного порту могли бути використані практично лише порти «Великої Одеси»: Одеса, Чорноморськ, Південний та інші південно-західні порти, такі як Рені. Для встановлення раціональних маршрутів просування зернових складено матриці відстаней перевезень між залізницями відправлення та морськими

портами, через які здійснюється експорт продукції. Пропорційним методом, за аналогією з вартістю перевезень в країнах ЄС та США, було складено матрицю вартості транспортування 1 тони зернових вантажів залізничним транспортом для подальшого визначення економічного ефекту.

У розділі проаналізовано ефективність сучасних транспортно-технологічних ліній, при цьому розглянуто три основних варіанти транспортування за участю різних видів транспорту, як із застосуванням пунктів консолідації вантажів, так і без них. Встановлено, що з технічної точки зору, поєднання морського, залізничного та автомобільного транспорту є найбільш ефективним.

Проведений аналіз інфраструктури морських портів показав, що розвивати їх досить складно через щільну міську забудову навколо них та складність відчуження необхідних територій. Це спонукає відправників перевозити зернові виключно автомобільним транспортом від місць збору врожаю до порту, оскільки це вимагає мінімуму залучення інфраструктури, але в той же час негативно відбивається на вартості транспортування. Таким чином, постає науково-прикладне завдання оптимізації параметрів транспортно-технологічних ліній для забезпечення постачання значних обсягів зернових, зернобобових, продуктів перемолу та олійних від місць зародження до прикордонних митних переходів (як сухопутних, так і морських). Як показало дослідження, це завдання особливо актуальне для регіонів Південно-Західної та Південної філій.

Третій розділ присвячено математичному моделюванню транспортно-технологічної лінії доставки зернових у змішаному сполученні. Було сформовано наукове завдання – провести обґрунтування оптимальних параметрів транспортно-технологічної системи доставки зернових з України у глобальних маршрутах постачання. В якості критерію оптимізації було обрано час доставки вантажів, оскільки саме цей показник враховує можливі затримки, порушення у роботі та раціональне використання рухомого складу і транспортної інфраструктури. Також цей критерій адекватно відображає раціональність

технологічних процесів різних видів транспорту, ефективність їх взаємодії та організацію роботи пунктів консолідації вантажів.

Формалізовано процес доставки зернових у глобальних ланцюгах постачання шляхом розробки математичної (імітаційної) моделі з визначеним критерієм оптимізації. Як критерій оптимізації обрано час доставки, який є ключовим показником ефективності транспортно-технологічної системи. Розроблена модель враховує основні складові часу перевезення, зокрема використання автомобільного, залізничного та морського транспорту. Цільова функція моделі представлена в неявному вигляді, що потребує її реалізації за допомогою комп'ютерної імітації. Імітаційна модель процесу доставки зернових у змішаному автомобільно-залізнично-водному сполученні враховує багатофазовий і складний характер цього процесу з багатьма вихідними параметрами, підсистемами та технологічними елементами.

Для забезпечення достовірності результатів проведено серію експериментів із однаковою кількістю реплікацій (400 реплікацій) та різною тривалістю модельного часу (від 1 до 30 місяців). Встановлено, що за граничного значення однієї реплікації та модельного часу не менше трьох місяців забезпечується достовірність результатів на рівні 95% із похибкою, що не перевищує 0,05.

Для практичного використання теоретичних положень, запропонованих у цьому розділі, прийнято рішення в подальшому реалізувати модель на прикладі одного з типових для України ланцюгів постачання зернових. Це дозволить визначити числові значення оптимальних параметрів транспортно-технологічної системи постачання зернових у змішаному автомобільно-залізнично-водному сполученні.

У четвертому розділі розроблені практичні рекомендації щодо вдосконалення технологічних ліній доставки зернових у змішаному сполученні. Використовуючи результати проведеного статистичного аналізу та математичного моделювання, а також за допомогою розробленої оптимізаційної та імітаційної моделі здійснено серію експериментів для моделювання умов перевезення зернових вантажів з України на експорт.

Експериментальні дослідження включали три серії експериментів, спрямованих на аналіз різних обсягів вантажоперевезень із Полтавської області. Перший експеримент базувався на даних 2021 року із річним обсягом перевезень 883 560 тонн. Другий експеримент враховував прогнозований річний обсяг перевезень у розмірі 1 млн тонн. Третій експеримент був спрямований на аналіз прогнозованого обсягу 1,5 млн тонн.

Результати дослідження показали, що щільність ймовірності розподілу часу очікування вантажів для вантажних автомобілів та залізничних відправницьких маршрутів відповідає нормальному закону розподілу. Аналогічно, щільність розподілу часу обороту вантажних автомобілів та залізничних маршрутів також підпорядковується нормальному закону розподілу.

Встановлено, що для типових технологічних умов експлуатації транспортних засобів та технологічних систем перевезення зернових культур обсягом 883 560 тонн на рік оптимальні параметри робочого парку складають 79 вантажних автомобілів (із коефіцієнтом завантаження парку 0,54) та три залізничні відправницькі маршрути (із коефіцієнтом завантаження парку 0,63%).

Для перевезення одного мільйона тонн зернових на рік оптимальний робочий парк становить 92 вантажні автомобілі (із коефіцієнтом завантаження 0,52) та чотири залізничні відправницькі маршрути (із коефіцієнтом завантаження 0,54%). У випадку перевезення 1,5 мільйона тонн на рік необхідно задіяти 106 вантажних автомобілів (із коефіцієнтом завантаження 0,68) та п'ять залізничних відправницьких маршрутів (із коефіцієнтом завантаження 0,64%).

У кожному з розглянутих випадків забезпечується оптимальний рівень завантаження парку транспортних засобів, що дозволяє досягти мінімально можливого часу доставки вантажів по суші. Відповідно до порядкових номерів експериментів цей час становить 322 години, 292 години та 217 годин.

За отриманими даними визначено умови, за яких формуються надлишкові запаси вантажів на транзитних пунктах перевантаження. Такі запаси виникають через неефективне використання транспортного парку, що обумовлено

технологічними затримками, відмовами під час вантажних операцій або зменшенням розмірів робочого парку.

Встановлено, що обсяг критичної маси для автомобільної транспортної мережі формується за лінійною закономірністю залежно від розміру робочого парку автомобілів. Для залізничної транспортної мережі ця закономірність є нелінійною.

Встановлено залежності між середнім часом доставки вантажів по суші та обсягом формування вантажної маси для автомобільної та залізничної транспортних систем. Для автомобільної транспортної системи ці залежності з високою імовірністю апроксимуються логарифмічними функціями, тоді як для залізничної транспортної системи – лінійними функціями.

Виявлено закономірності формування річного обсягу надлишкової вантажної маси та її грошового еквіваленту залежно від розміру робочого парку транспортних засобів. Зокрема, встановлено критичне зниження потреби в рухомому складі порівняно з раніше визначеними граничними рівнями сталого функціонування транспортних систем. Для автомобільної транспортної системи така залежність, аналогічно до закономірності формування вантажної маси, є лінійною, тоді як для залізничної транспортної системи – нелінійною.

При зменшенні робочого парку вантажних автомобілів на 12 одиниць (25% від гранично допустимого розміру парку) наприкінці року експлуатації накопичується 237 000 тонн вантажної маси, що за даними 2025 року еквівалентно 45 млн доларів США. Аналогічне зменшення робочого парку залізничних відправницьких маршрутів на одну одиницю (50% від гранично допустимого рівня) призводить до формування 544 000 тонн вантажної маси, що за біржовими цінами 2025 року становить 106 млн доларів США.

Результати експериментів свідчать, що збільшення робочого парку відносно оптимальних розрахункових значень не покращує технологічні показники функціонування транспортних систем, зокрема середній час доставки вантажу. Натомість це призводить до зростання часу очікування транспортними засобами

вантажів для відправлення та збільшення тривалості вантажного обороту транспортних засобів.

Ключові слова: залізничний транспорт, маршрут, зернові вантажі, надлишкова вантажна маса, моделювання, інтермодальні перевезення.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

Публікації у науковому фаховому виданні України категорії «Б», що включене до міжнародних наукометричних баз:

1. Хоменко Ю. Л., Окороків А. М. Дослідження експортних вантажопотоків зернових з України. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2023. Вип. 26. С. 85–92. DOI: 10.15802/tstt2023/293358.

2. Khomenko Yu., Matsiuk V., Okorokov A., Gorobchenko O. Development of a simulation model of grain delivery in global supply chains. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2024. Vol. 2, № 5. P. 21-35. DOI: 10.31548/dopovidi/5.2024.21.

3. Хоменко Ю. Л. Аналіз ефективності існуючих транспортно-технічних ліній транспортування зернових з України. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2025. Вип. 30. С. 79-87. DOI: 10.15802/tstt2025/340140.

Публікації у фаховому виданні України категорії «А», що включене до міжнародних наукометричних баз:

4. Khomenko Yu., Okorokov A., Matsiuk V., Zhuravel I., Pavlenko O. Revealing the causes of delays at transit points along an intermodal grain supply chain. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 4, № 3 (136). P. 40-50. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.338166.

5. Zaruba O., Okorokov A., Vernyhora R., Prokopa O., Khomenko Yu. Assessing the efficiency of centralized use of train formations within an extensive supply network for metallurgical production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 5, № 3 (137). P. 48–56. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.342416

Додаткові праці апробаційного характеру:

Тези доповіді:

6. Огороков А. М., Вернигора Р. В., Хоменко Ю. Л. Альтернативні варіанти перевезення аграрної продукції на експорт та їх загальна оцінка. *Збірник тез доповідей наукової конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету (м. Київ, Україна, 17–19 травня 2023 року)*. Київ: НТУ, 2023. Вип. 79. С. 341-342.

7. Khomenko Y., Okorokov A., Vernyhora R. Logistics systems for the export of agricultural products of Ukraine in the context of military aggression. *The proceedings of the international scientific-practical conference on «The fourth industrial revolution and innovative technologies» (м. Гянджа, республіка Азербайджан, 2–3 травня 2023 року)*. Баку: АТУ, 2023. Ч. 2. С. 309-310.

8. Огороков А. М., Вернигора Р. В., Хоменко Ю. Л. Проблеми та ризики при перевезенні зернових через західні кордони України. *Матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро, Україна, 20–21 квітня 2023 року)*. Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 250-251.

9. Хоменко Ю. Л., Огороков А. М. Моделювання процесу доставки зернових у напрямку ЄС. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Університетська наука – 2024» (м. Дніпро, Україна, 23-24 травня 2024 року)*. Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2024. Том 1. С. 195-197.

10. Хоменко Ю. Л. Формалізація процесу постачання зернових у глобальних ланцюгах постачання. *Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених «Наука і сталий розвиток транспорту 2024» (м. Дніпро, Україна, 27 листопада 2024 року)*. Дніпро: УДУНТ, 2024. С. 55-56.

11. Огороков А. М., Хоменко Ю. Л., Medina Carlos Moyses Carranza. Складові системи моделі постачання зернових вантажів на експорт. *Тези 13-ї міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи взаємодії*

залізниць та промислових підприємств» (м. Дніпро, Україна, 28-29 листопада 2024 року). Дніпро: УДУНТ, 2024. С. 64-65.

12. Хоменко Ю. Л., Огороков А. М. Оптимізація параметрів лінії постачання зернових у змішаному сполученні. *Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Університетська наука – 2025» (м. Дніпро, Україна, 15-16 травня 2025 року). Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2025. Том 1. С. 173-174.*

Хоменко Ю. Л., Огороков А. М. Підвищення ефективності інтермодальних ланцюгів постачання зернових засобами агентної симуляції. *Матеріали 21 науково-практичної міжнародної конференції «Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика» (м. Харків, Україна, 5-6 червня 2025 року). Харків: УкрДУЗТ, 2025. С. 169-171.*