

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ**  
Транспортних технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
транспортних технологій  
Олександр САВОЙСЬКИЙ

---

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему Удосконалення процесу завантаження автотранспортних засобів для перевезення сільськогосподарської продукції ФОП «Гетьман Олександр Іванович»

Виконав:	_____	Олександр ГЕТЬМАН
Група		ТРТ <u>2301 с.т.</u>
Науковий керівник	_____	Віталій КОЛОДНЕНКО
Рецензент	_____	Дмитро БОРОДАЙ

# СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## Факультет будівництва та транспорту

Кафедра транспортних технологій

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 275 «Транспортні технології (за видами)»

Спеціалізація 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

транспортних технологій

Олександр САРЖАНОВ

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Олександр ГЕТЬМАН

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Удосконалення процесу завантаження автотранспортних засобів для перевезення сільськогосподарської продукції ФОП «Гетьман Олександр Іванович»
2. Керівник кваліфікаційної роботи: ст. викладач Колодненко Віталій Миколайович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом закладу вищої освіти від “28” листопада 2024 року № 3915/ос
3. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 20 червня 2025 року
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи Річні звіти базового підприємства, нормативно технічна документація, літературні джерела
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: анотація, зміст, вступ, аналітичний розділ, технологічний розділ, охорона праці на підприємстві, економічне обґрунтування, висновки, список використаної літератури, додатки
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Ілюстративний матеріал у вигляді презентації Microsoft Power Point на аркушах (слайдах) формату А4

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці на підприємстві</i>	Ст.викладач Таценко О.В.		
<i>Економічне обґрунтування</i>	к.е.н., доцент Тарельник Н.В.		

8. Дата видачі завдання 25 грудня 2023 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Обрання теми	до 25.12.2023 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 31.03.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 29.04.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 27.05.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналітична частина»	до 07.10.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Технологічна частина»	до 03.02.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Охорона праці на підприємстві»	до 10.03.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Економічне обґрунтування»	до 12.05.2025 р.	
9.	Написання висновків та пропозицій	до 02.06.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 10.06.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 16.06.2025 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 23.06.2025 р.	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександр ГЕТЬМАН  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Віталій КОЛОДНЕНКО  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Гетьман Олександр Іванович.** Удосконалення процесу завантаження автотранспортних засобів для перевезення зерна.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра за освітньою програмою «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» зі спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)», спеціалізації 275.03 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності логістичних процесів під час завантаження зерна в автотранспорт на прикладі діяльності господарства ФОП «Гетьман Олександр Іванович». Основною метою дослідження є удосконалення технологічної та організаційної складових завантажувальних операцій із метою зменшення втрат, мінімізації простоїв техніки та підвищення загальної продуктивності логістичної системи.

У роботі проаналізовано недоліки існуючих практик: нерівномірність завантаження кузовів, просипання продукції, перевантаження, недостатній контроль маси, відсутність черговості подачі транспорту, значні простої. Встановлено, що ці проблеми пов'язані з відсутністю автоматизації, недостатнім технічним забезпеченням і неефективним управлінням логістикою. Запропоновано комплекс рішень, зокрема впровадження автоматизованих систем завантаження, електронних вагових платформ, GPS-навігації та електронної черги для оптимізації руху транспорту.

Особливу увагу приділено розробці імітаційної моделі логістичного процесу та оптимізаційної моделі на основі лінійного програмування. В моделюванні використано реальні дані щодо технічних параметрів машин, врожайності, відстаней до складів. Змодельовано 1800 сценаріїв, що дозволило оцінити вплив різної кількості транспортних одиниць на простій техніки та економічні втрати. Результати показали можливість скорочення

простоїв на 30–60% та зменшення логістичних втрат до 98 тис. грн/день у пікових навантаженнях.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці під час завантаження та перевезення зерна: організація передрейсових оглядів, техніка безпеки для водіїв та операторів, забезпечення засобами індивідуального захисту, дотримання інструкцій і нормативів безпечної роботи з сипучими вантажами.

Також проаналізовано економічну ефективність впровадження автоматизованих рішень: доведено, що модернізація логістичних процесів дозволяє підвищити пропускну здатність на 30%, знизити втрати зерна на 14% та скоротити час завантаження зернового з 35 до 12 хвилин. Окупність впровадження таких рішень у господарствах середнього масштабу становить 1–2 роки.

Результати дослідження можуть бути використані для впровадження сучасних підходів до аграрної логістики в інших сільськогосподарських підприємствах, забезпечуючи підвищення ефективності, надійності та економічної сталості транспортно-логістичних операцій.

**Ключові слова:** аграрна логістика, завантаження зерна, автотранспорт, моделювання, оптимізація, імітаційна модель, простої техніки, GPS-навігація, автоматизовані системи, охорона праці.

## ABSTRACT

**Hetman Oleksandr Ivanovych.** Improvement of the Process of Loading Motor Vehicles for Grain Transportation.

Qualification work for the Bachelor's degree in the educational program «Transport Technologies (on Automobile Transport)» of specialty 275 "Transport Technologies (by type)», specialization 275.03 «Transport Technologies (on AutomobileTransport)». Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work addresses the improvement of logistical processes during the loading of grain into vehicles, using the example of the farm of FOP "Hetman Oleksandr Ivanovych." The main objective of the study is to enhance the technological and organizational components of loading operations to reduce losses, minimize vehicle downtime, and increase the overall productivity of the logistics system.

The study analyzes the shortcomings of existing practices, such as uneven cargo distribution in truck bodies, grain spillage, vehicle overloading, insufficient weight control, lack of a transport queue system, and significant downtime. These issues are linked to the absence of automation, insufficient technical support, and inefficient logistics management. The work proposes a range of solutions, including the implementation of automated loading systems, electronic weighing platforms, GPS navigation, and electronic transport queuing to optimize vehicle flow.

Particular attention is paid to the development of a simulation model of the logistics process and an optimization model based on linear programming. The simulation utilizes real data on machinery specifications, grain yield, and distances to storage facilities. A total of 1,800 scenarios were modeled to assess the impact of different numbers of transport units on equipment downtime and economic losses. The results demonstrated the potential to reduce downtime by 30–60% and decrease logistical losses by up to UAH 98,000 per day during peak periods.

A separate section is devoted to occupational safety during grain loading and transportation: pre-trip vehicle inspections, safety measures for drivers and operators, provision of personal protective equipment, and compliance with regulations for the handling of bulk goods.

The study also evaluates the economic efficiency of implementing automated solutions: it was shown that modernization of logistical processes can increase throughput by 30%, reduce grain losses by 14%, and cut grain truck loading time from 35 to 12 minutes. The payback period for such improvements in medium-scale enterprises is estimated at 1–2 years.

The findings of this research can be applied to implement modern approaches to agricultural logistics in other enterprises, ensuring improved efficiency, reliability, and economic sustainability of transport-logistics operations.

**Keywords:** agricultural logistics, grain loading, motor transport, simulation, optimization, downtime, automated systems, GPS navigation, safety, FOP «Hetman Oleksandr Ivanovych».

## Вступ

**Актуальність теми.** Сучасна транспортна логістика в аграрному секторі є складною адаптивною системою, яка постійно вдосконалюється для задоволення зростаючих потреб виробництва, враховуючи сезонні коливання навантаження, просторову розосередженість полів та обмеженість технічних ресурсів. Особливо важливим є етап завантаження автотранспорту зерном, адже він визначає ефективність усієї логістичної ланки «поле – склад – споживач».

Тема є надзвичайно актуальною в умовах зростання конкуренції та необхідності зменшення втрат продукції під час збирання. Недосконалість існуючих логістичних рішень часто призводить до перевантажень, втрат зерна, затримок та простоїв, що негативно позначається на рентабельності аграрного виробництва. Саме тому пошук шляхів удосконалення процесу завантаження зерна в автотранспорт є важливим науковим і практичним завданням.

**Мета роботи.** Основна мета цієї кваліфікаційної роботи полягає в дослідженні організаційно-технологічних аспектів логістики завантаження зерна та розробці практичних рекомендацій щодо її оптимізації шляхом застосування моделювання, автоматизації та сучасних ІТ-рішень.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є логістична система господарства ФОП «Гетьман Олександр Іванович», зокрема процеси організації перевезень зерна з поля до складу.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження виступає процес завантаження зерна в автотранспортні засоби, а також оптимізація використання техніки, розподіл транспортних одиниць, імітаційне моделювання та інші логістичні інструменти управління перевезеннями сільськогосподарської продукції.

**Завдання роботи.** У процесі дослідження передбачається виконання таких завдань:

- надати загальну характеристику підприємства;

- виявити основні проблеми, пов'язані з процесом завантаження зерна;
- проаналізувати існуючі методи та засоби завантаження;
- розробити імітаційну модель логістичного процесу перевезень зерна;
- побудувати оптимізаційну модель розподілу техніки;
- здійснити економічну оцінку ефективності запропонованих рішень;
- розглянути питання охорони праці при перевезенні зерна.

Для реалізації поставлених завдань використано фактичні дані підприємства, результати польових випробувань, а також наукову літературу, аналітичні джерела й законодавчі документи з логістики та сільськогосподарського виробництва.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг основного тексту становить 48 сторінок. До списку використаних джерел включено 20 найменувань. У додатках містяться допоміжні таблиці, схеми, графіки та результати моделювання, які поглиблюють і доповнюють основний зміст роботи.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

### 1.1. Актуальність теми та огляд підприємства

У ході здійснення господарської діяльності більшість аграрних підприємств в Україні та за її межами зазвичай віддають перевагу використанню власного парку сільськогосподарської техніки. Це пояснюється не лише економічною доцільністю, а й прагненням досягти максимальної самостійності у виконанні ключових виробничих операцій. Такий підхід розглядається як стратегічно виправдане рішення, яке забезпечує стабільність і безперервність технологічного процесу. Залежність від сторонніх виконавців, як правило, супроводжується ризиками затримок, невиконання графіків або невідповідності якості робіт. Особливо це критично для галузей із чітко регламентованими виробничими циклами, зокрема біотехнологічного агропромисловництва. Тут вкрай важливо суворо дотримуватись встановлених агротехнічних термінів: усі операції мають проводитись у строго визначені часові рамки — не раніше й не пізніше запланованого. Будь-яке порушення цих строків неминуче веде до втрат — як у кількісному, так і в якісному вимірах, знижуючи продуктивність і рентабельність виробництва.

Особливістю аграрного виробництва є його циклічний характер, пов'язаний із сезонною природою виконання основних видів робіт. У переважній більшості випадків головне навантаження припадає на теплі місяці — весняно-літній і частково осінній періоди. В інші пори року активність різко спадає. Саме через таку нерівномірність виникає проблема раціонального формування машинно-тракторного парку. Підприємства не можуть дозволити собі утримувати надлишкову кількість техніки, яка буде використовуватись лише короткий час упродовж сезону, а решту року простоюватиме, генеруючи витрати на зберігання, обслуговування і амортизацію. Це змушує аграріїв приймати компромісні рішення,

намагаючись забезпечити оптимальний баланс між потребами та наявними ресурсами. Як наслідок, окремі агротехнічні операції здійснюються в умовах недостатньої кількості техніки або навіть її тимчасового дефіциту. У такі моменти господарства можуть звертатися до залучення орендованої техніки. Проте це рішення розглядається як крайній захід, оскільки в періоди високого попиту — передусім під час збирання врожаю — оренда техніки суттєво дорожчає. У деяких випадках вартість залучення сторонніх комбайнів або вантажних машин перевищує витрати на використання власного технічного ресурсу в кілька разів.

Зважаючи на викладене, питання логістики та ефективного управління технічними засобами в аграрному секторі набуває особливої актуальності. Ця проблематика активно вивчається як українськими, так і зарубіжними дослідниками. У наукових працях висвітлюються різноманітні аспекти логістичних процесів у сільському господарстві. Зокрема, вивчаються питання маршрутизації руху техніки з урахуванням географії полів, особливостей дорожньої інфраструктури та часових обмежень (наприклад, Vochtis, D. та ін.). Дослідники також аналізують етапність та часову координацію операцій зі збирання врожаю, включаючи завантаження і вивезення продукції (Orfanou, A. та ін.). Значна увага приділяється застосуванню мобільних зернових накопичувачів і бункерів-накопичувачів, що дозволяють гнучко управляти логістикою зберігання (Лунякін В. Н.). Ще одним важливим напрямом є моделювання економічної доцільності різних підходів до організації збирання врожаю з використанням сучасних імітаційних інструментів (Amiata, S. та ін.). Це дозволяє створювати сценарії розвитку подій, прогнозувати витрати та обирати оптимальні рішення на основі кількісного аналізу.

Розподіл перевезень зерна за видами транспорту у 2024 році

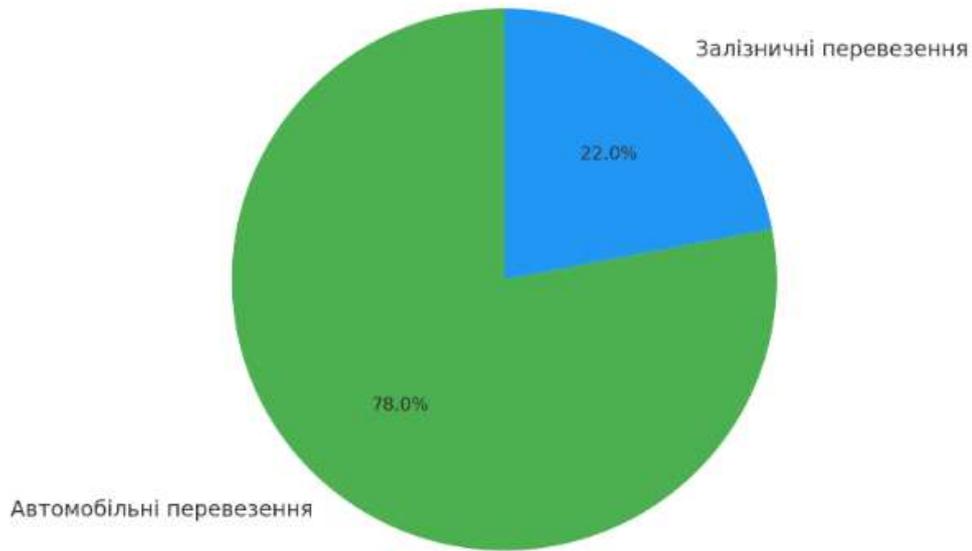


Рис. 1. Розподіл перевезень між автомобільним та залізничним транспортом

Разом із тим, попри наявність вагомих теоретичних напрацювань, велика частина запропонованих моделей і підходів розроблялася без урахування специфіки національного аграрного ринку, особливостей кліматичних умов і структури сільськогосподарських підприємств в Україні. Тому одним з основних завдань сучасних досліджень є адаптація існуючих підходів до реальних умов. У межах цього дослідження було здійснено спробу синтезу двох підходів — імітаційного моделювання та методів математичної оптимізації — для вирішення конкретної прикладної задачі: ефективного розподілу обмеженого транспортного ресурсу між різними об'єктами господарювання. Зокрема, розглядалася задача координації руху транспортних одиниць між полями та пунктами збирання продукції з урахуванням тимчасових і просторових обмежень, структури парку техніки, топографії місцевості та сезонної змінності навантаження.

Наукова робота структурована логічно й послідовно, включаючи кілька ключових розділів. У вступі розглянуто передумови дослідження, окреслено його мету та завдання, а також обґрунтовано наукову і практичну значущість теми. У другому розділі, що має назву «Матеріали і методи»,

докладно описано етапи проведення польових експериментів, які були потрібні для збору вихідної інформації про параметри техніки, темпи збирання врожаю, логістику перевезень тощо. Окремо подано інформацію про методи верифікації розробленої імітаційної моделі, що дозволило перевірити її адекватність і достовірність результатів. Також у цьому розділі наведено опис кількох практичних сценаріїв, які були реалізовані для перевірки працездатності та ефективності створеного аналітичного інструменту.

У розділі «Результати» наведено детальний аналіз усіх отриманих даних, включаючи числові характеристики вхідних параметрів, графіки, таблиці, опис поведінки моделі в різних умовах, а також результати аналізу демонстраційних сценаріїв. Було здійснено порівняння фактичних і змодельованих результатів, що дозволило оцінити точність прогнозів та потенційний економічний ефект від застосування моделі в практичній діяльності. Завершальний розділ — «Висновки» — містить стислий виклад основних наукових і прикладних результатів роботи. У ньому узагальнено зроблені висновки, подано пропозиції щодо можливостей застосування розробленого підходу в реальних умовах агровиробництва, а також окреслено перспективи подальших досліджень, пов'язаних із розвитком логістичних систем і вдосконаленням методів керування технічними ресурсами у сільському господарстві.



Рис. 2. Автомобіль (зерновоз)

### 1.2. Основні проблеми при завантаженні зерна

У ході проходження виробничої практики нами було здійснено комплексне спостереження та аналіз процесів завантаження зерна в автомобільний транспорт, які є ключовою складовою логістичного циклу у зерновому господарстві. У результаті цього аналізу було виявлено ряд типових, але водночас суттєвих проблем, що не лише знижують оперативність логістичних операцій, але й негативно впливають на загальні показники ефективності сільськогосподарських підприємств. Зокрема, йдеться як про технологічні втрати продукції, так і про зайві витрати ресурсів, нераціональне використання часу, людських і технічних потужностей.

До основних проблем, з якими підприємства найчастіше стикаються в процесі завантаження зерна в автотранспорт, належать наступні:

Нерівномірний розподіл маси зерна в кузові вантажного автомобіля. Це відбувається як через недосконалість завантажувального обладнання, так і через відсутність візуального або автоматизованого контролю. Така ситуація може спричинити порушення центру мас транспортного засобу, що

суттєво впливає на його стійкість під час руху, особливо на поворотах і підйомах. У гіршому випадку можливе перекидання або пошкодження ходової частини автомобіля.

Втрати зерна внаслідок просипання. Причини цього явища криються у фізичному зношенні кузовів транспортних засобів, особливо у місцях з'єднань металевих елементів або відкидних бортів. Також значний вплив має людський фактор — неакуратне поводження із завантажувальним обладнанням, недостатній контроль під час маневрування, що спричиняє розсипання продукції біля місця завантаження, а отже — втрати товарної маси.

Відсутність автоматизованих систем завантаження. У багатьох господарствах донині використовуються ручні або напівавтоматизовані методи завантаження. Це призводить до значного уповільнення всього процесу, зростання витрат робочого часу, втоми персоналу та ймовірності помилок, а також ускладнює дотримання точності за масою та об'ємом завантаженої партії.

Невпорядкованість подачі транспорту до завантаження. Через відсутність чіткої черговості або графіка прибуття автомобілів часто утворюються черги, простої, непорозуміння між водіями та операторами, що затримує загальний цикл логістики. Це призводить до нераціонального використання трудових ресурсів, перевитрати пального та зниження пропускної здатності пункту завантаження.

Недостатній контроль маси завантаженого зерна. У тих випадках, коли немає вагового контролю або він виконується неточно, відбувається перевантаження автомобілів. Це небезпечно як з точки зору технічної зносостійкості транспорту, так і в контексті законодавчих вимог. Зокрема, порушення гранично допустимого навантаження на осі може призвести до штрафів або навіть до заборони експлуатації техніки.

Інтенсивне пиловиділення під час відкритого завантаження зерна. Цей чинник має кілька негативних наслідків. По-перше, він погіршує умови

праці обслуговуючого персоналу, підвищує ризик професійних захворювань дихальних шляхів. По-друге, підвищується загальний рівень забруднення повітря у робочій зоні. По-третє, пил може осідати на елементи техніки, сприяючи зносу та корозії.

Сукупна дія цих факторів суттєво ускладнює організацію безперервного виробничого процесу. Вони прямо або опосередковано впливають на фінансову стабільність аграрного підприємства, збільшуючи обсяг непродуктивних витрат та знижуючи загальну ефективність логістичних операцій. До того ж, у разі регулярних порушень технологічних і технічних норм підвищується ймовірність аварій, позапланових простоїв, необхідності капітального ремонту автотранспорту.

Окрему увагу слід звернути на той факт, що неправильне або недбале завантаження зерна може стати причиною серйозних механічних пошкоджень вантажного транспорту. В деяких випадках такі пошкодження вимагають дороговартісного ремонту або навіть виведення транспортного засобу з експлуатації. Якщо ж ідеться про міжнародні або міжобласні перевезення, то невідповідність нормам перевезення може викликати юридичні наслідки: накладення штрафів, затримання транспорту на контрольних пунктах, або повернення вантажу від замовника.

Крім того, у багатьох регіонах України, особливо в сільській місцевості, зернові господарства зіштовхуються з серйозними інфраструктурними проблемами. Вузькі, неукріплені під'їзні дороги, які під час дощів перетворюються на брудові пастки, значно ускладнюють логістику. Це створює додаткові перешкоди в організації оперативного завантаження, змушує підприємства застосовувати додаткові витрати на підготовку під'їзних шляхів, іноді навіть на буксирування техніки.



Рис. 3. «Розбита» ділянка дороги після інтенсивних процесів перевезення зерна перевантажувачами

### 1.3. Шляхи удосконалення процесу завантаження зерна

З метою підвищення ефективності завантажувальних операцій пропонуються наступні технічні та організаційні заходи:

Автоматизація процесу завантаження. Встановлення стрічкових, шнекових або пневматичних транспортерів із системами автоматичного регулювання подачі зерна дозволяє не лише забезпечити рівномірність розподілу маси у кузові, але й значно скоротити тривалість завантаження. Така система може бути інтегрована із ваговим контролем та механізмами зворотного зв'язку.

Механізація завантаження. У випадках роботи в польових умовах доцільним є використання мобільних завантажувальних пристроїв: зернопогрузчиків шнекового, ковшового або вакуумного типу. Це дає змогу зменшити залежність від стаціонарної інфраструктури та працювати в умовах обмеженого простору або при нестабільній погоді.

Організація ефективного контролю маси. Оснащення пунктів завантаження електронними ваговими платформами або вбудованими в бункери сенсорами ваги дозволяє виключити випадки перевантаження, уникнути штрафів, а також створити прозору систему контролю за обсягами продукції.

Інтеграція ІТ-технологій. Впровадження ERP-систем, модулів

планування логістики, автоматичного розрахунку черговості подачі транспорту, а також систем GPS-контролю забезпечує високий рівень координації всіх учасників процесу. Це дозволяє уникнути простоїв, забезпечити рівномірне навантаження техніки та знизити витрати пального.

Покращення інфраструктури завантажувальних майданчиків. Проведення ремонту або повної модернізації під'їзних шляхів, встановлення бетонних або асфальтованих платформ, навісів для захисту від атмосферних опадів створює умови для стабільної, безпечної і якісної роботи.

Відеоаналітика та моніторинг якості. Встановлення відеокамер дає змогу фіксувати увесь процес завантаження в реальному часі, оперативно виявляти відхилення, реагувати на порушення технології. Це також дисциплінує персонал і мінімізує людський фактор. Додатково варто впровадити сенсорні системи контролю вологості, засміченості або температури зерна.

Упровадження перелічених заходів у сукупності здатне суттєво підвищити ефективність логістичних процесів при завантаженні зерна, зменшити втрати продукції, знизити ризики аварій та порушень, а також покращити економічні результати діяльності аграрного підприємства. Таблиця 1

Порівняльна характеристика методів завантаження зерна

Метод завантаження	Продуктивність, т/год	Рівень втрат	Автоматизація
Ручне завантаження	3–5	Високий	Низька
Шнековий транспортер	20–30	Середній	Середня
Пневмотранспортер	40–60	Низький	Висока
Стрічковий транспортер	50–100	Дуже низький	Висока

#### 1.4. Приклад удосконалення на практиці

На базі зернового складу ТОВ «Агрополіс», що розташований у Роменському районі, було впроваджено сучасну автоматизовану систему завантаження, яка поєднує GPS-навігацію, електронне зважування та відеоспостереження. Ключовим елементом оновлення стала система електронної черги, завдяки якій вдалось усунути простої транспорту та підвищити загальну ефективність логістичних операцій.

Результати, отримані після впровадження технологічної модернізації, засвідчують її високу ефективність:

Час завантаження одного автомобіля скоротився з 35 до 12 хвилин, що дозволило значно підвищити пропускну спроможність складу;

Втрати зерна зменшились на 14% завдяки точному дозуванню та зменшенню просипань;

Покращено умови праці та підвищено рівень безпеки персоналу, зокрема за рахунок зниження рівня пилу та зменшення ручної праці;

Суттєво знижено витрати на паливо й технічне обслуговування, що стало можливим завдяки скороченню часу простою та оптимізації маршрутів.

Цей приклад наочно демонструє ефективність інвестування в цифрові технології та автоматизовані системи управління аграрною логістикою. Впровадження подібних рішень сприяє не лише підвищенню продуктивності, а й забезпечує довгострокову економічну вигоду для підприємства.

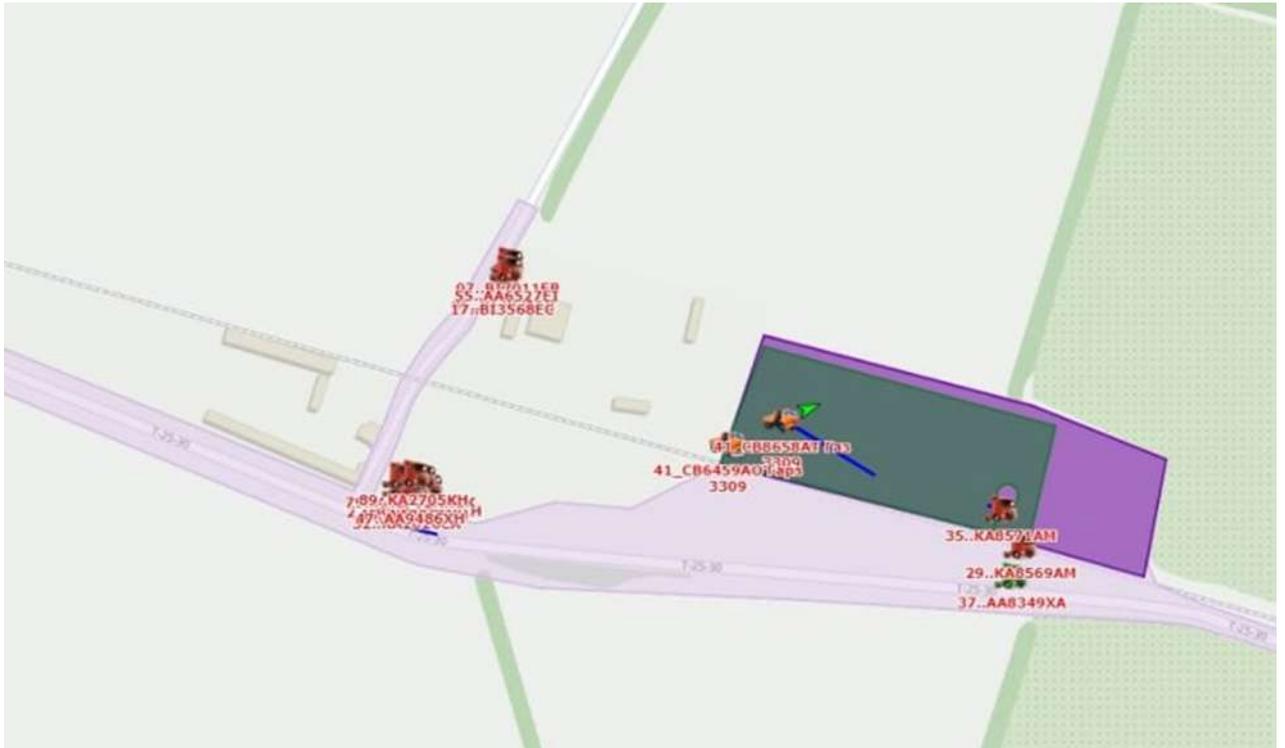


Рис. 4. Контроль оптимізації руху зерновозів

Ще одним прикладом успішного удосконалення є ТОВ «Агрополіс», яке впровадило автоматизовану сортувальну систему до процесу завантаження. Це дозволило не лише пришвидшити сам процес, а й забезпечити поділ зерна за якісними показниками вже на етапі перед відправкою.

Окрім цього, підприємство запровадило систему мотивації для операторів завантажувальних ліній — їх ефективність оцінюється за часом безперебійної роботи і мінімізації втрат.

З економічної точки зору, впровадження автоматизованих систем завантаження окупається протягом 1–2 років завдяки:

- зменшенню втрат продукції;
- економії на паливно-мастильних матеріалах;
- зменшенню витрат на оплату праці;
- зниженню простоїв транспорту.

В умовах конкурентного ринку аграрна логістика повинна бути максимально ефективною. Саме тому інвестиції у модернізацію

завантажувальних процесів є виправданими навіть для господарств середнього масштабу.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ

### 2.1. Огляд інструментів.

Розглянута задача може бути описана в компактній формі наступним чином: заданий ряд полів з індивідуальними характеристиками (площа, віддаленість від складів, урожайність) та система машин (характеристики комбайнів, пунктів розвантаження, транспортних машин та максимальна кількість доступних транспортних одиниць). Мета – найбільш ефективно розподілити наявний набір транспортних засобів (ТЗ), щоб мінімізувати втрати в ланцюжку прибирання-транспортування-приймання. Для пояснення впливу додаткових транспортних одиниць на зниження втрат у збиральному ланцюзі, транспортні одиниці вважаються ідентичними за своєю вантажопідйомністю та швидкістю руху.

Для моделювання згаданого вище завдання у загальному вигляді відстань від поля до пункту розвантаження та врожайність розглядалися як дискретні величини. Позначимо як  $D = \{1, 2, 3, \dots\}$  безліч різних значень відстані від поля до пункту розвантаження і  $Y = \{1, 2, 3, \dots\}$  безліч різних рівнів урожайності. Набір  $A = \{A_{ij} \mid i \in D, j \in Y\}$  є набір полів, що підлягають збиранню, що характеризуються показниками віддаленості поля від пункту розвантаження та рівнем врожайності. Позначимо через  $U_{\max}$  максимальну кількість доступних транспортних одиниць, а через  $N_{\max}$  максимальна кількість збиральних комплексів. Виходячи з викладеного генеруються потенційно можливі збиральні ланцюжки, кількість яких дорівнює  $|D| * |Y| * N_{\max} * U_{\max}$ . Кожен робочий ланцюжок характеризується чотирма ознаками, а саме відстанню від поля до пункту розвантаження  $d_i$ , де  $i \in D$ , урожайністю  $y_j$  де  $j \in Y$ , характеристиками комплексу збиральних агрегатів  $h_k$ ,  $k \in \{1, \dots, N_{\max}\}$ .

Для вирішення задачі був використаний підхід, що включає два основні процеси, а саме моделювання та оптимізація на основі лінійного програмування. Імітаційна модель на підставі вхідних даних виконує моделювання для кожного робочого ланцюга, генеруючи матрицю витрат,

пов'язаних із простоем транспортних та прибиральних одиниць. Кожен елемент матриці витрат  $c_{ijkl}$  представляє вартість втрат, пов'язаних із простоем техніки на день для конкретного робочого ланцюжка. Ця матриця забезпечує введення для подальшого процесу лінійного програмування.

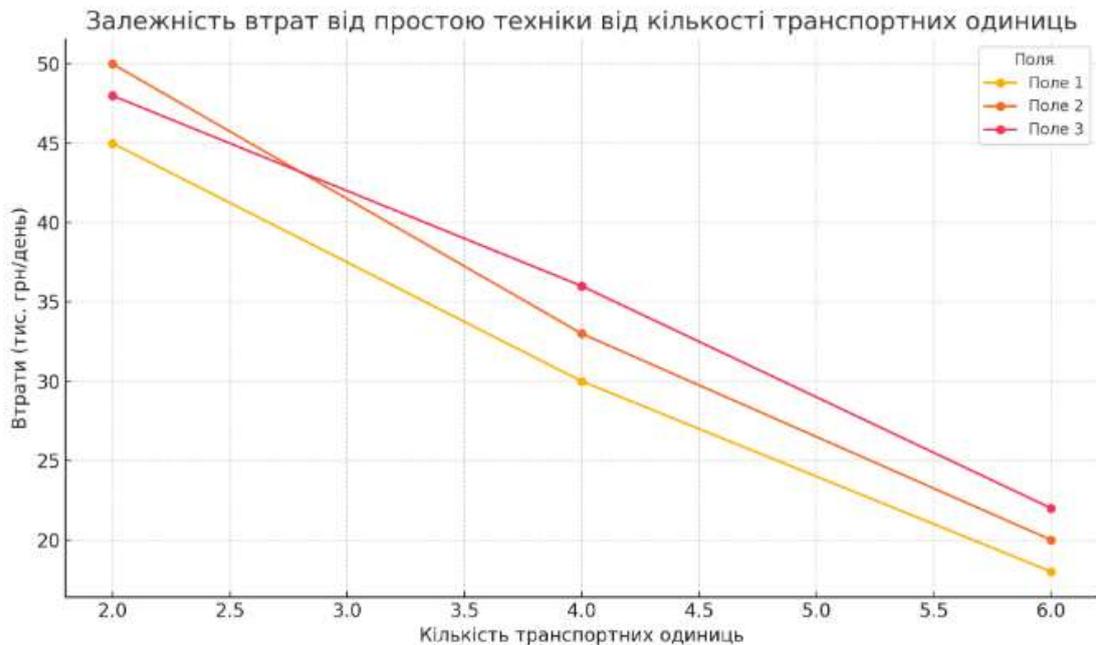


Рис. 5. Залежність витрат від простою техніки

На графіку видно, як змінюються втрати від простою техніки залежно від кількості закріплених транспортних одиниць для кожного з трьох полів. Чим більше транспортних засобів виділено на обслуговування збирального комплексу, тим меншими стають втрати — це ілюструє оптимізаційну мету задачі лінійного програмування: мінімізувати простої шляхом правильного розподілу ресурсів.

Завдання лінійного програмування можна сформулювати наступним чином: при заданому наборі площ, що забираються, і вартості втрат від простоїв знайти оптимальний розподіл наявних комплексів прибиральних агрегатів по полях і оптимальну кількість транспортних одиниць, які повинні бути закріплені за кожним комплексом для мінімізації загальних витрат від простою техніки.

## 2.2. Імітаційна модель

Логістичні операції, пов'язані з процесом прибирання зерна, охоплюють три ключові операції, які можуть здійснюватися як паралельно, так і послідовно, залежно від організації процесу на полі. Ці операції включають безпосереднє збирання зерна, його транспортування до пункту розвантаження, а також логістичне планування і координацію між транспортними і збиральними одиницями.

Збирання зерна здійснюється за допомогою спеціалізованої техніки — зернозбирального комбайна. Ця машина є центральним елементом у системі збирання врожаю та виступає первинною, базовою одиницею виконання основної операції. Зернозбиральні комбайни, як правило, оснащені містким бункером для тимчасового зберігання зібраного зерна. Завдяки цьому бункеру комбайн може безперервно працювати протягом певного часу — зазвичай у межах 15–30 хвилин — навіть за відсутності поруч транспортної одиниці, призначеної для прийому зібраного врожаю.

Однак після повного заповнення бункера комбайн змушений припинити збирання і здійснити вивантаження зерна у транспортний засіб. Якщо транспортний засіб відсутній або прибуває із затримкою, комбайн змушений простоювати, очікуючи на можливість вивантаження. Така вимушена зупинка негативно впливає на ефективність процесу збирання, зменшує продуктивність і призводить до зростання витрат.

Переривання роботи комбайна супроводжується значними економічними втратами. Вони виникають, насамперед, унаслідок осипання зерна на полі, що спостерігається при порушенні оптимальних термінів збирання. Якщо строки затягуються, втрати врожаю можуть досягати до 1,1% на день, що еквівалентно приблизно 1 центнеру зерна з кожного гектара поля.

Для зменшення простоїв комбайнів та забезпечення їх безперервної роботи важливо правильно організувати рух транспортних засобів. Зокрема, необхідно скоротити час циклу перевезення зерна з поля до

пункту розвантаження. Чим ефективніше буде організовано цей процес, тим менше шансів, що комбайн зупиниться через заповнений бункер. Утім, варто враховувати й інший аспект: надмірна кількість транспортних машин у господарстві або на полі спричиняє надлишкові експлуатаційні витрати, які не завжди виправдані з економічної точки зору.

Після збирання зерно транспортується вантажними машинами до місця подальшого розвантаження, доопрацювання і зберігання. Процес транспортування включає низку окремих тимчасових операцій, що формують повний логістичний цикл. До них належать: переїзд порожнього транспортного засобу з бази до поля, очікування завантаження на краю поля, процес завантаження зерна з бункера комбайна, транспортування повного навантаження до пункту призначення, маневрування в межах території розвантаження та, безпосередньо, саме розвантаження.

Ці етапи потребують чіткої координації та планування, адже затримки на будь-якому з них впливають на загальну ефективність логістичної системи прибирання.

На рисунку 3 наочно представлено процес моделювання збирання зерна за допомогою методології IDEF, що використовується для структурованого аналізу, оптимізації і візуалізації складних систем управління та логістики.

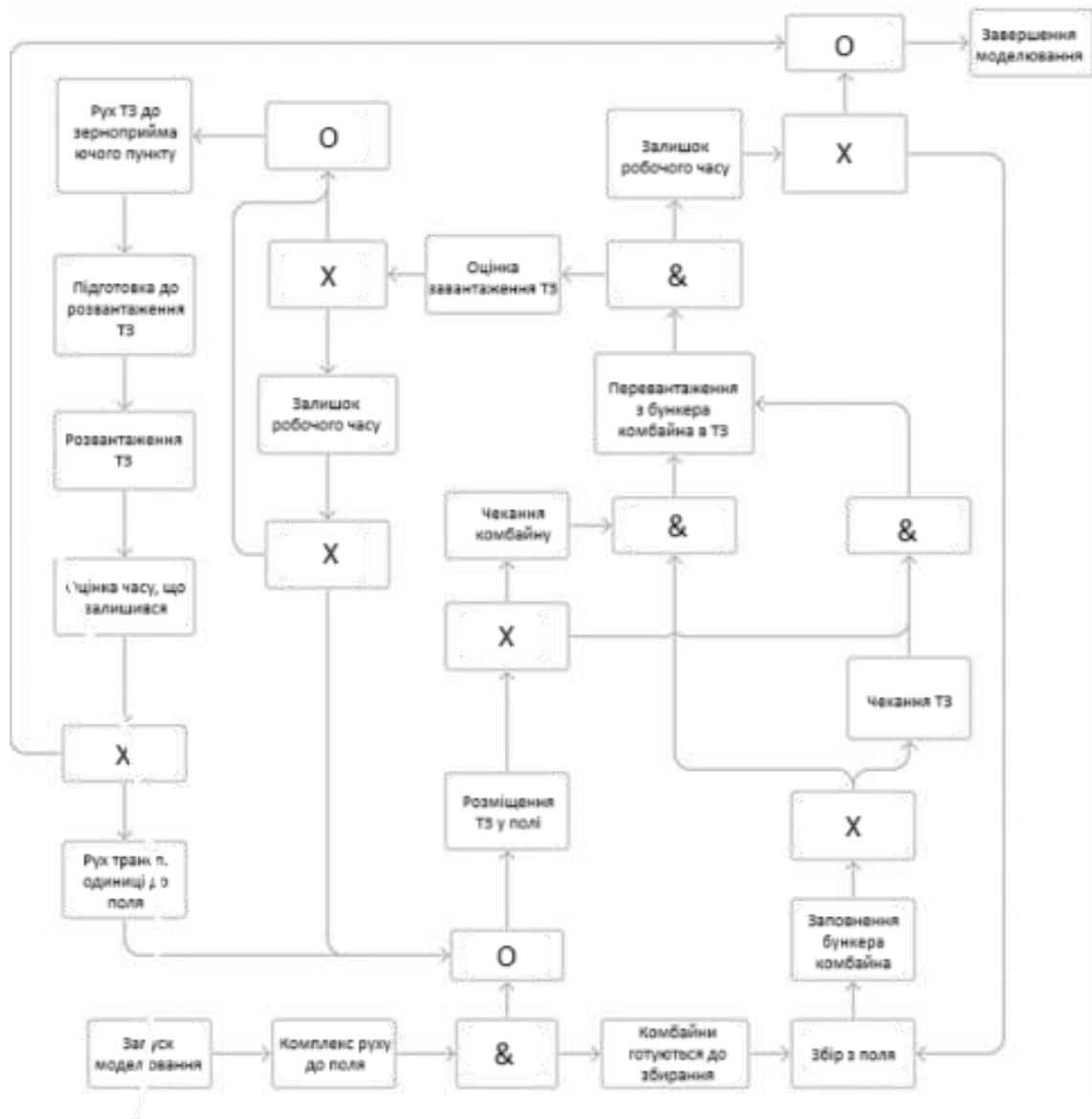


Рис. 3. Технологічна схема IDEF імітаційної моделі. Для сполук IDEF3 асинхронне I (&): всі попередні (наступні) дії повинні бути завершено (почати); асинхронне

АБО (O): одне або кілька попередніх (наступних) дій мають бути завершені (почати); що виключає АБО (X): завершено (почато) рівно одну попередню (наступну) дію.

### 2.3. Модель оптимізації

Для моделювання задачі як задачі лінійного програмування визначаються змінні рішення, а саме:

-  $a_{ijkl} \in \{0,1\}$ , яка визначає чи буде поле  $A_{ij}$ ,  $i \in D$ ,  $j \in Y$  забиратися комплексом  $H_k$ ,  $k \in \{1, \dots, h_{\max}\}$  за підтримки  $l \in \{1, \dots, u_{\max}\}$

транспортних одиниць.

Завдання можна сформулювати наступним чином: Мінімізувати:

$$C = \sum_{i=1}^{|D|} \sum_{j=1}^{|Y|} \sum_{k=1}^{h_{max}} \sum_{l=1}^{u_{max}} a_{ijkl} * c_{ijkl} \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^{h_{max}} \sum_{l=1}^{u_{max}} a_{ijkl} = 1, \quad \forall i \in D, j \in Y \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{|D|} \sum_{j=1}^{|Y|} \sum_{l=1}^{l_{max}} a_{ijkl} = 1, \quad \forall k \in \{1, \dots, H_{max}\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{|D|} \sum_{j=1}^{|Y|} \sum_{k=1}^{h_{max}} \sum_{l=1}^{u_{max}} a_{ijkl} * l \leq U_{max} \quad (4)$$

Перше обмеження гарантує, що кожне заплановане під прибирання поле отримає призначений прибиральний комплекс, друге обмеження гарантує, що кожен прибиральний комплекс отримає призначене поле, а третє обмеження забезпечує, що кількість задіяних транспортних одиниць не перевищить їхньої максимальної кількості.

Реалізація системи. Дискретну імітаційну модель було розроблено з допомогою високорівневого мови програмування

Python. Для оптимізації лінійного програмування використовувався пакет MS Excel «Пошук рішень».

#### 2.4. Кількісна оцінка вхідних даних

Для кількісної оцінки вхідних параметрів моделювання було проведено серію польових випробувань у ТОВ "Агрополіс" (Сумська область) на чотирьох ділянках.

Параметри, що були виміряні у польових випробуваннях, включали: робочу швидкість комбайна, час вивантаження бункера, швидкість руху транспортної одиниці з повним завантаженням, швидкість руху порожньої транспортної одиниці, час вивантаження транспортної одиниці на пункті розвантаження.

Крім того, під час перевірки інструменту також були виміряні розміри

кожного поля, відстань від поля до місця розвантаження та врожайність кожного поля.

Перевірка імітаційної моделі. Три із чотирьох областей, де проводилися польові випробування (дільниці №1, №2 та №3), використовувалися для кількісної оцінки вхідних даних. Ці вхідні дані використовувалися на наступному етапі для моделювання операції на четвертій ділянці (дільниця №4). Фактичні вихідні параметри, які відстежуються під час польових випробувань, порівнювалися з вихідними параметрами моделювання.

Сценарії змодельованих експериментів. Для демонстрації та аналізу функціональних можливостей модуля моделювання була проведена серія експериментів, що моделюються. Змодельовані експерименти стосуються операцій на площі 1375 га, що складаються з 10 полів (табл.1), розташованих на різній відстані від пункту розвантаження. У контрольованих операціях використовувалася характеристики існуючих в ФОП «Гетьман» машин, наприклад, ширина захоплення жнивarki, обсяг бункера комбайна, вантажопідйомність транспортних коштів і т.д. При моделюванні було зроблено розрахунки для 3-х прибиральних комплексів, кожен із яких складався з схожих за основним характеристикам (робоча швидкість, ширина жнивarki, обсяг бункера) машин (табл. 2).

Таблиця 1

Список полів, для яких робилося імітаційне моделювання

№ Поля	Площа поля, га	Відстань до поля, км	Врожайність зерна, ц/га
4/01	163	14.8	69
4/05	178	3.4	85
4/06	217	7.3	74
4/08	168	9.2	72
4/20	85	9.8	56
4/22	85	10.3	74
4/25	138	12.0	69

4/28	85	10.8	77
4/29	145	11.3	58
4/32	111	10.5	66

Таблиця 2

### Збиральні комплекси

№ Комплексу	Число машин, шт.	Ширина захоплення жнивarki, м	Об'єм бункера, кг	Робоча швидкість, км/год
1	6	9	6500	5,4
2	7	9	6500	5,4
3	5	7	5000	5,4

Змодельовані експерименти складаються з серії сценаріїв, створених комбінацією масштабованих значень наступних операційних вхідних параметрів (залежними значеннями):

- Відстань від поля до пункту розвантаження варіювалася від 1 км до 20 км;
- Врожайність озимий пшениці від 60 до 80 ц/га з кроком 5 ц/га;
- Кількість доступних для кожного комплексу транспортних одиниць варіювалася від 2 до 7 з кроком збільшення 1;
- Розрахунок робився для кожного прибирального комплексу виходячи з кількості комбайнів, що входять до нього, та їх характеристик.

Комбінації цих факторів дають 1800 змодельованих експериментів.

Для кожного сценарію результати були надані такими показниками ефективності (за 10-годинну робочу зміну):

- час простою комбайнів комплексу через очікування транспортних засобів;
- час простою транспортних засобів через очікування комбайнів;
- Сумарні витрати, пов'язані з втратою робітника часу.

Для демонстрації Інструментом було розглянуто три різні сценарії розподілу збиральних комплексів і машин по полях, що являють собою типову ситуацію планування збиральних робіт на день. Три сценарії включають:

- Сценарій А: під прибирання призначаються поля 4/01, 4/05 і 4/06;
- Сценарій Б: під прибирання призначаються поля 4/01, 4/25 і 4/29;
- Сценарій В: під прибирання призначаються поля 4/05, 4/25 і 4/28.

Максимальна кількість доступних транспортних засобів для всіх комплексів дорівнювало 12 одиницям.

Результатом змодельованих експериментів для наведених вище сценаріїв є оптимальний розподіл збиральних комплексів та транспортних машин для кожного поля.

Оцінка витрат на простий комбайна була заснована на величині втрат від обсіпання зерна на ділянці, який міг би бути прибраний комбайном за вказаний час (2500 грн. за 1 годину) та вартості робочої сили (700 грн./год). Оцінка витрат на простий транспортний засіб була заснована на вартості робочої сили (600 грн./год).

## 2.5. Отримані результати.

Кількісна оцінка вхідних даних польовими випробуваннями Зібрані дані роботи техніки під час польових випробувань на трьох ділянках були використані для визначення наступних вхідних параметрів:

- Робоча швидкість комбайна (км/год) -  $\mu=5.4$ ,  $\sigma=1.3$ ;
- Час вивантаження бункера (мін) -  $\mu= 1.5$ ,  $\sigma = 0.3$ ;
- Час розвантаження транспортної одиниці (мін) -  $\mu=10.1$ ,  $\sigma = 2.7$ ;
- Швидкість руху завантаженого ТЗ (км/год):  $v = \min(15.42+1.26d;42)$ ;

• Швидкість руху порожнього ТС (км/год):  $v = \min(17.04 + 1.39d; 47)$ .

Де  $v$  позначає швидкість руху, а  $d$  означає відстань від поля до пункту розвантаження (км).

Для оцінки точності роботи імітаційної моделі було проведено перевірку результатів моделювання шляхом порівняння змодельованих та фактично зафіксованих вихідних параметрів на п'яти полях, розташованих у межах ділянки №4.

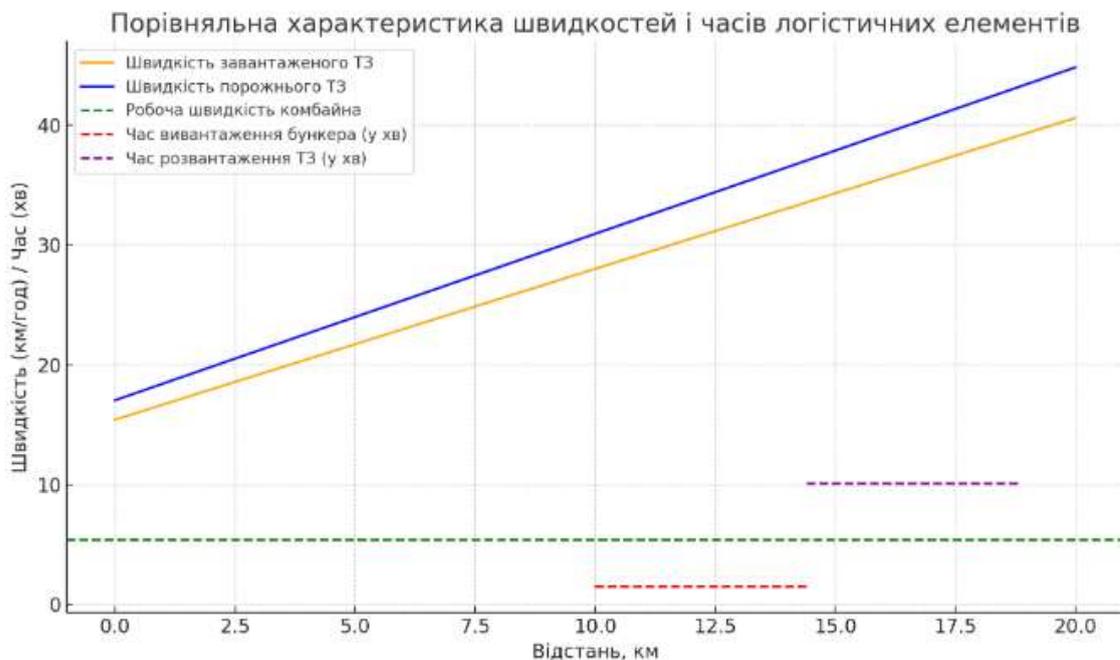


Рис. Порівняльна характеристика швидкостей

Цей графік ілюструє залежність швидкості руху завантаженого і порожнього транспортного засобу від відстані до пункту розвантаження, а також показує фіксовані значення робочої швидкості комбайна (5.4 км/год), часу вивантаження бункера (1.5 хв) і розвантаження транспортного засобу (10.1 хв). З нього видно:

Швидкість порожнього ТЗ зростає швидше, ніж завантаженого.

Обидві швидкості досягають плато при 20–25 км.

Усі технологічні дії комбайна мають значно менші значення, тому швидкість транспорту є критичною для зменшення простоїв.

Під час моделювання були використані реальні характеристики збирального комплексу, а також фактична кількість задіяних транспортних засобів, що забезпечило адекватність початкових умов.

Аналіз показав, що похибка моделювання не перевищувала  $\pm 20\%$ , що свідчить про достатній рівень точності моделі. Варто зазначити, що найбільше відхилення було зафіксоване в одному з випадків, де спостерігалось нетипове організаційне рішення — для розвантаження використовувався окремий склад, що дозволило значно скоротити час на вивантаження та, відповідно, зменшити простої техніки.

Отримані результати підтверджують надійність і практичну придатність моделі для аналізу логістичних процесів у сільськогосподарському виробництві.

### РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці при транспортуванні сільськогосподарської продукції є надзвичайно важливою складовою організацій безпечної діяльності аграрного підприємства. Забезпечення здорових та безпечних умов праці для водіїв, вантажників, операторів техніки та інших залучених осіб має бути пріоритетним завданням керівництва господарства. Враховуючи підвищену небезпеку, пов'язану з експлуатацією вантажного транспорту, процесами навантаження, транспортування і розвантаження продукції, особлива увага повинна приділятися дотриманню вимог техніки безпеки, охорони праці, а також норм чинного законодавства і правил дорожнього руху.

Перед початком перевезення транспортний засіб обов'язково має пройти передрейсовий технічний огляд. Цей огляд дозволяє своєчасно виявити несправності, які можуть створити небезпеку під час руху. Особливо ретельно перевіряється справність рульового управління, гальмівної системи, шин, зовнішніх світлових приладів, склоочисників, сигнальних пристроїв та дзеркал заднього виду. Усі виявлені несправності мають бути усунені до виїзду транспортного засобу. Додатково рекомендовано перевіряти рівень мастил, охолоджувальної рідини та герметичність паливної системи.

Водій повинен мати відповідну категорію посвідчення водія, пройти відповідне навчання та мати стаж роботи не менше одного року на аналогічному транспортному засобі. Обов'язковим є проходження щозмінного медичного огляду, зокрема для виявлення ознак перевтоми, хворобливого стану або дії алкоголю чи інших психоактивних речовин. Категорично забороняється допуск до керування водіїв, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного або токсичного сп'яніння, а також тих, хто демонструє ознаки психологічної або фізичної втоми, що можуть негативно вплинути на швидкість реакції та здатність приймати рішення.

Організація навантаження і розвантаження сільськогосподарської продукції має проводитися лише під наглядом кваліфікованої та відповідальної особи. Усі працівники, що беруть участь у цих процесах, повинні проходити обов'язкові інструктажі з охорони праці: вступний, первинний на робочому місці, а також періодичний повторний — не рідше ніж раз на шість місяців. Також важливо проводити позапланові інструктажі у випадку змін у виробничому процесі або в разі настання нещасного випадку.

Працівники повинні бути повністю забезпечені сертифікованими засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисними касками, рукавицями, захисним взуттям з антиковзкими підшвами. У холодну пору року необхідне забезпечення теплим одягом, терморукавицями та головними уборами, які не обмежують огляд і не перешкоджають виконанню робіт. У місцях з підвищеним шумом працівникам слід видавати протишумові навушники або вкладиші.

Продукція, що перевозиться, повинна бути надійно закріплена в кузові транспортного засобу. Розміщення вантажу має бути рівномірним, з урахуванням максимально допустимого навантаження на вісь, зазначеного виробником автомобіля. Особливої уваги вимагає транспортування сипучих матеріалів, таких як зернові культури, оскільки під час руху вони можуть зміщуватися, змінювати центр ваги та створювати додаткове навантаження на борти кузова. Це підвищує ризик перекидання транспортного засобу, особливо на поворотах та спусках.

Рух транспортних засобів по території агропромислового підприємства має відбуватися лише за заздалегідь розробленими маршрутами, які враховують розташування складів, елеваторів, вагових комплексів та інших об'єктів. Необхідно встановити обмеження швидкості руху, розмітку і знаки безпеки. У нічний час або в умовах недостатньої видимості водій зобов'язаний увімкнути сигнальне освітлення, скористатися світловідбивальними елементами, а також забезпечити

достатню освітленість навколишньої території при маневруванні або навантаженні.

Перевезення сільськогосподарської продукції передбачає підвищену обережність під час проходження складних і небезпечних ділянок дороги — різких поворотів, крутих підйомів і спусків, ділянок із поганим дорожнім покриттям, мостів та залізничних переїздів. На таких відрізках шляху водіям заборонено здійснювати обгони, різке гальмування або зміну смуги руху. Особливу увагу слід приділяти дотриманню дистанції, що забезпечує безпечну зупинку транспортного засобу у разі аварійної ситуації.

Для водіїв слід організувати раціональний режим праці та відпочинку, який передбачає безперервне керування транспортним засобом не довше 4 годин поспіль, після чого необхідна перерва тривалістю не менше 15 хвилин. Загальна тривалість робочого часу за зміну має відповідати чинному трудовому законодавству. У разі перевищення дозволеного часу перебування за кермом зростає ризик виникнення аварійних ситуацій через втому або зниження концентрації уваги.

У разі виникнення аварійної ситуації або технічної несправності під час руху, водій зобов'язаний негайно зупинити транспортний засіб у безпечному місці, увімкнути аварійну сигналізацію, встановити знак аварійної зупинки на відповідній відстані та повідомити про подію диспетчера або відповідальну особу. Усі дії водія мають бути чітко регламентовані внутрішніми інструкціями підприємства, які потрібно вивчати на періодичних інструктажах.

На підприємстві повинні регулярно проводитися тематичні навчання, семінари та перевірки знань з охорони праці серед водіїв, механізаторів, вантажників та інших працівників, що беруть участь у логістичних процесах. Особливу увагу слід приділяти профілактиці професійних захворювань, контролю за психоемоційним станом працівників, організації належного харчування та відпочинку в польових умовах.

Таким чином, комплексне дотримання заходів з охорони праці при транспортуванні сільськогосподарської продукції не лише гарантує збереження життя та здоров'я працівників, а й сприяє безперебійному функціонуванню логістичних процесів, підвищенню продуктивності та зниженню ризиків. Це, в свою чергу, позитивно впливає на економічну стабільність та конкурентоспроможність агропромислового підприємства в сучасних умовах господарювання.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ВИКОРИСТОВУВАНОЇ СХЕМИ

### 4.1. Змодельовані експерименти.

Як зазначалося раніше (див. розділ 2), у межах цього дослідження було визначено й проаналізовано кілька ключових показників ефективності, які прямо впливають на оцінку логістичних рішень та їх економічну доцільність. До таких показників належать: час простою зернозбиральних комбайнів (у хвилинах), час простою транспортних засобів (також у хвилинах) та сумарні економічні втрати, які виникають унаслідок простоїв техніки під час виконання технологічного процесу. Саме останній із цих показників — економічні втрати в грошовому еквіваленті (у гривнях) — було визначено як основний інтегральний критерій ефективності. Такий вибір обумовлено тим, що цей показник комплексно враховує вплив усіх інших параметрів: організації часу, кількості техніки, врожайності, відстані до пункту розвантаження, а також просторової структури полів. Він дозволяє надати кількісну оцінку загальної логістичної ефективності та прийняти оптимальні рішення щодо перерозподілу ресурсів.

На рисунку 4 представлено динаміку змін загальних втрат, які є наслідком втрати робочого часу через простої, залежно від зміни відстані між полем і складом при різній кількості залучених транспортних засобів. Ці дані отримані шляхом моделювання ситуації для комплексу №1, за умови стабільної врожайності на рівні 70 центнерів з гектара. Саме така врожайність була обрана через її наближеність до середнього показника у регіоні та високу ймовірність виникнення транспортних «вузьких місць» при перевантаженні логістичного ланцюга.

Як видно з графіка, спостерігається чітка залежність рівня втрат від логістичної конфігурації:

При малій відстані (до 2 км) — найекономічнішим варіантом є

залучення трьох транспортних одиниць. У цьому випадку транспорт встигає здійснювати оборотний рейс без затримок, не утворюючи простоїв для комбайнів.

У діапазоні 3–4 км — мінімальні втрати досягаються при використанні чотирьох транспортних засобів, що компенсує зростання часу перевезення за рахунок збільшення їх кількості.

При відстані 6–10 км — необхідно залучати щонайменше п'ять одиниць транспорту, оскільки збільшення часу на один рейс (туди і назад) створює значні часові вікна, які без резерву транспорту неможливо закрити.

Для полів, розташованих на відстані 11–13 км — ефективне функціонування збирального комплексу забезпечується тільки при наявності шести або навіть семи машин. В іншому разі простої досягають критичного рівня.

Лише при віддаленості понад 14 км — стає обґрунтованим постійне використання семи одиниць транспорту, оскільки час вивезення зерна стає основним обмеженням для безперебійної роботи комбайнів.

Таким чином, результати моделювання чітко демонструють можливість формування персоналізованих рекомендацій для кожного типу логістичної ситуації. Підприємства можуть заздалегідь планувати кількість техніки для обслуговування полів, виходячи з їх віддаленості та врожайності, що дає змогу уникнути зайвих витрат і простоїв.

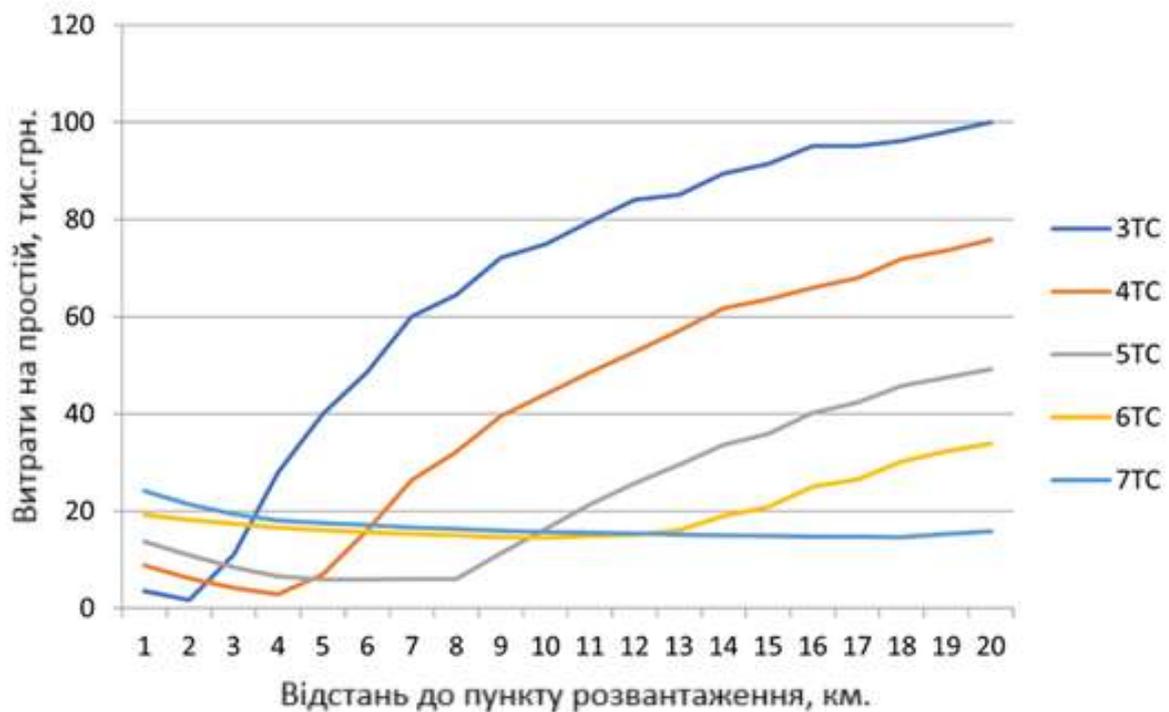


Рис. 4. Витрати пов'язані з простоем техніки

На рисунку 4 відображено саме ці залежності, які були підтверджені результатами оптимізації, отриманими на наступному етапі дослідження. Оптимізаційна частина моделювання базувалась на застосуванні симплекс-методу, одного з найефективніших способів розв'язання задач лінійного програмування. Було обрано три сценарії, які докладно описані в розділі «Матеріали та методи», для яких здійснено розрахунки оптимального розподілу технічних засобів (збиральних комплексів і транспортних одиниць) з метою мінімізації втрат від простою.

Усі результати були узагальнені в таблиці 3, яка надає розраховану конфігурацію робочих ланцюгів (які комбайни, які маршрути, яка кількість транспорту) та показує відповідні значення економічних втрат.

Згідно з цією таблицею:

Сценарій А показав найменші втрати — лише 36,6 тис. грн на добу, що пояснюється збалансованим розміщенням полів і оптимальним співвідношенням врожайності до кількості транспорту.

Для сценарію В, навіть при правильно підбраному транспортному

забезпеченні, втрати зросли до 56 тис. грн, оскільки врожайність полів була вищою. Це призвело до збільшення навантаження на транспорт і, відповідно, частіших затримок.

Сценарій Б, що включав найбільш віддалені поля (від 11 до 15 км від місця розвантаження), показав майже трикратне зростання втрат порівняно зі сценарієм А. Це зумовлено критичним браком транспорту, внаслідок чого зернозбиральні комбайни простоювали значну частину робочого часу, очікуючи прибуття вільного транспортного засобу.

Таблиця 3 таким чином відображає вихідні дані лінійного програмування і підтверджує доцільність використання математичних методів для вирішення практичних задач логістики в аграрному секторі. Всі ці результати мають прикладне значення і можуть бути адаптовані до конкретних умов господарств різного масштабу.

Таблиця 3

Вихід лінійного програмування: обрані робочі ланцюги для кожного комплексу і величина втрат від простою техніки

Збиральний комплекс	Сценарій А			Сценарій Б			Сценарій У		
	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..
Комплекс 1	4/01	5	28,7	4/29	4	33,3	4/28	5	28,7
Комплекс 2	4/05	4	3,8	4/25	5	18,7	4/05	4	3,8
Комплекс 3	4/06	3	4	4/01	3	46,0	4/25	3	23,5
Загальні втрати від простою в день (тис. грн..)			36,6			98,0			56,0

На рис. 5 представлений аналіз чутливості рішення, що надається інструментом оптимізації. Сценарій Б (поля, віддалені на відстані більше 10 км. від ферми) був оптимізований при поступовому збільшенні

кількості доступних транспортних засобів, щоб з'ясувати, коли забезпечуються мінімальні втрати від простоїв.

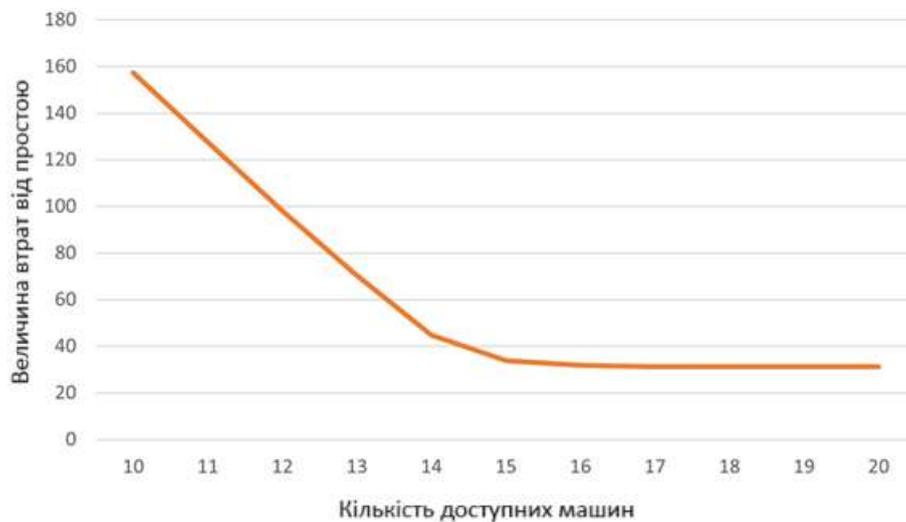


Рис. 5. Величина втрат від простою техніки за різної кількості максимально доступних транспортних засобів для сценарію Б (поля, розосереджені на відстані понад 10 км від пункту розвантаження)

Як видно з рис. 5, при зростанні кількості доступних транспортних засобів величина втрат швидко знижується в діапазоні від 10 до 15 доступних транспортних засобів, після чого стає практично незмінною. Більше того, за наявності 16 і більше транспортних засобів оптимальна модель задіює лише 16 з них. Таким чином, явно простежується необхідність збільшення парку транспортних засобів у ТОВ «Агрополіс» для забезпечення ефективного завантаження наявних збиральних агрегатів. Альтернативним рішенням може стати комбінування полів із різною віддаленістю від пунктів розвантаження.

## Висновки

У результаті проведеного дослідження було успішно розроблено, реалізовано та апробовано інструмент підтримки управлінських рішень, орієнтований на підвищення ефективності логістичних процесів під час збирання зернових культур. Основною перевагою цієї розробки стало поєднання методів імітаційного моделювання та оптимізаційного підходу, що забезпечило отримання точних прогнозів і дозволило комплексно оцінити взаємозв'язки між параметрами техніки, організаційними рішеннями та просторовими умовами логістики. Застосування таких підходів дало можливість більш обґрунтовано приймати рішення щодо розподілу технічних засобів, визначення пріоритетності завдань і уникнення надмірних втрат, пов'язаних із простоєм комбайнів або транспорту.

Було змодельовано 1 800 різноманітних сценаріїв збору врожаю на загальній площі 1 375 гектарів. Ця площа включала десять полів, які суттєво відрізнялися за такими характеристиками, як віддаленість до пунктів розвантаження (у межах від 3,4 до 14,8 км) і рівень урожайності (від 56 до 85 ц/га). Моделювання проводилося з урахуванням параметрів трьох збиральних комплексів, до складу яких входили 18 машин різного типу — з шириною захвату жниварок від 7 до 9 метрів і об'ємом бункера від 5 000 до 6 500 кг. Це дозволило отримати повноцінну картину завантаження техніки та оцінити варіанти її використання залежно від умов.

Імітаційна модель була особливо корисною для оцінки часу простою технічних засобів у різних логістичних ситуаціях. Це дозволило виявити критичні моменти в організації логістики — ті, де відсутність транспорту чи надмірна затримка впливають на економіку підприємства. Наприклад, у сценарії А при оптимальному розподілі ресурсів втрати від простою

техніки складала 36,6 тис. грн на день. Водночас у сценарії Б, де поля знаходилися на відстані понад 11 км від пункту розвантаження, ці втрати досягли 98,0 тис. грн, що свідчить про значну залежність логістичних витрат від просторового розміщення полів. Такі результати підтверджують необхідність більш гнучкого та адаптивного підходу до планування транспортного обслуговування в аграрному секторі.

Модель також враховувала важливі технічні характеристики машин. Середні значення таких параметрів, як швидкість руху комбайнів (5,4 км/год), час вивантаження бункера (1,5 хвилини) і час розвантаження транспортного засобу (10,1 хвилини), були отримані шляхом польових вимірювань. Особливу увагу було приділено швидкості руху транспорту: для завантажених і порожніх машин вона розраховувалась залежно від відстані та обмежувалась заданими функціями — відповідно до виразів  $v = \min(15,42 + 1,26d; 42)$  та  $v = \min(17,04 + 1,39d; 47)$ . Це дозволило забезпечити точне врахування фактору часу в оцінках логістичних витрат.

Перевірка достовірності моделі проводилась шляхом зіставлення змодельованих результатів із фактичними показниками, зафіксованими на полях під час експлуатації техніки. Похибка моделювання не перевищила  $\pm 20\%$ , що свідчить про достатню точність і практичну придатність створеної моделі до реальних виробничих умов. Приклад із впровадженням автоматизованої системи в ТОВ «Агрополіс» наочно демонструє досягнутий ефект: час завантаження автомобіля скоротився з 35 до 12 хвилин, а втрати зерна зменшилися на 14%. Це яскраво демонструє економічну доцільність впровадження цифрових рішень навіть у господарствах середнього масштабу.

У цілому, запропонована система оптимізації логістики показала свою ефективність у реальних умовах. Вона дозволяє гнучко розподіляти ресурси, уникати перевитрат, зменшувати простой та скорочувати фінансові втрати до 60%. Продуктивність логістичних операцій при цьому може зростати у 2–3 рази. Система може бути масштабована під

різні типи господарств, незалежно від розміру чи регіону, і є універсальним інструментом для оперативного планування, прийняття рішень і підвищення ефективності логістичного ланцюга в аграрному виробництві.

## ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Вільковський Є.К., Кельман І.І., Бакуліч О.О. Вантажознавство. – Львів: "Інтелект-Захід", 2007, – 250 с.
2. Горяїнов О.М. Транспортні технології і логістика. Книга 1. Теорія і практика дисципліни «Вантажні перевезення» (для транспортних технологів): Підручник. – Харків: ХНТУСГ ім.П. Василенка, 2013. – 490 с.
3. Планування діяльності автотранспортного підприємства: підручник / М. О. Турченко, М. Д. Швець, О. Г. Кірічок, М. Є. Кристопчук. - Вид. 2-ге, перероб. та доповн. - Рівне: РГУВГП, 2017. - 367 с. 1. Босняк М.Г. Вантажні автомобільні перевезення.- К.: Слово, 2010.-408 с.
4. Норми витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт по базових марках автомобілів.- К.: Мінтранс України, 1995. -21с.
5. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті.-К.: Мінтранс України, 1998. -41с.
6. Галузева Угода між Міністерством інфраструктури України, Федерацією роботодавців транспорту України, спільним представницьким органом Профспілки працівників автомобільного транспорту та шляхового господарства України і Всеукраїнської незалежної профспілки працівників транспорту у сфері автомобільного транспорту на 2013 – 2015 роки. К.: 2013. - 19 с.
7. Постанова Кабінету міністрів України від 9 листопада 2000 р. № 1684 «Про затвердження Концепції реформування транспортного сектору економіки».
8. Томляк С.І. Шляхи підвищення ефективності перевезення вантажів автомобільним транспортом / С. І. Томляк, А. П. Поляков // Наукові нотатки. - 2014. - Вип. 46. - С. 529-537.
9. Шевчук М.Ю. Дослідження ефективності перевезення вантажів автотранспортним підприємством з врахуванням сезонності. Режим доступу:  
[https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35634/1/dyplom\\_Shevchuk\\_M\\_2021.pdf](https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35634/1/dyplom_Shevchuk_M_2021.pdf)

10. Cui M., Levinson D. Full cost accessibility // *Journal of Transport and Land Use*. – 2018. – Vol. 11. – No. 1. – pp. 661–679.
11. Jacyna M., Wasiak M. Costs of road transport depending on the type of vehicles // *Combustion Engines*. – 2015. – Vol. 162. – pp. 85–90.
12. Ozbay K., Bartin B., Berechman J. Estimation and evaluation of full marginal costs of highway transportation in New Jersey // *Journal of Transportation and Statistics*. – 2001. – Vol. 4. – No. 1. – pp. 81–103.
13. Ozbay K., Bartin B., Yanmaz-Tuzel O. Alternative methods for estimating full marginal costs of highway transportation // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. – 2007. – Vol. 41. – No. 8. – pp. 768–786.
14. Poliak M. et al. Identification of costs structure change in road transport companies // *Communications Scientific letters of the University of Zilina*. – 2019. – T. 21. – №. 3. – pp. 8–12.
15. Perspektywy unowocześnienia parku ciężarowego w Polsce m. in. w aspekcie wprowadzenia elektronicznego systemu poboru opłat za korzystanie z infrastruktury drogowej / Z. Kordel [et al.] // *Transport Samochodowy*. – 2012. – No. 2. – pp. 5–29.
16. Persyn D., Díaz-Lanchas J., Barbero J. Estimating road transport costs between and within European Union regions // *Transport Policy*. – 2020. – pp. 1–10.
17. Sternad M. Cost Calculation in road freight transport // *Business Logistics in Modern Management*. – 2019. – pp. 215–225.
18. The economics of transportation system: a reference for practitioners [Text] / K. Kockelman, T. D. Chen, K. Larsen, B. Nichols. – Austin : University of Texas at Austin, 2014. – 316 p.
19. Winston C. Efficient Transportation Infrastructure Policy [Text] / C. Winston // *Journal of Economic Perspectives*. – 1991. – 5 (1). – P. 113-127.
20. Wasiak M. Vehicle selection model with respect to economic order quantity // *Archives of Transport*. – 2016. – Vol. 40. – No. 4. – pp. 77–85.

# ДОДАТКИ



Удосконалення процесу завантаження автотранспортних засобів для перевезення сільськогосподарської продукції  
ФОП «Гетьман Олександр Іванович»

Виконав студент: Гетьман Олександр Іванович

Керівник: ст.викладач Колодненко Віталій Миколайович

# РОЗПОДІЛ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МІЖ АВТОМОБІЛЬНИМ ТА ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Розподіл перевезень зерна за видами транспорту у 2024 році



## АВТОМОБІЛЬ (ЗЕРНОВОЗ)

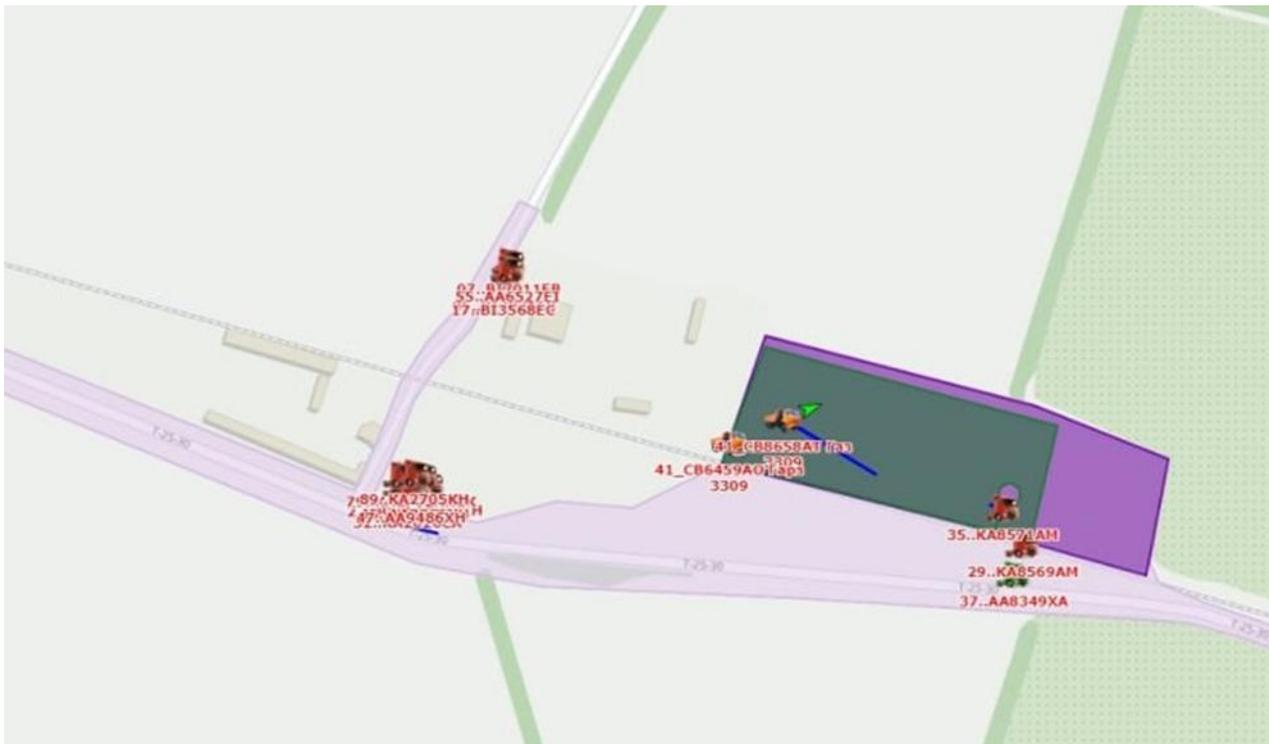


«РОЗБИТА» ДІЛЯНКА ДОРОГИ ПІСЛЯ ІНТЕНСИВНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА ПЕРЕВАНТАЖУВАЧАМИ

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗЕРНА

Метод завантаження	Продуктивність, т/год	Рівень втрат	Автоматизація
Ручне завантаження	3–5	Високий	Низька
Шнековий транспортер	20–30	Середній	Середня
Пневмотранспортер	40–60	Низький	Висока
Стрічковий транспортер	50–100	Дуже низький	Висока

# КОНТРОЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ ЗЕРНОВОЗІВ



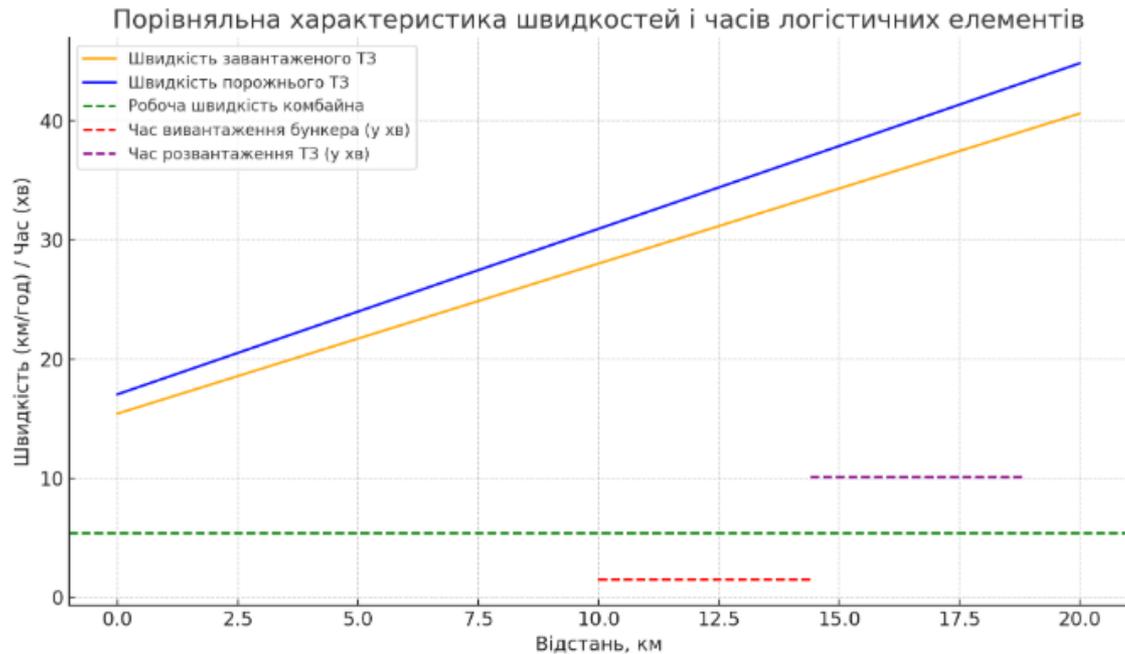
Список полів, для яких робилося імітаційне моделювання

№ Поля	Площа поля, га	Відстань до поля, км	Врожайність зерна, ц/га
4/01	163	14.8	69
4/05	178	3.4	85
4/06	217	7.3	74
4/08	168	9.2	72
4/20	85	9.8	56
4/22	85	10.3	74
4/25	138	12.0	69
4/28	85	10.8	77
4/29	145	11.3	58
4/32	111	10.5	66

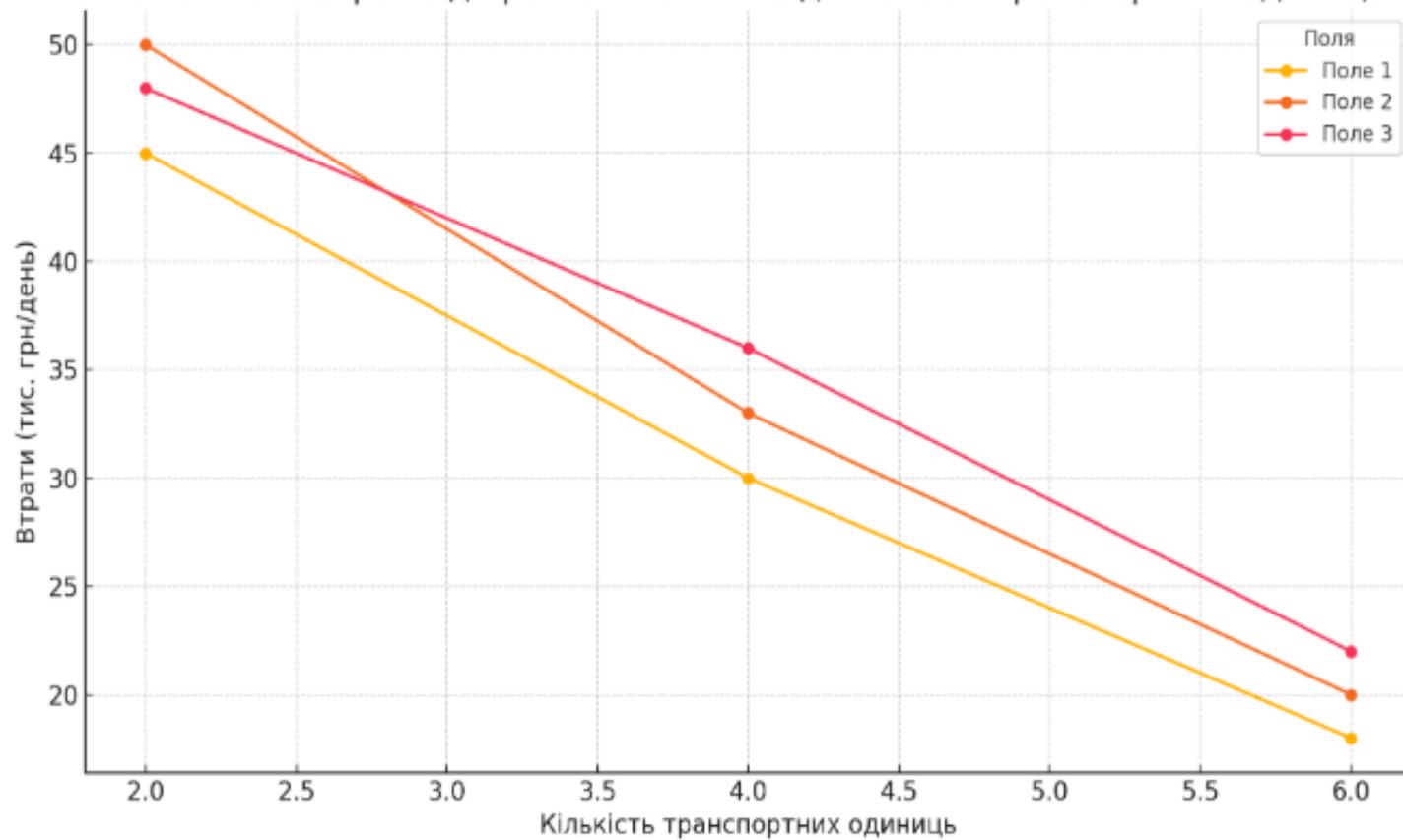
## Збиральні комплекси

№ комплексу	Число машин, шт.	Ширина захоплення жнивварки, м	Об'єм бункера, кг	Робоча швидкість, км\год
1	6	9	6500	5,4
2	7	9	6500	5,4
3	5	7	5000	5,4

## Порівняльна характеристика швидкостей



Залежність втрат від простою техніки від кількості транспортних одиниць



## ОСНОВНІ ДОСЯГНУТІ РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

При малій відстані (**до 2 км**) — найекономічнішим варіантом є залучення трьох транспортних одиниць. У цьому випадку транспорт встигає здійснювати оборотний рейс без затримок, не утворюючи простоїв для комбайнів.

У діапазоні **3–4 км** — мінімальні втрати досягаються при використанні чотирьох транспортних засобів, що компенсує зростання часу перевезення за рахунок збільшення їх кількості.

При відстані **6–10 км** — необхідно залучати щонайменше п'ять одиниць транспорту, оскільки збільшення часу на один рейс (туди і назад) створює значні часові «вікна», які без резерву транспорту неможливо закрити.

Для полів, розташованих на відстані **11–13 км** — ефективне функціонування збирального комплексу забезпечується тільки при наявності шести або навіть семи машин. В іншому разі простої досягають критичного рівня.

Лише при віддаленості понад **14 км** — стає обґрунтованим постійне використання семи одиниць транспорту, оскільки час вивезення зерна стає основним обмеженням для безперебійної роботи комбайнів.

## **Основні небезпеки при роботі на автомобільному транспорті:**

### **1. Дорожньо-транспортні пригоди (ДТП)**

Найбільша загроза — аварії, спричинені порушенням ПДР, перевтомою водія, технічною несправністю транспорту чи несприятливими погодними умовами.

### **2. Фізичне перевантаження та втома**

Тривале перебування за кермом викликає фізичне та психічне виснаження, що знижує реакцію та концентрацію.

### **3. Вплив шкідливих чинників**

Водії можуть зазнавати впливу вібрації, шуму, вихлопних газів, особливо при роботі з дизельними двигунами.

### **4. Технічні несправності транспортного засобу**

Наприклад, відмова гальмівної системи, кермового управління або освітлення може призвести до небезпечних ситуацій.

### **5. Небезпека при завантаженні/розвантаженні**

Падіння вантажу, робота з підйомниками, маневрування в обмеженому просторі — все це створює додаткові ризики.

### **6. Погодні умови**

Слизька дорога, туман, дощ, сніг значно ускладнюють керування автомобілем.

**ВЕЛИЧИНА ВТРАТ ВІД ПРОСТОЮ ТЕХНІКИ ЗА РІЗНОЇ  
КІЛЬКОСТІ МАКСИМАЛЬНО ДОСТУПНИХ  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Збиральний комплекс	Сценарій А			Сценарій Б			Сценарій У		
	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..	Закріплене поле	Виділення транспортних одиниць, прим.	Втрати, т. грн..
Комплекс 1	4/01	5	28,7	4/29	4	33,3	4/28	5	28,7
Комплекс 2	4/05	4	3,8	4/25	5	18,7	4/05	4	3,8
Комплекс 3	4/06	3	4	4/01	3	46,0	4/25	3	23,5
Загальні втрати від простою в день (тис. грн..)			36,6			98,0			56,0

# ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було успішно розроблено, реалізовано та апробовано інструмент підтримки управлінських рішень, орієнтований на підвищення ефективності логістичних процесів під час збирання зернових культур. Основною перевагою цієї розробки стало поєднання методів імітаційного моделювання та оптимізаційного підходу, що забезпечило отримання точних прогнозів і дозволило комплексно оцінити взаємозв'язки між параметрами техніки, організаційними рішеннями та просторовими умовами логістики. Застосування таких підходів дало можливість більш обґрунтовано приймати рішення щодо розподілу технічних засобів, визначення пріоритетності завдань і уникнення надмірних втрат, пов'язаних із простим комбайнів або транспорту.

Було змодельовано 1 800 різноманітних сценаріїв збору врожаю на загальній площі 1 375 гектарів. Ця площа включала десять полів, які суттєво відрізнялися за такими характеристиками, як віддаленість до пунктів розвантаження (у межах від 3,4 до 14,8 км) і рівень урожайності (від 56 до 85 ц/га). Моделювання проводилося з урахуванням параметрів трьох збиральних комплексів, до складу яких входили 18 машин різного типу — з шириною захвату жниварок від 7 до 9 метрів і об'ємом бункера від 5 000 до 6 500 кг. Це дозволило отримати повноцінну картину завантаження техніки та оцінити варіанти її використання залежно від умов.

Імітаційна модель була особливо корисною для оцінки часу простою технічних засобів у різних логістичних ситуаціях. Це дозволило виявити критичні моменти в організації логістики — ті, де відсутність транспорту чи надмірна затримка впливають на економіку підприємства. Наприклад, у сценарії А при оптимальному розподілі ресурсів втрати від простою техніки склали 36,6 тис. грн на день. Водночас у сценарії Б, де поля знаходилися на відстані понад 11 км від пункту розвантаження, ці втрати досягли 98,0 тис. грн, що свідчить про значну залежність логістичних витрат від просторового розміщення полів. Такі результати підтверджують необхідність більш гнучкого та адаптивного підходу до планування транспортного обслуговування в аграрному секторі.

Модель також враховувала важливі технічні характеристики машин. Середні значення таких параметрів, як швидкість руху комбайнів (5,4 км/год), час вивантаження бункера (1,5 хвилини) і час розвантаження транспортного засобу (10,1 хвилини), були отримані шляхом польових вимірювань. Особливу увагу було приділено швидкості руху транспорту: для завантажених і порожніх машин вона розраховувалась залежно від відстані та обмежувалась заданими функціями — відповідно до виразів  $v = \min(15,42 + 1,26d; 42)$  та  $v = \min(17,04 + 1,39d; 47)$ . Це дозволило забезпечити точне врахування фактору часу в оцінках логістичних витрат.

Перевірка достовірності моделі проводилась шляхом зіставлення змодельованих результатів із фактичними показниками, зафіксованими на полях під час експлуатації техніки. Похибка моделювання не перевищила  $\pm 20\%$ , що свідчить про достатню точність і практичну придатність створеної моделі до реальних виробничих умов. Приклад із впровадженням автоматизованої системи в ТОВ «Агрополіс» наочно демонструє досягнутий ефект: час завантаження автомобіля скоротився з 35 до 12 хвилин, а втрати зерна зменшилися на 14%. Це яскраво демонструє економічну доцільність впровадження цифрових рішень навіть у господарствах середнього масштабу.

У цілому, запропонована система оптимізації логістики показала свою ефективність у реальних умовах. Вона дозволяє гнучко розподіляти ресурси, уникати перевитрат, зменшувати прості та скорочувати фінансові втрати до 60%. Продуктивність логістичних операцій при цьому може зростати у 2–3 рази. Система може бути масштабована під різні типи господарств, незалежно від розміру чи регіону, і є універсальним інструментом для оперативного планування, прийняття рішень і підвищення ефективності логістичного ланцюга в аграрному виробництві.



Дякую за увагу!