

**Міністерство освіти і науки України
Університет митної справи та фінансів**

**Факультет інноваційних технологій
Кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики**

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
Завідувач кафедри транспортних
технологій та міжнародної логістики,
к.т.н., доцент

_____ А. І. Кузьменко
(підпис)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
на тему:
«ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ»**

Виконав: студент групи Т23-1м
спеціальності 275 Транспортні
технології (на автомобільному
транспорті)
Курдибаха Віталій Андрійович

Керівник: _____
(підпис)

кандидат технічних наук, доцент
Кузьменко Альбіна Ігорівна

Рецензент _____
(підпис)

УМСФ, доцент кафедри
транспортних технологій та
міжнародної логістики,
кандидат технічних наук, доцент
Халіпова Наталія Володимирівна

Дніпро
2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УНІВЕРСИТЕТ МИТНОЇ СПРАВИ ТА ФІНАНСІВ**

Факультет інноваційних технологій
Кафедра транспортних технологій та міжнародної логістики
Ступінь вищої освіти – магістр
Спеціальність 275 Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри транспортних
технологій та міжнародної логістики
к.т.н., доц.,

А. І. Кузьменко

(підпис)

«01» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ
з підготовки кваліфікаційної роботи магістра
студента групи Т23-1м

КУРДИБАХИ ВІТАЛІЯ АНДРІЙОВИЧА

1. Тема роботи: Проектування транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

Керівник кваліфікаційної роботи магістра: Кузьменко Альбіна Ігорівна, кандидат технічних наук, доцент.

Затверджено наказом ректора УМСФ від “11” листопада 2024 р. № 949 кс.

2. Дата подання студентом готової кваліфікаційної роботи магістра на кафедру:

«30» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра:

3.1 Обсяг переаезення зерна $Q=1000$ т.

3.2 Автомобільні маршрути: Ковель-Одеса та Кропивницький –Одеса

3.3 Морський маршрут: Одеса-Роттердам

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, потрібних для опрацювання):

4.1 Огляд стану перевезень зернових вантажів в Україні та у світі

4.2 Аналіз наукових робіт щодо організації схем перевезень зернових вантажів

- 4.3 Постановка завдання. Визначення розрахункових параметрів.
- 4.4 Побудова фізичної моделі. Методи оптимізації транспортно-логістичних схеми
- 4.5 Розробка математичної моделі процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні
- 4.6 Дослідження процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні
- 4.7 Аналіз отриманих результатів
- 4.8 Визначення ефективності запропонованої транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні

5 Перелік графічних матеріалів:

- 5.1 Аналіз статистичних даних з перевезень зернових вантажів
- 5.2 Постановка завдання. Розробка маршрутів перевезення
- 5.3 Побудова фізичної моделі транспортно-логістичної схеми перевезень
- 5.4 Розробка математичної моделі процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні
- 5.5 Моделювання процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні за допомогою методів мережевого планування
- 5.6 Визначення критичного шляху
- 5.7 Результати аналізу та вибір кращого варіанту транспортно-логістичної схеми
- 5.8 Ефективність запропонованої транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні

6 Дата видачі завдання: «30» вересня 2024 р.

Студент

(підпис)

(Курдибаха В. А.)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

(підпис)

(Кузьменко А. І.)

АНОТАЦІЯ

Курдибаха В. А. Проектування транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті). Університет митної справи та фінансів, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню, розробці та оптимізації транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні. У роботі проведено аналіз сучасного стану перевезень зернових в Україні та у світі, вивчено наукові підходи до організації логістичних процесів, побудовано фізичну та математичну моделі перевезень, які дозволяють мінімізувати витрати, оптимізувати маршрути та забезпечувати адаптацію до змінних умов. Розраховано техніко-експлуатаційні та економічні показники, які підтвердили високу ефективність запропонованої схеми. Отримані результати можуть бути використані у практичній діяльності транспортно-логістичних компаній для покращення якості перевезень та підвищення конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

THE SUMMARY

Kurdybakha V. A. Designing a transport and logistics scheme for grain cargo transportation in international traffic. Master's qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 275 Transport technologies (on road transport). University of Customs and Finance, Dnipro, 2025.

The master's qualification work is devoted to the study, development, and optimization of a transport and logistics scheme for grain cargo transportation in international traffic. The study includes an analysis of the current state of grain transportation in Ukraine and worldwide, an exploration of scientific approaches to logistics process organization, and the construction of physical and mathematical models for transportation processes. These models enable cost minimization, route optimization, and adaptation to changing conditions. Technical, operational, and economic indicators were calculated, confirming the high efficiency of the proposed scheme. The results can be implemented in the practical activities of transport and logistics companies to improve the quality of transportation and enhance competitiveness in the international market.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Проектування транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні» містить 87 сторінок, 19 рисунків, 9 таблиць, 22 джерела, 1 додаток на 9 сторінках.

Мета роботи: вирішення проблеми підвищення ефективності перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні шляхом розробки та оптимізації транспортно-логістичної схеми з використанням фізичних і математичних моделей процесів транспортування.

Об'єкт дослідження: міжнародні вантажні перевезення.

Предмет дослідження: транспортно-логістичні процеси перевезення зернових вантажів.

Методи дослідження: лінійне програмування, мережеве програмування, імітаційне моделювання.

У процесі виконання роботи вирішено такі завдання: проведено аналіз сучасного стану перевезень зернових вантажів в Україні та світі, вивчено наукові підходи до організації логістичних схем, розроблено фізичну модель транспортування, побудовано математичну модель для оптимізації маршрутів та мінімізації витрат, виконано ітераційні обчислення для дослідження запропонованої схеми та проведено аналіз отриманих результатів. Розраховано техніко-експлуатаційні та економічні показники ефективності запропонованої схеми, які підтвердили її доцільність для практичного впровадження.

Ключові слова: ЗЕРНОВІ ВАНТАЖІ, МІЖНАРОДНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ	9
1.1 Огляд стану перевезень зернових вантажів в Україні та у світі	9
1.2 Аналіз наукових робіт щодо організації схем перевезень зернових вантажів	16
2. ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	21
2.1 Постановка завдання. Визначення розрахункових параметрів	21
2.2 Побудова фізичної моделі. Методи оптимізації транспортно-логістичних схеми	31
2.3 Розробка математичної моделі процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні	39
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	53
3.1 Виконання необхідних ітерацій за розробленою моделлю	53
3.2 Аналіз отриманих результатів	61
4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ	69
4.1. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників	69
4.2. Визначення економічних показників	71
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
Додаток А Графічні матеріали	79

					<i>КРМ</i>	275	17	ПЗ
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Проектування транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні</i>			<i>Літ.</i>
<i>Розроб.</i>	<i>Курдибаха В.А.</i>							<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Кузьменко А.І.</i>							6
<i>Реценз.</i>	<i>Халіпова Н.В.</i>							<i>Аркуші</i>
<i>Н. контр.</i>	<i>Кузьменко А.І.</i>							87
<i>Затверд.</i>	<i>Кузьменко А.І.</i>				<i>УМСФ, ГР. Т23-1м</i>			

ВСТУП

Розвиток міжнародної торгівлі та глобалізація економіки суттєво впливають на транспортно-логістичний сектор, який стає ключовим елементом ефективного функціонування світового ринку. Зернові вантажі, як стратегічний продукт, відіграють важливу роль у міжнародних економічних відносинах, забезпечуючи продовольчу безпеку багатьох країн. Україна, будучи одним із провідних експортерів зерна, має унікальне географічне розташування, що створює додаткові можливості для ефективної організації перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

Сучасні умови діяльності аграрного сектору висувають високі вимоги до організації транспортно-логістичних процесів. Розвиток інфраструктури, оптимізація маршрутів, зниження витрат на перевезення та забезпечення екологічної стійкості є критично важливими завданнями для забезпечення конкурентоспроможності українських зернових на світовому ринку. Проєктування ефективної транспортно-логістичної схеми дозволяє вирішити ці завдання, сприяючи підвищенню ефективності перевезень та мінімізації втрат при транспортуванні.

Актуальність теми роботи зумовлена необхідністю адаптації існуючих логістичних моделей до вимог сучасної економіки та інтенсифікації зовнішньоекономічної діяльності. Увага до цієї проблематики дозволить вирішити ряд стратегічних завдань, зокрема, покращення якості логістичних послуг, підвищення пропускної здатності транспортних вузлів і забезпечення стабільного функціонування експортних поставок зернових вантажів.

Метою дослідження є розробка ефективної транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні, яка враховуватиме сучасні тенденції розвитку ринку, потреби аграрного сектору та логістичної інфраструктури.

Завдання дослідження.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

1. Провести аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку міжнародних перевезень зернових вантажів.
2. Дослідити існуючі логістичні моделі та визначити їх сильні та слабкі сторони.
3. Виявити основні проблеми в організації перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.
4. Розробити рекомендації щодо вдосконалення транспортно-логістичних схем перевезень.
5. Запропонувати інноваційні рішення для підвищення ефективності та екологічності перевезень зернових вантажів.

Структура роботи.

Дипломна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків:

1. У першому розділі розглядаються теоретичні основи транспортно-логістичного забезпечення перевезень зернових вантажів.
2. У другому розділі проводиться аналіз існуючих транспортно-логістичних схем, проблем та перспектив їх розвитку.
3. У третьому розділі розробляються практичні рекомендації та інноваційні рішення для вдосконалення транспортно-логістичної схеми перевезень.

У висновках підсумовуються результати дослідження та формулюються основні рекомендації.

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

1.1 Огляд стану перевезень зернових вантажів в Україні та у світі

Україна займає провідне місце у світі серед виробників і експортерів зернових культур, забезпечуючи значний внесок у глобальну продовольчу безпеку. Географічне розташування країни, родючі ґрунти та сприятливі кліматичні умови створюють ідеальні передумови для вирощування основних зернових культур, таких як пшениця, кукурудза, ячмінь, а також соняшниковий шрот, які складають основний обсяг експорту.

Щорічно обсяги експорту зернових вантажів з України перевищують 50 млн тонн, що забезпечує країні статус одного з найбільших постачальників зерна на світовому ринку. Основними напрямками експорту є країни Європейського Союзу, Північної Африки, Близького Сходу та Азії. Таке географічне розмаїття ринків збуту підвищує стратегічну значущість України в системі глобальної торгівлі.

Організація перевезень зернових вантажів в Україні здійснюється переважно через три основні транспортні канали: залізничний, автомобільний і водний транспорт. Найбільша частка перевезень припадає на залізницю, яка забезпечує основний потік зернових до портів. Однак залізничний транспорт стикається з проблемами застарілої інфраструктури, дефіциту вагонів-зерновозів та неефективності в координації логістичних операцій, що часто призводить до затримок та підвищення логістичних витрат [6].

Автомобільний транспорт відіграє важливу роль у перевезеннях зерна з місць збору до елеваторів або портів. Він дозволяє оперативно транспортувати вантажі навіть у віддалені регіони. Проте значна зношеність доріг, обмеження на масу перевезень та високі витрати на паливо є суттєвими перешкодами для розширення частки автомобільних перевезень (див. рис. 1.1).

Водний транспорт, зокрема річкові перевезення, є перспективним напрямом для оптимізації логістики зернових вантажів в Україні.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

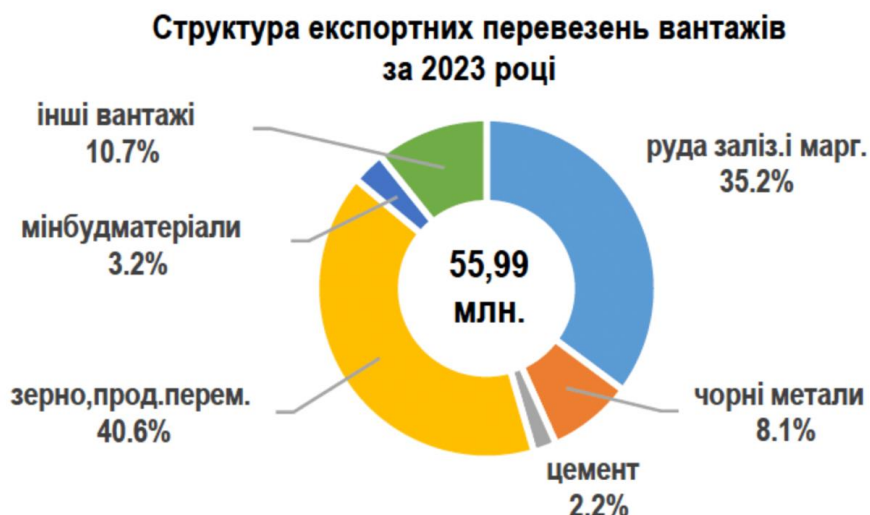


Рисунок 1.1 — Структура експортних перевезень [12]

Дніпро та інші річки можуть забезпечити економічно вигідний спосіб транспортування великих обсягів зерна. Водночас недостатня модернізація портової інфраструктури та обмежена кількість спеціалізованих терміналів ускладнюють використання цього виду транспорту на повну потужність.

Морський транспорт залишається ключовим каналом для експорту українського зерна. Основні морські порти країни, такі як Одеса, Чорноморськ, Південний і Миколаїв, обслуговують основний потік експортних вантажів. Вони забезпечують можливість виходу до міжнародних ринків через Чорне море, але стикаються з проблемами перевантаження, застарілої технічної бази та високих експлуатаційних витрат.

Значними викликами для ефективної організації перевезень зернових вантажів є необхідність модернізації транспортної інфраструктури, інтеграції сучасних цифрових технологій у логістичні процеси та зниження витрат на транспортування. Усі ці фактори потребують уваги для забезпечення сталого розвитку зернової логістики та підвищення конкурентоспроможності України на світовому ринку.

Витрати залізниць з перевезення зернових вантажів показані на рисунку 1.2.

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

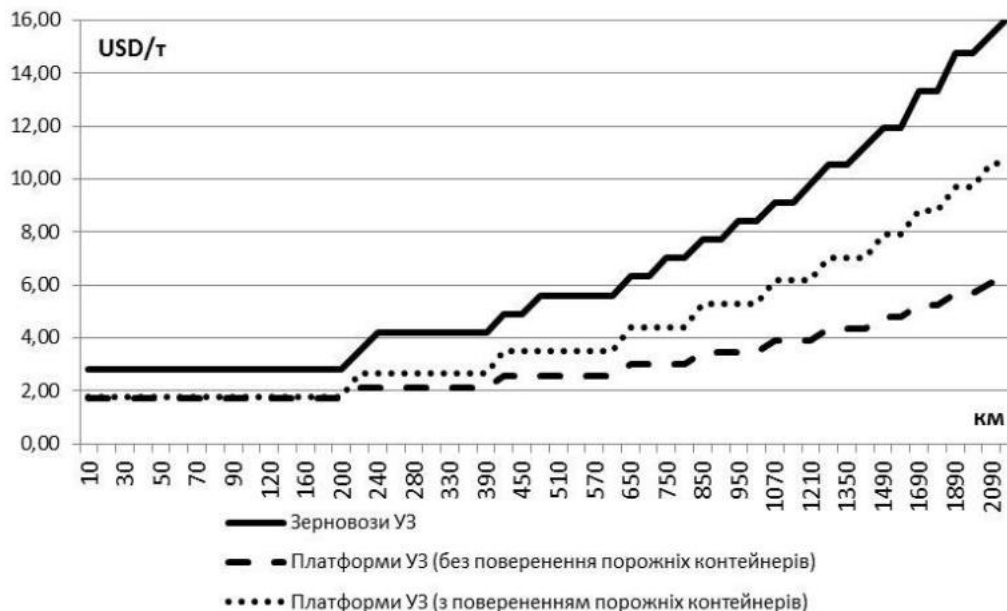


Рисунок 1.2 — Витрати на оренду вагонів власності УЗ при перевезенні 1т зерна [11]

Для перевезення зернових вантажів в Україні використовуються такі транспортні засоби:

1. Залізничний транспорт: Основний спосіб перевезення зернових через територію країни. Він забезпечує високу пропускну здатність, що є особливо важливим у періоди пікових навантажень. Водночас основною проблемою є недостатня кількість зерновозів та застаріла інфраструктура.

2. Автомобільний транспорт: Використовується переважно для перевезення зерна з місць збору до елеваторів чи портів. Основним викликом для цього виду транспорту є поганий стан доріг і висока вартість перевезень, що ускладнює ситуацію.

3. Водний транспорт: Річкові перевезення, особливо через Дніпро, є перспективним напрямом для зниження витрат і зменшення навантаження на інші види транспорту. Проте недостатній розвиток портової інфраструктури та навігаційних систем гальмують його розвиток.

4. Морський транспорт: Українські порти відіграють ключову роль у експорті зерна. Основні порти для відвантаження зернових вантажів — Одеса, Чорноморськ, Південний та Миколаїв. Вони забезпечують сполучення з

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

багатьма країнами світу, проте інколи стикаються з проблемами заторів і перевантаження.

Українська зернова логістика, незважаючи на значний потенціал, стикається з низкою системних проблем, які перешкоджають ефективному транспортуванню зернових вантажів як усередині країни, так і в міжнародному сполученні. Основними викликами є:

Сучасна транспортна інфраструктура України не завжди відповідає вимогам обсягів і темпів перевезення зернових вантажів. Значна частина залізничних і автомобільних шляхів знаходиться в незадовільному стані через тривалий термін експлуатації без капітального ремонту. Це особливо актуально для регіонів із високою концентрацією аграрного виробництва, де відсутність якісних доріг значно ускладнює перевезення зерна від полів до елеваторів і портів [1, с. 28].

У залізничній сфері спостерігається брак розвинених логістичних вузлів і пропускної здатності, що спричиняє затримки у перевезенні вантажів. Особливо це помітно у період пікових обсягів експорту, коли логістична інфраструктура працює з перевантаженням. Додатково, річкова транспортна інфраструктура, яка могла б значно розвантажити інші види транспорту, залишається слабо розвиненою, а її модернізація вимагає значних інвестицій. Більшість елеваторних комплексів в Україні побудовані десятиліття тому й досі використовують застарілі технології, які не відповідають сучасним стандартам. Це знижує швидкість завантаження і розвантаження, призводить до втрат продукції та збільшує витрати на зберігання. Недостатня місткість елеваторів у регіонах із високою урожайністю також створює додаткові труднощі в логістиці.

Ситуація у морських портах, які є ключовими експортними хабами, теж є складною. Багато портових терміналів працюють із перевантаженням через зростання обсягів експорту зерна. Водночас технічна база терміналів, зокрема транспортні стрічки, крани, ваги та системи контролю якості, потребує модернізації. Це впливає на швидкість обробки суден, збільшує час очікування та підвищує ризик втрати частини вантажу через недосконалість обладнання.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ОБСЯГИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНОВИХ ПІД ЧАС ПОВНОМАСШТАБНОЇ ВІЙНИ

Розподіл за транспортом, тис. тонн

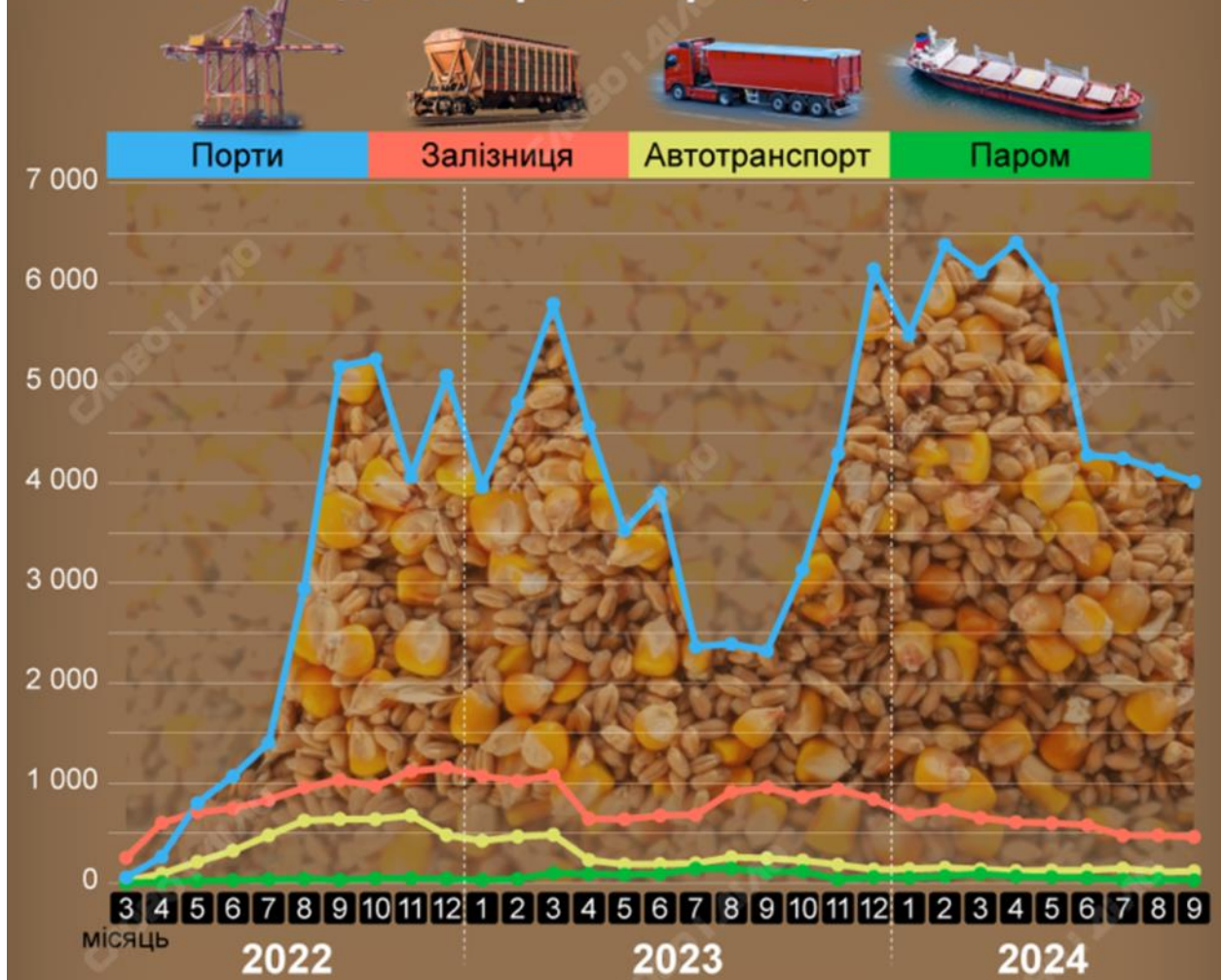


Рисунок 1.3 — Скільки зернових Україна експортувала під час повномасштабної війни [11]

Водночас вирішення інфраструктурних проблем, оптимізація логістичних процесів, модернізація транспортних засобів і впровадження сучасних цифрових технологій є критично важливими для підвищення ефективності перевезень. Світовий досвід свідчить, що орієнтація на інновації, екологічна стійкість і цифровізація логістичних процесів є ключовими чинниками успіху в глобальній системі перевезення зернових вантажів. Використання цих підходів дозволить Україні не тільки зберегти свої позиції на міжнародному ринку, але й суттєво їх посилити.

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Наукові джерела свідчать, що є такі потреби в інвестиціях (рис. 1.4, 1.5):

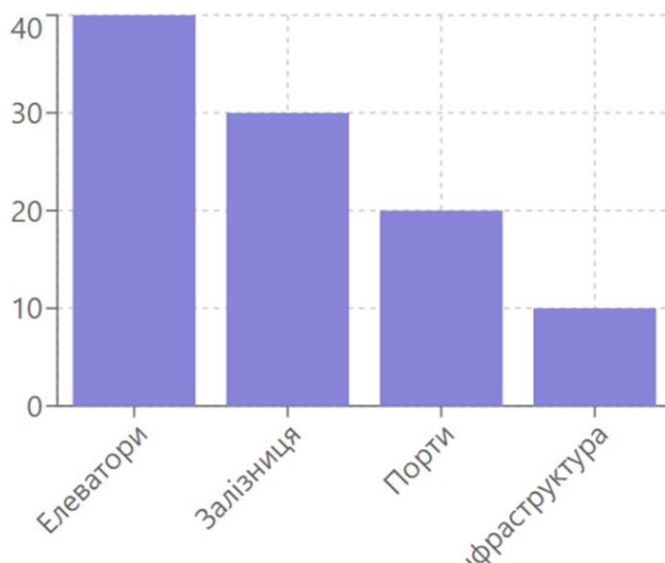


Рисунок 1.4 — Потреби в інвестиціях для перевезення вантажу [12]

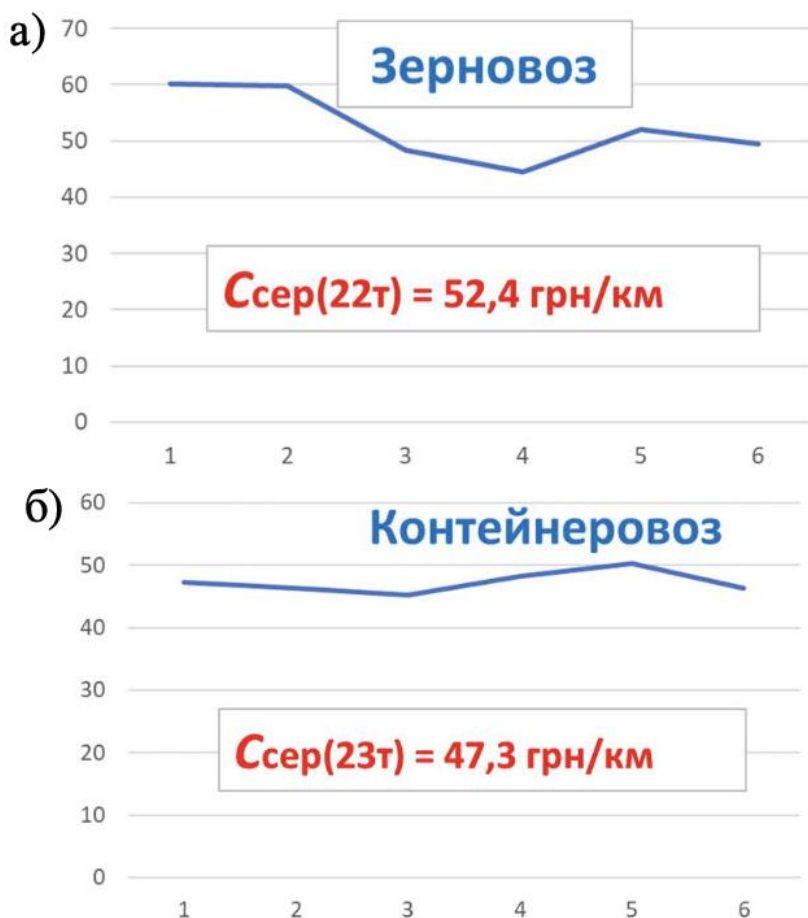


Рисунок 1.5 — Динаміка зміни ставок на автоперевезення у 2024 р.: а) зерновозом; б) контейнеровозом [12]

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Розподіл основних перевезень між різними видами транспорту показаний на рисунку 1.6, а Обсяг перевезених вантажів в Україні 2012–2022 рр., млн т – на рисунку 1.7.

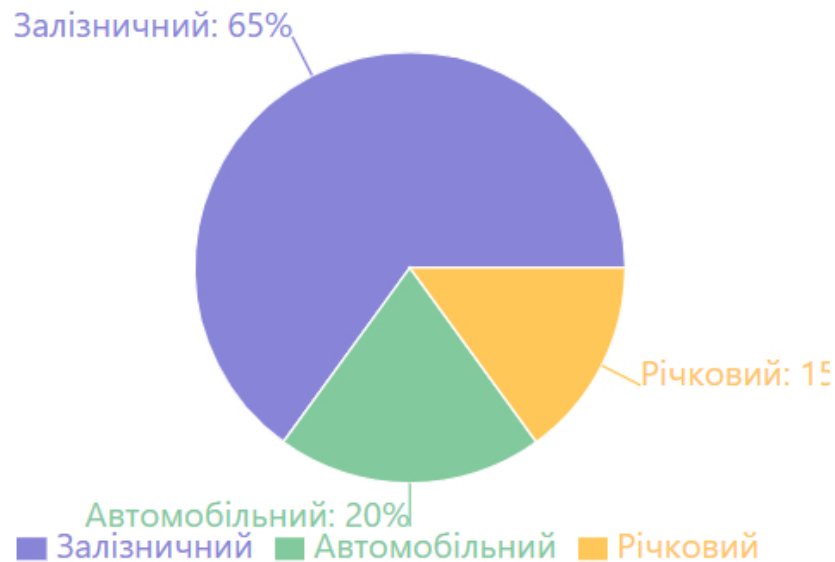


Рисунок 1.6 — Розподіл основних перевезень між різними видами транспорту [12]

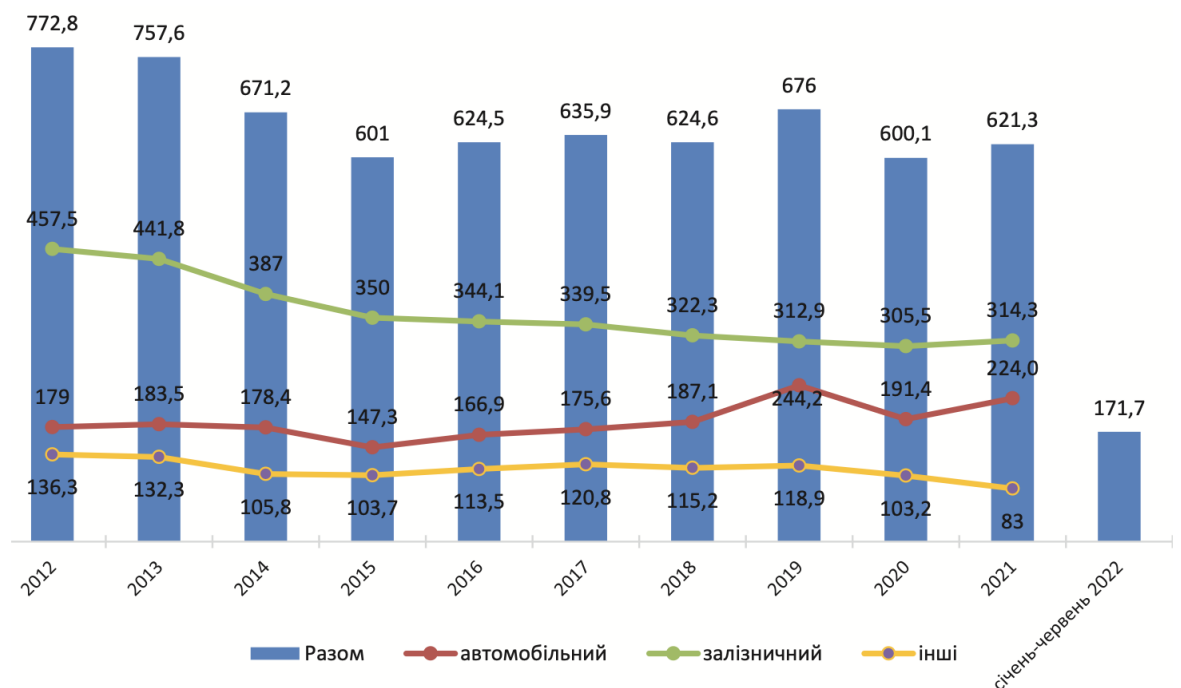


Рисунок 1.7 — Обсяг перевезених вантажів в Україні 2012–2022 рр., млн т.

[10]

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Представлена діаграма (рис. 1.6) наочно демонструє основні аспекти організації перевезень зернових вантажів в Україні. Кругова діаграма відображає структуру перевезень за видами транспорту, де найбільшу частку займає залізничний транспорт (65%), що підтверджує його ключову роль у логістичному ланцюгу.

1.2 Аналіз наукових робіт щодо організації схем перевезень зернових вантажів

Організація перевезень зернових вантажів є важливою темою наукових досліджень, яка охоплює різні аспекти транспортно-логістичних систем. Сучасні наукові роботи спрямовані на вирішення проблем, пов'язаних із зростанням обсягів перевезень, оптимізацією маршрутів, підвищенням ефективності використання транспортних засобів та зменшенням витрат на логістику. Дослідники розглядають як теоретичні основи планування логістичних схем, так і практичні аспекти їх впровадження в реальних умовах.

Одним із ключових напрямів досліджень є оптимізація транспортно-логістичних процесів. Зокрема, у працях багатьох вчених аналізуються математичні моделі для побудови оптимальних схем перевезень. Ці моделі дозволяють враховувати різноманітні фактори, такі як відстань, витрати на транспортування, доступність інфраструктури, а також сезонні коливання попиту. Наприклад, математичне моделювання транспортних мереж, представлене в роботах українських і закордонних дослідників, дозволяє знаходити рішення для мінімізації часу доставки та витрат на перевезення зернових [2, с. 10].

Іншим важливим аспектом є вивчення впливу інфраструктурних обмежень на логістику зернових вантажів. Наукові роботи зосереджуються на аналізі стану транспортної інфраструктури, зокрема залізничної, автомобільної та портової. Дослідники акцентують увагу на потребі модернізації елеваторів, збільшенні кількості вагонів-зерновозів і розвитку річкових транспортних шляхів.

Виконав		Курдидіаха В. А.		КРМ 275 17 ПЗ			Арк.
Перевірив		Кузьменко А.І.					16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

У цих працях підкреслюється, що вирішення цих інфраструктурних проблем дозволить значно підвищити ефективність перевезень та конкурентоспроможність українського зерна на світовому ринку. Увагу науковців також привертає питання інтеграції цифрових технологій у процеси перевезення зернових вантажів. Вивчаються можливості застосування інформаційних систем управління транспортом (TMS), автоматизованих систем обробки даних, а також блокчейн-технологій для забезпечення прозорості й безпеки перевезень. Цифрові платформи пропонують інструменти для моніторингу перевезень у реальному часі, прогнозування потреб у транспортних засобах і оптимізації завантаження інфраструктури.

Окрему увагу в науковій літературі приділено екологічним аспектам перевезень зернових вантажів. Роботи цього напрямку аналізують шляхи зменшення викидів вуглекислого газу за рахунок використання більш енергоефективного транспорту, впровадження альтернативних джерел енергії, а також оптимізації маршрутів. Дослідники підкреслюють, що підвищення екологічності логістики відповідає сучасним міжнародним тенденціям і сприяє залученню нових партнерів для українських експортерів.

Практичні рекомендації з організації схем перевезень зернових вантажів знайшли своє відображення в роботах, що аналізують розвиток мультимодальних перевезень. У цих дослідженнях акцентується увага на необхідності інтеграції різних видів транспорту для підвищення ефективності логістичних ланцюгів. Розглядаються можливості комбінування залізничного, автомобільного, річкового та морського транспорту для мінімізації витрат і часу доставки зернових до кінцевих споживачів.

Підсумовуючи, слід зазначити, що наукові дослідження в галузі перевезень зернових вантажів роблять вагомий внесок у вдосконалення транспортно-логістичних систем. Проте більшість авторів сходяться на думці, що впровадження розроблених рекомендацій потребує значних інвестицій, тісної співпраці між державою та бізнесом, а також активного використання міжнародного досвіду.

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Це дозволить забезпечити стійке зростання обсягів перевезень зернових вантажів та їхню ефективну інтеграцію у глобальні транспортно-логістичні мережі [4].

Перевезення зернових вантажів є ключовим елементом аграрного сектору економіки України, що відіграє значну роль у забезпеченні як внутрішнього ринку, так і експорту продукції. Україна традиційно входить до переліку найбільших експортерів зерна у світі, тому вдосконалення логістичних процесів є важливим завданням для підвищення конкурентоспроможності аграрної продукції на міжнародних ринках. У цьому контексті аналіз наукових робіт щодо організації схем перевезень зернових вантажів дозволяє виділити сучасні тенденції, проблеми та перспективи у цій сфері.

Сутність та значення перевезень зернових вантажів.

Зернові вантажі характеризуються великими обсягами, сезонністю перевезень і специфічними умовами транспортування, що вимагає ефективного управління логістичними процесами. Науковці [5] підкреслюють, що організація перевезень зернових повинна враховувати такі ключові чинники, як своєчасність доставки, оптимізація витрат, збереження якості продукції та екологічна безпека транспортування.

Особливо важливим є забезпечення координації між усіма учасниками логістичного ланцюга, включаючи фермерів, перевізників, операторів елеваторів і портів. Така координація дозволяє мінімізувати втрати продукції, оптимізувати маршрути транспортування і забезпечити безперебійний експорт зерна.

Використання залізничного транспорту для перевезень зернових вантажів.

Залізничний транспорт є основним засобом перевезення зернових в Україні, забезпечуючи транспортування великих обсягів вантажів на далекі відстані за відносно низькою вартістю. У роботах [7] зазначається, що залізничний транспорт має значні переваги для перевезення зернових вантажів, зокрема високу вантажопідйомність та енергоефективність.

Разом із тим, дослідники наголошують на проблемах, які обмежують ефективність залізничних перевезень.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Серед основних викликів виділяються недостатня пропускна здатність залізничної інфраструктури, нестача спеціалізованих вагонів-зерновозів і нерівномірність використання транспортних потужностей через сезонність перевезень.

Для вирішення цих проблем пропонуються такі заходи:

- модернізація залізничної інфраструктури та вагонного парку;
- впровадження автоматизованих систем управління рухом поїздів;
- запровадження довгострокових планів перевезень із урахуванням сезонних піків.

Портова логістика та експорт зернових вантажів.

Експорт зернових значною мірою залежить від ефективності портової логістики, оскільки основна частина зернових вантажів спрямовується на зовнішні ринки через морські порти. У наукових працях наголошується на необхідності розвитку портової інфраструктури, включаючи розширення перевалочних потужностей, модернізацію зернових терміналів і впровадження автоматизованих систем управління перевантаженням [8, с. 3].

Науковці також акцентують увагу на значенні транспортних коридорів, що забезпечують доставку зернових до портів. Використання мультимодальних схем, які поєднують залізничний, автомобільний і річковий транспорт, сприяє оптимізації витрат і розвантаженню ключових магістралей. Особливо перспективним є розвиток річкового транспорту для перевезень зерна, який характеризується низькою собівартістю та екологічністю.

Організація зберігання зернових вантажів

Зберігання зернових є важливим елементом логістичного ланцюга, оскільки забезпечує стабільність постачання продукції на переробку чи експорт. Дослідження свідчать, що недостатня кількість сучасних елеваторів і складських приміщень є однією з основних проблем, яка впливає на ефективність логістичних процесів [9, с. 113].

Для вирішення цієї проблеми науковці пропонують:

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- будівництво нових елеваторів у регіонах із високим аграрним потенціалом;
- впровадження сучасних технологій зберігання зерна, які мінімізують втрати та забезпечують високу якість продукції;
- використання логістичних хабів, що поєднують функції зберігання та перевантаження.

Наукові дослідження підтверджують, що ефективна організація схем перевезень зернових вантажів є важливою умовою підвищення конкурентоспроможності української аграрної продукції. Основними напрямками вдосконалення логістичних процесів є:

- модернізація інфраструктури (залізничної, портової, річкової);
- впровадження цифрових технологій для управління перевезеннями;
- розвиток мультимодальних логістичних схем;
- координація дій між усіма учасниками логістичного ланцюга.

Підсумовуючи, можна зазначити, що вдосконалення логістичних схем перевезення зернових вантажів сприятиме зниженню витрат, підвищенню ефективності логістичних операцій і забезпеченню стабільного розвитку аграрного сектору України.

Виконав	Курдубаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

2. ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

2.1 Постановка завдання. Визначення розрахункових параметрів

Транспортні перевезення зернових вантажів у міжнародному сполученні є складним процесом, який вимагає ретельного планування та координації різних елементів логістичної системи. Однією з основних проблем, що виникають під час таких перевезень, є забезпечення належної якості вантажу на всіх етапах транспортування. Транспортно-логістична схема складається з двох автомобільних маршрутів (рис. 2.1 та 2.2) та морського перевезення.

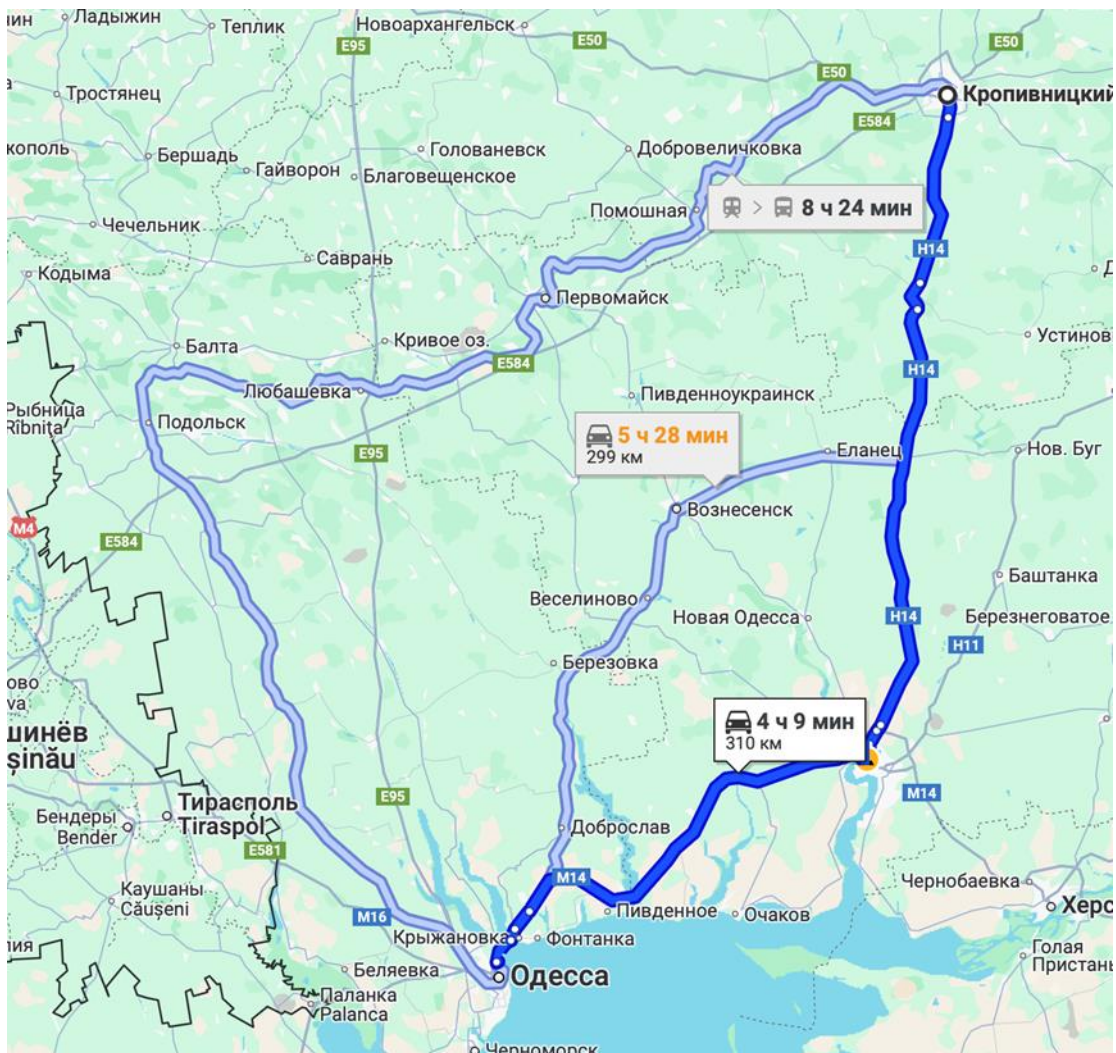


Рисунок 2.1 – Маршрут перевезення автотранспортом Кропивницький - Одесса

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

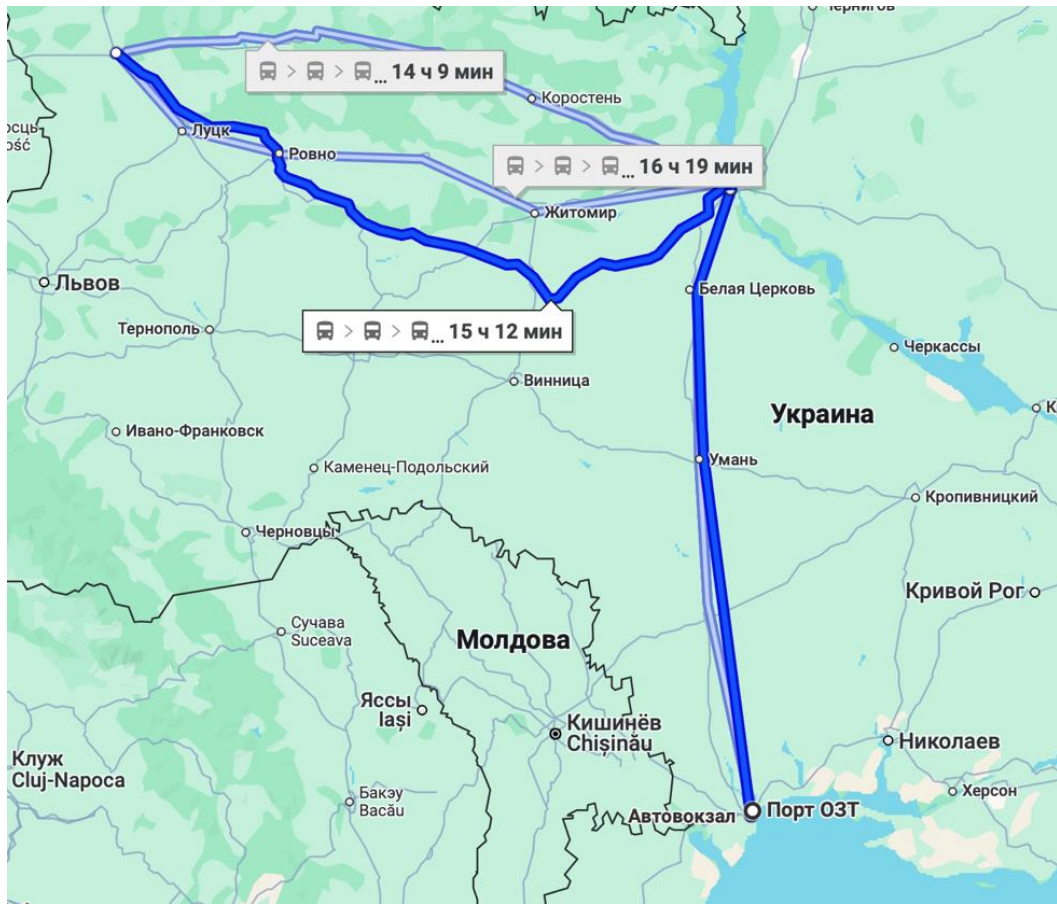


Рисунок 2.2 – Маршрут залізничних перевезень Ковель - Одесса

Зернові вантажі мають специфічні фізико-хімічні властивості, які роблять їх чутливими до умов транспортування, таких як температура, вологість та механічні впливи.

Ще однією значною проблемою є затримки у логістичних ланцюгах. У міжнародних перевезеннях зернових вантажів затримки можуть виникати на різних етапах, включаючи завантаження на транспортні засоби, проходження митного контролю, перевантаження у портах та транспортування кінцевому споживачеві. Часто такі затримки пов'язані з бюрократичними процедурами, недостатньою пропускною здатністю портів або транспортної інфраструктури, а також з погодними умовами, які можуть значно впливати на графік перевезень. Наприклад, затримки в портах через штормову погоду або незаплановані простої можуть суттєво вплинути на терміни доставки вантажу.

Високі витрати на транспортування є ще одним викликом у міжнародних перевезеннях зернових вантажів. Транспортні витрати залежать від багатьох

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					КРМ	275	17	ПЗ
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					22

факторів, таких як відстань, вид транспорту, тарифи на вантажоперевезення, вартість палива та додаткові витрати, включаючи митні збори та страхування вантажу. Особливо складною є ситуація у випадку змішаного транспортування, коли необхідно скоординувати використання кількох видів транспорту, таких як автомобільний, залізничний та морський. Це не лише ускладнює планування, але й підвищує загальну вартість перевезень через необхідність організації перевантажень та зберігання на проміжних складах [3].

Додатковою складністю є забезпечення безпеки вантажу під час перевезення. У міжнародних перевезеннях існують ризики, пов'язані з крадіжками, пошкодженнями вантажу або його втратами через недбалість перевізників чи несприятливі умови транспортування. Зернові вантажі можуть бути особливо вразливими до втрат через пошкодження упаковки, розсипання або забруднення сторонніми домішками. Забезпечення безпеки вимагає використання спеціалізованих контейнерів, які відповідають міжнародним стандартам, що, своєю чергою, збільшує витрати на логістику.

Окрім цього, значним викликом є відповідність вимогам міжнародних регуляторних органів та стандартів. Наприклад, зернові вантажі, що транспортуються до Європейського Союзу, повинні відповідати строгим нормам щодо вмісту пестицидів, фітосанітарних вимог та документального оформлення. Недотримання цих вимог може призвести до затримок на кордоні або навіть до відмови у ввезенні вантажу, що створює додаткові ризики для учасників логістичного ланцюга.

Ще одним важливим аспектом є залежність від зовнішніх факторів, таких як сезонні коливання попиту, політична нестабільність у регіонах транспортування або торгові бар'єри. Наприклад, запровадження санкцій, обмеження експорту або зміна митних тарифів можуть значно вплинути на ефективність перевезень зернових вантажів, створюючи невизначеність для логістичних операторів та експортерів.

Сучасні тенденції у розвитку транспортно-логістичних систем вимагають використання передових технологій для вирішення існуючих проблем.

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Однак впровадження інновацій, таких як автоматизація процесів, використання інформаційних систем для моніторингу та управління перевезеннями, також пов'язане з додатковими витратами. Крім того, недостатній рівень цифровізації у деяких країнах або компаніях, які беруть участь у логістичному ланцюзі, може створювати бар'єри для ефективної координації та обміну інформацією [11, с. 28].

Отже, міжнародні перевезення зернових вантажів стикаються з численними викликами, які впливають на їх ефективність та рентабельність. Основними проблемами є забезпечення якості та безпеки вантажу, затримки у логістичних ланцюгах, високі транспортні витрати, відповідність міжнародним стандартам, а також залежність від зовнішніх факторів. Для вирішення цих проблем необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає оптимізацію логістичних процесів, впровадження інноваційних технологій та підвищення рівня співпраці між учасниками транспортно-логістичної системи.

Основною метою даного дослідження є підвищення ефективності перевезень зернових вантажів у міжнародному змішаному сполученні. Реалізація цієї мети спрямована на створення оптимальної транспортно-логістичної системи, яка забезпечить мінімізацію витрат, скорочення часу доставки, збереження якості вантажу та відповідність міжнародним стандартам. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку завдань, спрямованих на формування інтегрованої моделі логістичного процесу.

Перше завдання полягає у розробці фізичної моделі логістичного процесу, що дозволяє чітко відобразити взаємодію між різними елементами транспортної системи. У фізичній моделі враховуються основні компоненти перевезень, такі як відправник, транспортні засоби, перевантажувальні пункти, склади та кінцевий одержувач. Модель повинна враховувати специфіку зернових вантажів, що включає їх фізико-хімічні властивості, умови транспортування та зберігання. Особливу увагу слід приділити аналізу технічних параметрів транспортних засобів, пропускної здатності логістичних вузлів, а також екологічним аспектам

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>KPM 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

перевезень [6]. Друге завдання включає оптимізацію маршрутів транспортування зернових вантажів у змішаному сполученні.

У цьому контексті необхідно враховувати вплив географічних, економічних та інфраструктурних факторів на вибір маршрутів.

Оптимізація передбачає розробку схем транспортування, які мінімізують витрати та час доставки, одночасно забезпечуючи високу надійність та безпеку логістичного процесу. Для вирішення цього завдання використовуються сучасні методи оптимізації, такі як лінійне програмування, транспортна задача та імітаційне моделювання.

Третє завдання — це побудова математичної моделі процесу перевезень зернових вантажів. Математична модель має відображати всі ключові аспекти логістичного процесу, включаючи розрахунок витрат, часу доставки, ризиків

пошкодження вантажу та інших факторів. Важливим етапом є врахування взаємозв'язків між різними параметрами моделі, що дозволить отримати точні прогнози ефективності транспортування. Математична модель повинна бути адаптована для використання у програмному забезпеченні, що дозволяє автоматизувати процес прийняття рішень.

Для досягнення поставлених завдань слід розробити конкретні показники ефективності, які дозволять оцінити успішність реалізації моделі. У таблиці 2.1 наведено основні показники ефективності, які пропонується використовувати для оцінки результатів дослідження.

Зазначені показники ефективності дозволять комплексно оцінити результати оптимізації логістичного процесу та визначити шляхи його подальшого вдосконалення.

Крім цього, для реалізації цілей дослідження передбачається розробка програмних засобів, які забезпечать автоматизацію розрахунків і візуалізацію результатів. Програмне забезпечення має підтримувати інтеграцію з сучасними інформаційними системами управління логістикою, що дозволить оперативно реагувати на зміни у транспортно-логістичному середовищі.

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1. — Основні показники ефективності логістичного процесу.

[12]

Показник	Одиниця виміру	Опис
Час доставки	Години, дні	Тривалість транспортування вантажу від відправника до кінцевого пункту.
Вартість перевезення	Гривні, долари	Сукупні витрати на транспортування, включаючи тарифи, митні збори, страхування.
Збереження якості вантажу	%	Частка вантажу, який доставлено без пошкоджень.
Пропускна здатність логістичних вузлів	<u>Тонни</u> на годину	Кількість вантажу, який може бути оброблений у певному логістичному <u>вузлі</u> .
Рівень завантаженості транспорту	%	Частка використання вантажопідйомності транспортних засобів.
Екологічний вплив	Викиди CO ₂ (<u>тонни</u>)	Обсяг викидів, що утворюються під час перевезення вантажів.

Таким чином, реалізація поставлених завдань дозволить створити ефективну систему перевезень зернових вантажів у міжнародному змішаному сполученні, яка відповідатиме сучасним вимогам ринку та забезпечить високий рівень надійності і рентабельності логістичних операцій.

Процес перевезень зернових вантажів у міжнародному змішаному сполученні вимагає ретельного врахування низки ключових параметрів, які впливають на ефективність логістичних операцій, витрати та збереження якості вантажу. Визначення цих параметрів є важливим етапом, який забезпечує основу для розробки фізичних і математичних моделей, а також для подальшої оптимізації логістичних схем. Основні параметри можна умовно поділити на кілька категорій: обсяги перевезень, характеристики транспортних засобів,

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.					26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маршрутні показники, витрати на перевезення, а також параметри, що визначають збереження якості вантажу [9].

Одним із ключових параметрів є обсяги перевезень. Зернові вантажі транспортуються великими партіями, що вимагає врахування не лише загального тоннажу, а й його розподілу між транспортними засобами та логістичними вузлами. Наприклад, для транспортування зерна може використовуватися автомобільний, залізничний або морський транспорт, кожен з яких має свої обмеження за вантажопідйомністю. Для визначення оптимальних обсягів перевезень необхідно враховувати як поточний попит на міжнародному ринку, так і логістичні можливості окремих ланок системи. При цьому важливо забезпечити баланс між максимально можливим завантаженням транспортних засобів і потребою в оперативній доставці.

Види транспорту, які використовуються для перевезення зернових, також відіграють вирішальну роль. У змішаному сполученні найчастіше комбінуються автомобільний, залізничний і морський транспорт. Кожен із цих видів транспорту має свої переваги та обмеження. Наприклад, автомобільний транспорт забезпечує гнучкість у виборі маршрутів, але є менш ефективним на великих відстанях.

Залізничний транспорт є економічно вигідним для перевезень великих обсягів зерна на середні й далекі відстані, але обмежений доступністю залізничної інфраструктури.

Морський транспорт дозволяє транспортувати великі партії зерна між континентами, однак залежність від погодних умов і значна тривалість перевезення можуть створювати додаткові виклики.

Маршрутні характеристики визначаються такими параметрами, як відстань між пунктами відправлення й призначення, кількість проміжних пунктів перевантаження, якість транспортної інфраструктури та швидкість доставки. Наприклад, вибір оптимального маршруту може включати оцінку кількох альтернативних шляхів з урахуванням стану доріг, завантаженості залізничних шляхів або пропускної здатності портів.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Важливо також враховувати ризики, пов'язані з можливими затримками на митниці, погодними умовами чи технічними несправностями транспортних засобів. Оптимізація маршрутів спрямована на мінімізацію витрат і часу доставки, що є критично важливим для збереження конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Витрати на транспортування є ще одним важливим параметром, який враховує сукупні витрати на організацію перевезення. До них належать витрати на паливо, технічне обслуговування транспортних засобів, митні збори, страхування вантажу, а також витрати, пов'язані з використанням логістичної інфраструктури (складів, портових терміналів тощо). Розрахунок витрат повинен враховувати як прямі витрати, пов'язані з самим процесом перевезення, так і непрямі витрати, зокрема витрати на зберігання вантажу в разі затримок або необхідність організації додаткових перевантажень. Зниження витрат є одним із ключових завдань оптимізації логістичних процесів [10].

Окремої уваги потребують параметри, що впливають на якість зберігання вантажу. Зернові вантажі є чутливими до зовнішніх впливів, таких як температура, вологість і механічні пошкодження. Умови транспортування повинні забезпечувати збереження первинної якості зерна, що вимагає використання спеціалізованого обладнання, такого як герметичні контейнери або вагони з системами контролю клімату. Крім того, необхідно враховувати терміни зберігання вантажу на проміжних складах, оскільки тривале зберігання може призвести до втрати якості зерна через розвиток шкідників, плісняви або окислення. Комплексне врахування зазначених параметрів дозволяє забезпечити ефективну організацію перевезень зернових вантажів у міжнародному змішаному сполученні. Розрахунки повинні враховувати взаємозв'язок між обсягами перевезень, характеристиками транспортних засобів, маршрутними показниками, витратами та вимогами до якості вантажу. Це створює основу для розробки інтегрованих логістичних рішень, які дозволяють забезпечити високу ефективність та конкурентоспроможність логістичних процесів на міжнародному ринку [7].

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Розрахунок параметрів для процесу перевезення зернових вантажів у міжнародному сполученні виконувався за умов перевезення зернових вантажів (обсяг $Q=1000$ т) елеваторів у містах Ковель та Кропивницький через морський порт Одеса і порт Роттердам (Нідерланди).

Таблиця 2.2 — Розглянемо приклад

Параметр	Поїзд (Ковель → Одеса)	Авто (Кропивницький → Одеса)	Корабель (Одеса → Роттердам)
Відстань, S , км	901	310	2500
Швидкість V , км/год	70	50	30
Вартість, C , \$/тонна·км	0.10	0.07	0.04
Витрати палива, F , л/км	0.3	2.5	0.2
Час зупинок, $T_{зуп}$, год	2	4	10

Час на кожному етапі:

$$T_i = \frac{S_i}{v_i} \quad (2.1)$$

T_i : Час доставки для i -го маршруту (години).

S_i : Загальна відстань для i -го маршруту (кілометри).

V_i : Середня швидкість транспорту для i -го маршруту (кілометри на годину, км/год).

- Авто: $T_{авто} = \frac{430}{70} + 2 = 8.14$ год.
- Зал.: $T_{авто} = \frac{20}{50} + 4 = 4.4$ год.
- Мор.: $T_{корабель} = \frac{2500}{30} + 10 = 93.33$ год.

Виконав	Курдубаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Загальний час:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{авто}} + T_{\text{поїзд}} + T_{\text{корабель}} = 8.14 + 4.4 + 93.33 = 105.87 \text{ год.}$$

Вартість на кожному етапі:

$$C_i = C \cdot S \cdot Q \quad (2.2)$$

C_i : Загальна вартість перевезення для i -го маршруту (у грошових одиницях, наприклад, USD).

C : Вартість перевезення на одиницю вантажу за одиницю відстані (наприклад, \$/тонна·км).

S : Відстань маршруту (кілометри).

Q : Обсяг вантажу (тонни).

- Авто: $C_{\text{авто}} = 0.10 \cdot 430 \cdot 1000 = 43,000 \text{ USD}$.
- Зал.: $C_{\text{спотяг}} = 0.07 \cdot 20 \cdot 1000 = 1,400 \text{ USD}$.
- Мор.: $C_{\text{корабель}} = 0.04 \cdot 2500 \cdot 1000 = 100,000 \text{ USD}$.

Загальна вартість:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{авто}} + C_{\text{спотяг}} + C_{\text{корабель}} \quad (2.3)$$

$C_{\text{заг}}$: Загальна вартість перевезення (у грошових одиницях, наприклад, USD).

$C_{\text{авто}}$: Вартість перевезення автомобільним транспортом (USD).

$C_{\text{спотяг}}$: Вартість перевезення залізничним транспортом (USD).

$C_{\text{корабель}}$: Вартість перевезення морським транспортом (USD).

$$C_{\text{заг}} = 43,000 + 1,400 + 100,000 = 144,400 \text{ USD.}$$

Паливні витрати на кожному етапі:

$$F_i = F \cdot S \quad (2.4)$$

F_i : Загальні витрати палива для i -го маршруту (літри).

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

F: Витрати палива транспортного засобу на одиницю відстані (літри на кілометр, л/км).

S: Відстань маршруту (кілометри).

- Авто: $F_{\text{авто}} = 0.3 \cdot 430 = 129$ л.
- Зал.: $F_{\text{потяг}} = 2.5 \cdot 20 = 50$ л.
- Мор.: $F_{\text{корабель}} = 0.2 \cdot 2500 = 500$ л.

Загальні витрати палива:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{авто}} + F_{\text{потяг}} + F_{\text{корабель}} \quad (2.5)$$

F_{заг}: Загальні витрати палива для всього маршруту (літри).

F_{авто}: Витрати палива для автомобільного транспорту (літри).

F_{потяг}: Витрати палива для залізничного транспорту (літри).

F_{корабель}: Витрати палива для морського транспорту (літри).

$$F_{\text{заг}} = 129 + 50 + 500 = 679 \text{ л.}$$

Обраний маршрут (авто → потяг → корабель) є оптимальним, оскільки він мінімізує загальні витрати порівняно з альтернативними маршрутами (наприклад, лише автомобільний транспорт).

1. Загальний час перевезення: $T_{\text{заг}} = 105.87$ год.
2. Загальна вартість перевезення: $S_{\text{заг}} = 144,400$ USD.
3. Загальні витрати палива: $F_{\text{заг}} = 679$ л.

У зв'язку з цим формулювання математичної задачі повинно враховувати всі основні аспекти логістичного процесу та зовнішніх факторів, які впливають на його ефективність.

2.2 Побудова фізичної моделі. Методи оптимізації транспортно-логістичних схеми

Фізична модель перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні є комплексною структурою, яка охоплює всі елементи транспортно-логістичного процесу. Вона спрямована на забезпечення чіткої взаємодії між різними

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.								31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

учасниками логістичного ланцюга, починаючи від відправника вантажу до кінцевого пункту доставки. Ефективність функціонування фізичної моделі залежить від узгодженості її компонентів, а також від оптимального використання інфраструктури, транспортних засобів та ресурсів.

Одним із ключових елементів фізичної моделі є відправник вантажу. Відправником може бути сільськогосподарське підприємство, елеватор або інший суб'єкт, який забезпечує первинне зберігання та підготовку зернових до транспортування. На цьому етапі важливо забезпечити якісне пакування зерна, підготовку відповідної документації, включаючи фітосанітарні сертифікати, а також організацію логістичних операцій, таких як завантаження вантажу на транспортні засоби.

Крім того, відправник відповідає за забезпечення відповідності вантажу міжнародним стандартам, що дозволяє уникнути затримок під час митного оформлення. Наступним елементом є транспортні засоби, які виконують основну функцію перевезення зернових вантажів. У змішаному сполученні використовуються автомобільний, залізничний і морський транспорт. Автомобільний транспорт забезпечує гнучкість у виборі маршрутів і є незамінним для доставки зерна від відправника до залізничних станцій або портів. Залізничний транспорт використовується для транспортування великих обсягів зерна на середні та далекі відстані. Морський транспорт забезпечує перевезення зернових у контейнерах між континентами, що є економічно вигідним для великих партій вантажу. Кожен вид транспорту має свої технічні характеристики, включаючи вантажопідйомність, швидкість перевезення та вимоги до умов зберігання вантажу.

Логістичні термінали виконують функцію проміжного зберігання та обробки вантажів, забезпечуючи їх підготовку до подальшого транспортування. Якість інфраструктури та її пропускна здатність безпосередньо впливають на швидкість і надійність логістичного процесу.

Кінцевий пункт доставки є завершальним етапом у логістичному ланцюзі. Це може бути порт призначення, залізнична станція або склад кінцевого споживача. На цьому етапі важливо забезпечити своєчасне вивантаження

Виконав	Курдібаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вантажу, його перевірку на відповідність вимогам одержувача та передачу відповідної документації. Крім того, необхідно враховувати специфіку обробки зернових вантажів, що включає дотримання вимог до умов зберігання та обробки вантажу. Для ефективного функціонування фізичної моделі необхідно забезпечити інтеграцію її компонентів.

У таблиці 2.3 наведено основні функції кожного елемента фізичної моделі та їхній внесок у загальний логістичний процес [8].

Таблиця 2.3 — Основні елементи фізичної моделі перевезень зернових вантажів

Елемент фізичної моделі	Функції	Вплив на логістичний процес
Відправник	Підготовка вантажу, оформлення документів, завантаження	Забезпечує відповідність вимогам до вантажу
Автомобільний транспорт	Доставка до терміналів, портів або залізничних станцій	Гнучкість у виборі маршрутів, швидке перевезення
Залізничний транспорт	Транспортування на середні й далекі відстані	Висока вантажопідйомність, економічність
Морський транспорт	Міжконтинентальне перевезення	Низька вартість перевезення великих партій вантажу
Інфраструктура (порти, склади, термінали)	Перевантаження, зберігання, обробка вантажу	Впливає на швидкість і надійність перевезень
Кінцевий пункт доставки	Вивантаження, перевірка якості, передача документів	Завершення логістичного циклу, задоволення вимог споживача

Інфраструктура є ще одним важливим компонентом фізичної моделі. Вона включає порти, термінали, залізничні станції, логістичні хаби та склади. Порти є критично важливими вузлами у міжнародному транспортуванні зернових, забезпечуючи перевантаження вантажів із залізничних або автомобільних транспортних засобів на судна.

Комплексна інтеграція цих елементів дозволяє забезпечити безперервність логістичного процесу, високу надійність перевезень і мінімізацію витрат. Фізична модель слугує основою для розробки математичних моделей і впровадження сучасних інформаційних технологій, що сприяють підвищенню ефективності перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

Ефективність фізичної моделі перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні значною мірою залежить від дії зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на всі етапи логістичного процесу. До ключових факторів, які визначають якість і результативність перевезень, належать транспортні обмеження, погодні умови, затримки в портах, а також регуляторні вимоги та економічні умови. Ці фактори слід враховувати під час розробки фізичної моделі, оскільки вони мають значний вплив параметри логістичної схеми [6].

Транспортні обмеження є одним із основних факторів, що впливають на вибір і функціонування логістичних маршрутів. Для кожного виду транспорту існують свої специфічні обмеження. Наприклад, автомобільний транспорт має обмеження за вантажопідйомністю, довжиною маршрутів і дозволеним часом експлуатації. Залізничний транспорт залежить від доступності залізничної інфраструктури, пропускної здатності колій і графіку руху поїздів. Морський транспорт обмежується глибинами портів, доступністю контейнерів і суден, а також умовами навігації. Ці обмеження визначають, які види транспорту можуть бути використані для перевезення зернових і як вони взаємодіють між собою у змішаній транспортній системі. Основні етапи міжнародного перевезення показані на рисунку 2.3.

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	



Рисунок 2.3 — Основні етапи міжнародного перевезення [10]

Погодні умови також мають суттєвий вплив на фізичну модель перевезень. Наприклад, у разі використання автомобільного транспорту несприятливі погодні умови, такі як сильний дощ, снігопади чи ожеледь, можуть ускладнити рух транспортних засобів або навіть призвести до їхньої зупинки. У залізничному транспорті погодні умови можуть викликати пошкодження колій або затримки у русі поїздів.

Для морського транспорту штормова погода чи сильний вітер можуть призвести до затримок у портах, зупинки суден або навіть їхньої перенаправлення до інших портів. Усі ці фактори створюють додаткові ризики та витрати, які необхідно враховувати в логістичному плануванні. Затримки в портах є ще одним важливим фактором, який впливає на ефективність логістичної схеми.

Порти є ключовими вузлами у міжнародних перевезеннях, але їхня пропускна здатність часто обмежується технічними, організаційними та інфраструктурними факторами.

Наприклад, недостатня кількість перевантажувального обладнання, низька продуктивність роботи портового персоналу або переповненість терміналів можуть спричинити значні затримки в обробці вантажів. Крім того, у багатьох

Виконав	Курдидіаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

портах митні процедури займають тривалий час, що створює додаткові труднощі для експортерів і перевізників. Вплив затримок у портах посилюється, якщо вони входять до складу змішаного логістичного ланцюга, оскільки порушення графіку в одному вузлі може спричинити збої на всіх наступних етапах.

Регуляторні вимоги також суттєво впливають на фізичну модель перевезень. У міжнародних перевезеннях зернових вантажів потрібно дотримуватися численних правил і стандартів, таких як фітосанітарні норми, вимоги до пакування.

Недотримання цих вимог може призвести до відмови у ввезенні вантажу, штрафів або затримок на митниці. Крім того, регуляторні вимоги часто змінюються залежно від країни або регіону, що створює додаткові виклики для експортерів і логістичних операторів [20, с. 80].

Економічні умови також відіграють важливу роль у формуванні фізичної моделі перевезень.

Наприклад, зміна цін на паливо, підвищення тарифів на перевезення або коливання валютних курсів можуть суттєво впливати на загальні витрати транспортування. Крім того, економічна нестабільність у певних регіонах може збільшити ризики для перевезень, включаючи затримки, пошкодження вантажу або навіть втрату вантажу.

Усі зазначені фактори необхідно враховувати під час розробки фізичної моделі перевезень. Це дозволяє мінімізувати ризики, забезпечити безперервність логістичного процесу та підвищити загальну ефективність перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні. Систематизація та аналіз впливу ключових факторів на логістичний процес наведені в таблиці 2.4.

Розуміння впливу цих факторів дозволяє не лише створити більш стійку фізичну модель, але й сприяє розробці ефективних стратегій адаптації до змінних умов логістичного середовища.

Оптимізація транспортно-логістичних схем є важливим етапом у забезпеченні ефективності перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні. Для досягнення цієї мети використовуються різні методи, які

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

дозволяють мінімізувати витрати, скоротити час доставки, забезпечити високу надійність та зберігання якості вантажу.

Таблиця 2.4 — Вплив ключових факторів на фізичну модель перевезень

Фактор	Вплив на логістичний процес	Можливі наслідки
Транспортні обмеження	Вибір видів транспорту, маршрутів, взаємодія в ланцюгу	Затримки, збільшення витрат
Погодні умови	Робота транспортних засобів, стан інфраструктури	Збої у графіку, пошкодження вантажу
Затримки в портах	Обробка вантажів, перевантаження, митні процедури	Порушення графіку, додаткові витрати
Регуляторні вимоги	Відповідність нормам, документообіг	Затримки на митниці, відмова у ввезенні
Економічні умови	Зміна вартості транспортування, тарифи, валютні ризики	Збільшення витрат, зменшення конкурентоспроможності

До основних методів, які застосовуються в оптимізації транспортно-логістичних схем, належать лінійне програмування, транспортна задача, метод Дейкстри та імітаційне моделювання.

Лінійне програмування є одним із найпоширеніших методів оптимізації логістичних процесів. Воно дозволяє визначити оптимальне співвідношення між обсягами перевезень, витратами та ресурсами. Метою використання лінійного програмування є мінімізація загальних витрат на перевезення за умови дотримання обмежень, пов'язаних із пропускнуою здатністю транспортних засобів, часом доставки та іншими логістичними параметрами. Модель лінійного програмування будується у вигляді математичної системи рівнянь та

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

нерівностей, де змінними є обсяги перевезень між пунктами, а функція цілі визначає загальні витрати [4].

Транспортна задача є спеціалізованою формою лінійного програмування, яка використовується для оптимізації перевезень між кількома пунктами відправлення та призначення. Її основне завдання полягає у визначенні такого розподілу вантажів між транспортними засобами та маршрутами, який мінімізує загальні витрати на перевезення. Транспортна задача має чітку структуру, що дозволяє враховувати обмеження на обсяги вантажів, пропускну здатність транспортних вузлів і маршрути. Цей метод є особливо ефективним для великих логістичних мереж, де необхідно координувати перевезення між численними пунктами. Фізична модель транспортно-логістичної схеми доставки зернових вантажів показана на рисунку 2.4.

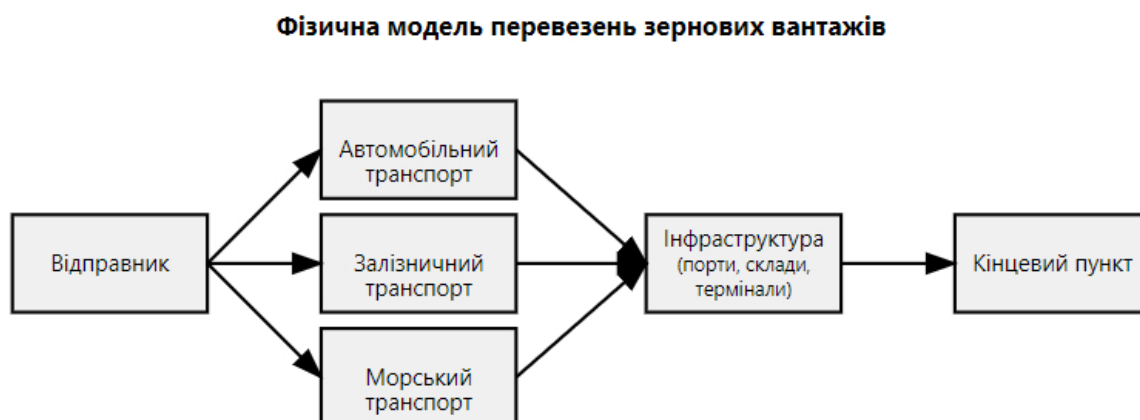


Рисунок 2.4 — Модель перевезень зернових вантажів [12].

На рис. 2.4 представлено схематичне зображення фізичної моделі перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

Схема відображає основні елементи логістичного процесу та їх взаємозв'язки. Центральними елементами моделі є різні види транспорту (автомобільний, залізничний та морський), які забезпечують переміщення вантажів від відправника до кінцевого пункту через об'єкти інфраструктури.

Цей алгоритм є надзвичайно ефективним для планування маршрутів у складних транспортних мережах, особливо у випадках, коли маршрути мають

Виконав		Курдубаха В. А.		КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив		Кузьменко А.І.			38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

численні варіанти або змінюються через зовнішні фактори. Імітаційне моделювання є сучасним методом оптимізації, який дозволяє аналізувати й прогнозувати ефективність логістичних схем за різних умов. Цей метод передбачає створення комп'ютерної моделі транспортно-логістичної системи, яка імітує реальні процеси перевезення.

Моделювання дозволяє враховувати численні фактори, такі як зміни в попиті, погодні умови, затримки на митниці або порушення графіку транспортування. Імітаційне моделювання дає змогу оцінювати наслідки різних сценаріїв і обирати оптимальні рішення, які забезпечують стійкість логістичної системи до змінних умов.

Усі зазначені методи мають свої переваги та недоліки, що визначають їхнє застосування в залежності від конкретних завдань і умов логістичної системи. У таблиці 2.5 наведено порівняльну характеристику методів оптимізації транспортно-логістичних схем.

Розуміння особливостей кожного методу дозволяє ефективно застосовувати їх для вирішення конкретних завдань, пов'язаних із оптимізацією транспортно-логістичних схем. Інтеграція кількох методів може забезпечити комплексний підхід до вирішення проблем, підвищуючи ефективність і надійність перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні [1].

2.3 Розробка математичної моделі процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні

Постановка задачі математичного моделювання перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні є ключовим етапом у розробці логістичної системи, що забезпечує ефективність і конкурентоспроможність. Основною метою моделювання є мінімізація витрат і часу доставки з урахуванням специфіки зернових вантажів, яка включає їхню чутливість до умов транспортування, зберігання та обробки. Задача математичного моделювання передбачає розробку моделі, що дозволяє визначити оптимальні маршрути, вибрати найбільш підходящі види транспорту.

Виконав		Курдибаха В. А.		КРМ 275 17 ПЗ			Арк.
Перевірив		Кузьменко А.І.					39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 2.5 — Порівняльна характеристика методів оптимізації транспортно-логістичних схем

Метод	Основна мета	Переваги	Недоліки
Лінійне програмування	Мінімізація витрат	Універсальність, можливість роботи з великими даними	Складність побудови моделей для багатofакторних систем
Транспортна задача	Оптимізація перевезень між пунктами	Простота розв'язання, чітка структура	Не враховує динамічні фактори
Метод Дейкстри	Пошук найкоротшого маршруту	Ефективність для складних мереж	Не враховує зовнішні фактори
Імітаційне моделювання	Аналіз і прогнозування ефективності	Враховування багатьох факторів, гнучкість	Висока вартість і складність реалізації

Потрібно оцінити витрати на перевезення та забезпечити дотримання необхідних умов для збереження якості вантажу. Формулювання задачі починається з визначення основних змінних, які характеризують логістичний процес. Серед них – обсяги вантажів, відстань між пунктами перевезення, пропускна здатність транспортних засобів, витрати на кожному етапі логістичного ланцюга, час доставки та ризику, пов'язані з порушенням умов транспортування.

Математична модель повинна враховувати специфіку зернових вантажів, які є чутливими до зовнішніх впливів, таких як температура, вологість і

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

механічні пошкодження. Це вимагає включення до моделі обмежень, які гарантують збереження якості вантажу на всіх етапах транспортування. Наприклад, температура і вологість повинні підтримуватися на оптимальному рівні в транспортних засобах, а перевантаження вантажу має виконуватися з використанням спеціалізованого обладнання, яке мінімізує ризик пошкоджень.

Однією з основних змінних моделі є час доставки. Він визначається як сума часу, необхідного для перевезення вантажу між пунктами логістичного ланцюга, часу на перевантаження в логістичних вузлах і можливих затримок через зовнішні фактори, такі як погодні умови чи митні процедури. Метою моделювання є мінімізація цього показника при забезпеченні дотримання всіх обмежень і вимог.

Іншою важливою змінною є загальні витрати на транспортування. Вони включають витрати на паливо, оренду або утримання транспортних засобів, оплату праці персоналу, митні збори, страхування вантажу, а також витрати, пов'язані з використанням логістичної інфраструктури, такої як порти чи склади.

Для мінімізації витрат модель повинна враховувати всі можливі альтернативи, такі як використання різних видів транспорту, оптимізація маршрутів або зменшення часу простоїв.

Цільова функція для мінімізації загальних витрат:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^N C_i \quad (2.6)$$

Математична модель повинна також включати механізми врахування ризиків і невизначеностей. Наприклад, зміна цін на паливо, затримки через погодні умови чи перебої в роботі портів можуть суттєво вплинути на ефективність логістичного процесу. У зв'язку з цим до моделі доцільно додати стохастичні елементи, які дозволять врахувати вплив випадкових факторів і знизити ризики.

Для формулювання математичної задачі визначаються функція цілі та обмеження.

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Функція цілі – це математичний вираз, який визначає загальні витрати та час доставки, що мають бути мінімізовані. Обмеження включають технічні характеристики транспортних засобів, вимоги до умов транспортування, пропускну здатність логістичних вузлів, регуляторні вимоги та інші фактори. У загальному вигляді математична задача може бути представлена у вигляді системи рівнянь та нерівностей, що описують логістичний процес.

Розв’язання задачі математичного моделювання дозволяє визначити оптимальні параметри логістичної системи, які забезпечують мінімізацію витрат і часу доставки за дотримання всіх необхідних умов. Модель може бути реалізована з використанням сучасного програмного забезпечення, такого як MATLAB, Python чи спеціалізовані логістичні платформи, що дозволяє автоматизувати процес розрахунків і аналізу.

Таким чином, постановка задачі математичного моделювання є важливим етапом у розробці ефективної логістичної системи для перевезень зернових вантажів. Вона забезпечує основу для прийняття обґрунтованих рішень, які дозволяють підвищити ефективність перевезень, забезпечити збереження якості вантажу та мінімізувати витрати в умовах міжнародного сполучення. Створення математичних рівнянь для моделювання процесу перевезень зернових вантажів є який дозволяє формалізувати всі ключові аспекти логістичного процесу.

Математичні рівняння забезпечують можливість кількісного аналізу, оптимізації і прогнозування ефективності перевезень, враховуючи такі показники, як час доставки, витрати на транспортування та додаткові витрати, пов’язані з використанням логістичної інфраструктури і зовнішніми факторами.

Для розрахунку часу доставки використовується базове рівняння, що враховує відстань між пунктами перевезення та швидкість транспорту. У загальному вигляді час доставки можна подати як $T_d = D/V$, де T_d – час доставки, D – відстань між пунктами перевезення, V – середня швидкість транспорту.

Модель, зображена на рисунку 2.4, демонструє можливість паралельного використання різних видів транспорту, що підвищує гнучкість логістичної системи та дозволяє оптимізувати процес доставки залежно від конкретних умов

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

та вимог. Важливу роль у моделі відіграють об'єкти інфраструктури (порти, склади, термінали).

Однак для більш точного розрахунку необхідно врахувати додаткові затримки на кожному етапі логістичного ланцюга.

У такому випадку загальний час доставки визначається за формулою [22]:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{д}} + \sum_{i=1}^n T_{\text{з}}, \quad (2.7)$$

де $T_{\text{заг}}$ – загальний час доставки,

$T_{\text{з}}$ – час затримки на кожному етапі i ,

n – кількість етапів.

Розрахунок витрат на транспортування ґрунтується на врахуванні тарифів для кожного виду транспорту, обсягів вантажу та додаткових витрат, таких як митні збори, страхування та витрати на зберігання. Базове рівняння для розрахунку загальних витрат має вигляд [22]:

$$C = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot Q_i + p_i), \quad (2.8)$$

де C – загальні витрати,

c_i – тариф для кожного виду транспорту,

Q_i – обсяг вантажу, що транспортується на етапі i ,

p_i – додаткові витрати на етапі i .

Додаткові витрати можуть включати вартість перевантаження у портах, оренду складів, витрати на обслуговування транспортних засобів тощо.

У разі врахування таких витрат загальна формула набуває вигляду [22]:

$$C_{\text{заг}} = C + \sum_{j=1}^m c_{\text{д}j}, \quad (2.9)$$

де $C_{\text{заг}}$ – загальні витрати з урахуванням додаткових витрат, $c_{\text{д}j}$ – додаткові витрати на кожному логістичному вузлі j , m – кількість логістичних вузлів.

Виконав	Курдидіаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Для врахування зовнішніх факторів, таких як зміна цін на паливо або затримки через погодні умови, використовуються коефіцієнти корекції. Наприклад, якщо є ризик збільшення витрат через зовнішні фактори, то загальні витрати можуть бути скориговані за формулою [22]:

$$\text{Скор} = C_{\text{заг}} \cdot (1 + k), \quad (2.10)$$

де $C_{\text{кор}}$ – скориговані витрати,

k – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішніх факторів [7].

Для зручності всі основні рівняння для математичного моделювання перевезень зернових вантажів знесені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6. — Основні рівняння для математичного моделювання перевезень зернових вантажів

Рівняння	Параметри	Опис застосування
$T_d = D/V$	D, V	Розрахунок базового часу доставки
$T_{\text{заг}} = T_d + \sum_{i=1}^n T_z$	T_d, T_z, n	Визначення загального часу доставки
$C = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot Q_i + p_i)$	c_i, Q_i, p_i	Розрахунок базових витрат на транспортування
$C_{\text{заг}} = C + \sum_{j=1}^m c_{dj}$	C, c_{dj}, m	Врахування додаткових витрат на логістичних вузлах
$\text{Скор} = C_{\text{заг}} \cdot (1 + k)$	$C_{\text{заг}}, k$	Скориговані витрати з урахуванням зовнішніх факторів

Реалізація математичної моделі перевезень зернових вантажів у програмному забезпеченні є важливим етапом для її практичного використання. Це дозволяє автоматизувати процес розрахунків, аналізувати ефективність

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

логістичних рішень, проводити оптимізацію параметрів перевезень і тестувати різні сценарії в умовах змінних зовнішніх факторів. Для цього використовуються універсальні програмні середовища, такі як MATLAB, Python, або спеціалізовані платформи для управління логістикою [22].

Процес реалізації моделі починається з підготовки вихідних даних. До них належать параметри логістичної системи: відстані між пунктами перевезень, швидкість транспорту, тарифи для кожного виду транспорту, обсяги вантажів, витрати на зберігання, перевантаження, митні збори тощо.

На рис. 2.5 представлено схематичне зображення фізичної моделі перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

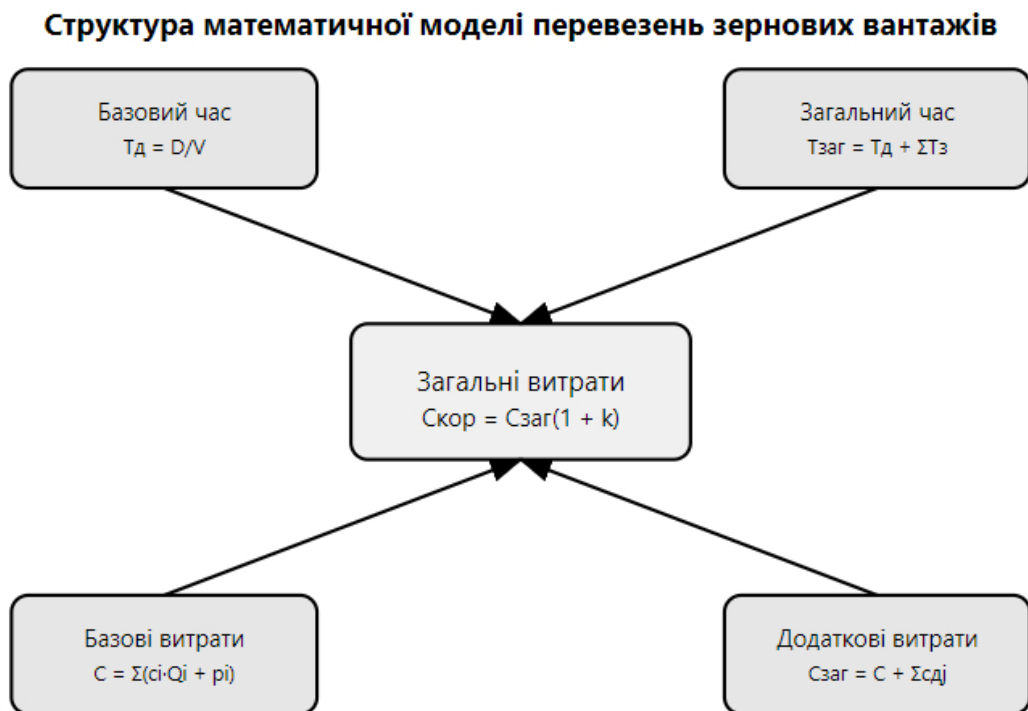


Рисунок 2.5 — Структура математичної моделі перевезень

Схема відображає основні елементи логістичного процесу та їх взаємозв'язки. Центральними елементами моделі є різні види транспорту (автомобільний, залізничний та морський), які забезпечують переміщення вантажів від відправника до кінцевого пункту через об'єкти інфраструктури. Модель демонструє можливість паралельного використання різних видів транспорту, що підвищує гнучкість логістичної системи та дозволяє

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

оптимізувати процес доставки залежно від конкретних умов та вимог. Важливу роль у моделі відіграють об'єкти інфраструктури (порти, склади, термінали), які забезпечують перевантаження та тимчасове зберігання вантажів при зміні виду транспорту.

Всі дані організовуються у вигляді таблиць або баз даних, які потім імпортуються до програмного середовища.

Реалізація моделі також може включати інтеграцію з іншими інформаційними системами, такими як платформи управління ланцюгами постачань (SCM-системи). Це дозволяє автоматизувати процес оновлення даних, аналізувати ефективність у реальному часі та швидко адаптувати модель до змінних умов. У таблиці 2.7 наведено основні етапи реалізації моделі у програмному забезпеченні та їхнє практичне значення.

Таблиця 2.7 — Основні етапи реалізації математичної моделі в програмному забезпеченні

Етап реалізації	Опис	Практичне значення
Підготовка вихідних даних	Організація даних у таблицях або базах даних, імпорт до ПЗ	Забезпечує доступність і точність вхідних параметрів
Реалізація рівнянь	Написання функцій для розрахунків, використання бібліотек	Автоматизація обчислень, гнучкість моделювання
Тестування моделі	Перевірка точності розрахунків, аналіз результатів	Виявлення помилок, підвищення надійності моделі
Візуалізація результатів	Побудова графіків, карт, діаграм	Полегшує аналіз і прийняття рішень
Інтеграція з SCM-системами	Зв'язок із платформами для управління ланцюгами постачань	Автоматизація процесу, адаптація до змін

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Реалізація моделі в програмному забезпеченні забезпечує гнучкість і ефективність у розрахунках і аналізі логістичних процесів. Вона дозволяє проводити багатофакторний аналіз, моделювати альтернативні сценарії та оперативно адаптуватися до змін у зовнішніх умовах, підвищуючи ефективність перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні [3].

Мережеве планування – це одна з форм графічного відображення змісту робіт і тривалості виконання стратегічних планів і довгострокових комплексів проектних, планових, організаційних та інших видів діяльності підприємств. Широко використовується при розробці планів, для контролю за виконанням проектів, раціонального використання ресурсів, координації взаємодії між керівниками та виконавцями проектів тощо. Методи мережевого планування та управління використовуються при плануванні складних комплексних проектів, наприклад, при будівництві та реконструкції будь-яких об'єктів, виконанні науково-дослідних та конструкторських робіт, розробці відомчих програм, підготовці та освоєнні нових видів продукції, розробці родовищ корисних копалин, ремонті обладнання та інших [4].

Поряд з лінійними графіками та табличними розрахунками мережеві методи планування знаходять широке застосування при розробці перспективних планів та моделей створення складних виробничих систем та інших об'єктів довгострокового використання. Мережеві плани робіт підприємств по створенню нової конкурентоздатної продукції містять не тільки загальну тривалість всього комплексу проектно-виробничої та фінансово-економічної діяльності, але й тривалість та послідовність здійснення окремих процесів чи етапів, а також потреби необхідних економічних ресурсів.

На лінійних або стрічкових графіках по горизонтальній осі в обраному масштабі часу відкладається тривалість робіт за всіма стадіями, етапами виробництва. Зміст циклів робіт зображується по вертикальній осі з необхідним ступенем їх розчленування на окремі частини або елементи. циклові або лінійні графіки звичайно застосовуються на вітчизняних підприємствах у процесі короткострокового чи оперативного планування виробничої діяльності.

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>KPM 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Основним недоліком таких планів- графіків є відсутність можливості тісної взаємозв'язки окремих робіт в єдину виробничу систему або загальний процес досягнення запланованих кінцевих цілей підприємства (фірми). Мережеві графіки служать не тільки для планування різноманітних довгострокових робіт, але і їх координації між керівниками та виконавцями проектів, а також для визначення необхідних виробничих ресурсів та їх раціонального використання.

Мережева модель – це економіко-математична модель, що відображає комплекс робіт та подій та регламентує в просторі і часі їх реалізацію. Вона описує процес досягнення поставленої цілі в реалізації деякого проекту через відображення технологічної та логічної послідовності подій та зв'язків між ними.

Головні поняття теорії мережевого планування та програмування: подія (зображена кружечками на рис. 2.6), робота (стрілки) та шлях(маршрут переходу через виконання робіт, що знаходяться на маршруті, від початкової до кінцевої подій). Робота характеризує матеріальну дію, яка вимагає використання матеріальних ресурсів, або логічну дію, яку вимагає взаємозв'язок подій.

Подія – це результат виконання однієї або декількох робіт. Шлях – це ланцюжок подій, які відбуваються послідовно одна за одною, з'єднуючи послідовно початкову та кінцеву вершини графа, що відображає мережу

У випадку однозначного трактування характеристик операцій можуть бути зумовленими – моделі мережі називають детермінованими. Якщо ж характеристики операцій є випадковими величинами – такі мережеві моделі називають імовірнісними. Мережеві моделі можуть бути одно- та багатомережевими залежно від кількості технологічно незалежних комплексів операцій беруть участь у реалізації проекту. Одномережеві моделі можуть бути одно- та багатоцільовими залежно від кількості цільових подій. Багатомережеві моделі завжди є багатоцільовими. У мережевих моделях можуть підлягати математичному аналізу: час виконання комплексу операцій, вартість його виконання, обсяги використовуваних ресурсів.

Аналіз мережевих моделей полягає у визначенні певних характеристик, виходячи із заданих параметрів, використаних у цій моделі.

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У найпоширеніших прямих, календарних мережесих моделях базовими характеристиками є ранні і пізні терміни настання подій, пізнього початку і раннього закінчення операцій, резервів часу подій та операцій, критичний шлях. Результати здійсненого аналізу мережесих моделей дають змогу зробити висновок щодо міри задоволення визначеного плану виконання операцій прийнятним вимогам і, за необхідності, спричинюють до змін цього плану у потрібному напрямі. У термінах економічного аналізу мережесих моделі дають змогу підвищити надійність виконання комплексу операцій, забезпечити економічне витрачання людських, матеріальних і фінансових ресурсів.

Важливим є поняття критичного шляху, який складається з дуг, що з'єднують події з нульовим резервом часу. Кожна мережева модель має хоча б один критичний шлях, який визначає мінімальний термін виконання проекту. Зменшення терміну виконання операцій, розташованих на критичному шляху, забезпечують зменшення тривалості виконання усього комплексу операцій.

Цю властивість критичного шляху використовують у плануванні і управлінні реалізацією комплексу операцій, коли, намагаючись зменшити тривалість комплексу, розподіляють ресурси передусім на виконання операцій критичного шляху, а також у режимі оперативного управління, де особливу увагу приділено операціям критичного шляху.

На мережесих моделях розв'язуються задачі оптимізації термінів реалізації комплексу операцій, оптимізації розподілу і використання ресурсів. Алгоритми аналізу мережесих моделей є досить доступними за складністю і за своєю реалізацією на ЕОМ, дають добре наближення до оптимального розв'язку, незважаючи на те, що їхня значна частка має евристичний характер. мережева модель є хорошим інструментом імітації і використовується з метою прогнозування реалізації комплексу операцій, раціональних стратегій управління. Багатомережесих системи планування і управління дають змогу керувати основною виробничою діяльністю економічного об'єкта, виходячи з раціонального використання наявних ресурсів.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

У промисловості та будівництві багатомережеві системи відіграють важливу роль як засіб координації дій різноманітних учасників виробничого процесу.

Алгоритм обчислення термінів, резервів і критичного шляху

1. Визначення ранніх та пізніх термінів:

Ранній термін настання подій (T_{jp}) [22]: Обчислюється прямим ходом, починаючи з першої

$$T_{jp} = \frac{\max}{(i,j) \in E^+} \{T_{ip} + t_{ij}\}, \quad (2.11)$$

де T_{ip} — ранній термін настання події i ;

- t_{ij} — тривалість роботи між подіями i та j ;
- E^+ — множина всіх робіт, які завершуються подією j .

Пізній термін настання подій (T_{in}): Обчислюється зворотним ходом, починаючи з останньої події, де $T_{kn} = T_{kr}$ (останній термін дорівнює ранньому терміну). Формула [22]:

$$T_{in} = \frac{\min}{(i,j) \in E^+} \{T_{in} + t_{ij}\}, \quad (2.12)$$

де T_{jn} — пізній термін настання події j ;

- E^- — множина всіх робіт, які починаються з події i .

Резерв часу події (R_i):

Це різниця між пізнім і раннім терміном настання події [22]:

$$R_i = T_{in} - T_{ip}. \quad (2.13)$$

Резерв показує, на який термін можна затримати настання події i , не викликаючи затримки кінцевої події.

Повний резерв часу роботи (R_p): Різниця між пізнім терміном події j , тривалістю роботи t_{ij} , і раннім терміном події i [22]:

Виконав	Курдубаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$R_{ijp} = T_{jn} - t_{ij} - T_{ip}. \quad (2.14)$$

Це максимально допустимий час затримки роботи (i,j), не впливаючи на загальний строк проєкту.

Критичний шлях (Ткр): Критичний шлях — це найдовший шлях у мережевому графіку, що визначає загальну тривалість проєкту. Роботи на критичному шляху не мають резерву часу (R=0).

Алгоритм пошуку критичного шляху:

1. Визначити всі можливі шляхи від початкової події до кінцевої.
2. Обчислити тривалість кожного шляху: $T_{\text{шлях}} = \sum t_{ij}$, де t_{ij} — тривалість робіт на шляху.
3. Вибрати шлях із максимальною тривалістю [22]:

$$T_{\text{кр}} = \max(T_{\text{шлях}}). \quad (2.15)$$

Резерв шляху (Rшлях): Різниця між тривалістю критичного шляху (Ткр) та тривалістю даного шляху (Тшлях) [22]:

$$R_{\text{шлях}} = T_{\text{кр}} - T_{\text{шлях}}. \quad (2.16)$$

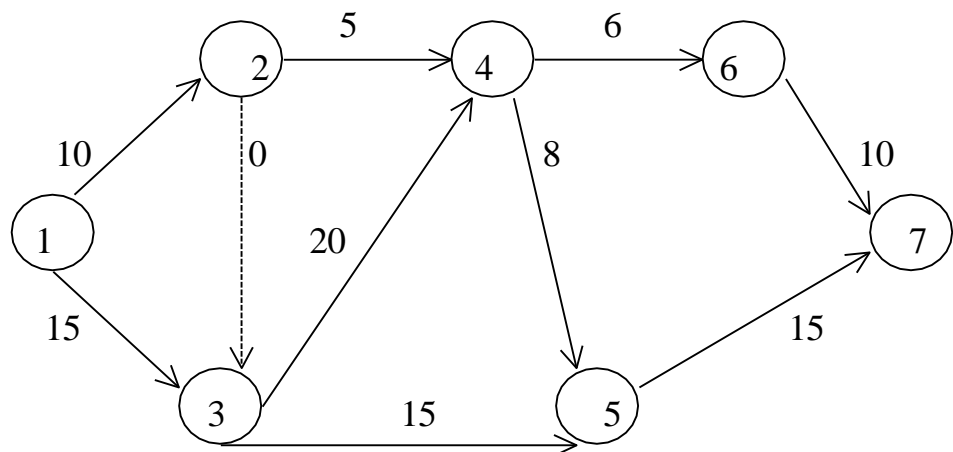


Рисунок 2.6 - Мережевий граф

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Події (вершини) мережевого графа матимуть наступну структуру:

1. Верхня чверть:

- Номер події (вершини), позначений як k_i .

2. Ліва чверть:

- Ранній термін настання події (ТР) — найбільш ранній час, коли ця подія може відбутися.

3. Права чверть:

- Пізній термін настання події (ТП) — найпізніший час, до якого ця подія повинна завершитися, щоб не викликати затримки в проєкті.

4. Нижня чверть:

- Номер події k_i , з якої отримано значення ТР (попередня подія, що вплинула на ранній термін).

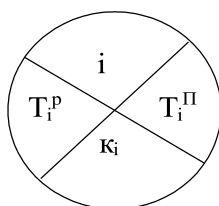


Рисунок 2.7 - Вершина мережевого графу

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

3.1 Виконання необхідних ітерацій за розробленою моделлю

Процес перевезення зернових вантажів у міжнародному сполученні має низку особливостей і викликів, які вимагають розробки та використання математичних моделей для оптимізації. Однією з основних цілей моделювання є підвищення ефективності логістичних процесів через оптимізацію витрат, скорочення часу доставки та забезпечення відповідності міжнародним стандартам [13, с. 8].

На основі аналізу, проведеного у попередніх розділах, для виконання ітерацій за моделлю визначено кілька ключових етапів:

Для оптимізації маршрутів і перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні були розроблені алгоритми, які базуються на використанні сучасних математичних методів. Основою оптимізації є лінійне програмування, яке дозволяє мінімізувати витрати, враховуючи такі параметри, як пропускна здатність транспортних вузлів, тарифи на перевезення та обсяги вантажів. Додатково використовується транспортна задача для оптимального розподілу вантажів між кількома пунктами відправлення і призначення. Метод Дейкстри застосовується для визначення найкоротших маршрутів із врахуванням відстані, часу та витрат, що є особливо корисним для складних логістичних мереж. Імітаційне моделювання забезпечує аналіз альтернативних варіантів логістичних рішень з урахуванням змінних умов [14].

Процес ітераційної оптимізації складається з багаторазових розрахунків, які включають два ключові аспекти. Перше — мінімізація часу доставки. Час розраховується з урахуванням основних етапів транспортування, таких як завантаження, перевантаження у вузлах, митні процедури та можливі затримки через зовнішні фактори, такі як погодні умови.

Друге — мінімізація витрат, яка враховує всі види витрат: транспортування, зберігання, митні збори, страхування та витрати на перевантаження.

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Цей підхід дозволяє досягти економії коштів та забезпечити конкурентоспроможність логістичних процесів.

Розрахунки для маршруту Ковель → Одеса:

Ранній термін (ТР):

- Початкова подія: $TAP=0$.
- Подія В: $TBP=TAP+tAB=0+6=6$.
- Подія С: $TCP=\max(TBP+tBC, TAP+tAC)=\max(6+8, 0+12)=14$.

Пізній термін (ТП):

- Кінцева подія С: $TCP=TCP=14$. $TCP=TCP=14$.
- Подія В: $TBP=TCP-tBC=14-8=6$. $TBP=TCP-tBC=14-8=6$.
- Подія А: $TAP=\min(TBP-tAB, TSP-tAC)=\min(6-6, 14-12)=0$.

Критичний шлях:

- Шлях А→В→С: $T_{\text{шлях}}=6+8=14$. $T_{\text{шлях}}=6+8=14$.
- Шлях А→С: $T_{\text{шлях}}=12$. $T_{\text{шлях}}=12$.
- Критичний шлях:
- А→В→С, $T_{\text{кр}}=14$.

Резерви:

- Для роботи А→С: $RAC=TCP-tAC-TAP=14-12-0=2$.
- Для шляху А→С: $R_{\text{шлях}}=T_{\text{кр}}-T_{\text{шлях}}=14-12=2$.

Розрахунки для маршруту Кропивницький → Одеса:

Ранній термін (ТР):

- Початкова подія: $TAP=0$.
- Подія В: $TBP=TAP+tAB=0+4=4$. $TBP=TAP+tAB=0+4=4$.
- Подія С: $TCP=\max(TBP+tBC, TAP+tAC)=\max(4+6, 0+9)=10$.

Пізній термін (ТП):

- Кінцева подія С: $TCP=TCP=10$.
- Подія В: $TBP=TCP-tBC=10-6=4$.
- Подія А: $TAP=\min(TBP-tAB, TSP-tAC)=\min(4-4, 10-9)=0$.

Критичний шлях:

- Шлях А→В→С: $T_{\text{шлях}}=4+6=10$.

Виконав	Курдубаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- Шлях $A \rightarrow CA \rightarrow C$: $T_{\text{шлях}}=9$.
- Критичний шлях:
- $A \rightarrow B \rightarrow C$, $T_{\text{кр}}=10$. $A \rightarrow B \rightarrow C$, $T_{\text{кр}}=10$.

Резерви:

- Для роботи $A \rightarrow CA \rightarrow C$: $R_{AC} = T_{\text{СП}} - t_{AC} - T_{AP} = 10 - 9 - 0 = 1$.
- Для шляху $A \rightarrow CA \rightarrow C$: $R_{\text{шлях}} = T_{\text{кр}} - T_{\text{шлях}} = 10 - 9 = 1$.

$$T_{1P} = 0, k_1 = -.$$

$$T_{2P} = T_{1P} + t_{12} = 0 + 10 = 10, k_2 = 1.$$

$$T_{3P} = \max(T_{1P} + t_{13}, T_{2P} + t_{23}) = \max(0 + 15, 10 + 0) = 15, k_3 = 1.$$

$$T_{4P} = \max(T_{2P} + t_{24}, T_{3P} + t_{34}) = \max(10 + 5, 15 + 20) = 35, k_4 = 3.$$

$$T_{5P} = \max(T_{3P} + t_{35}, T_{4P} + t_{45}) = \max(15 + 15, 35 + 8) = 43, k_5 = 4.$$

$$T_{6P} = T_{4P} + t_{46} = 35 + 6 = 41, k_6 = 4.$$

$$T_{7P} = \max(T_{5P} + t_{57}, T_{6P} + t_{67}) = \max(43 + 15, 41 + 10) = 58, k_7 = 5.$$

Побудуємо критичний шлях, починаючи з кінцевої вершин, рухаючись по номерах вершин k_i , що стоять у нижній частині.

У результаті отримаємо $1 - 3 - 4 - 5 - 7$. Знайдемо пізні строки настання подій. Нехай час закінчення всього проекту $T = T_7^P = T_{\text{кр.}} = 58$. Запишемо це значення у праву частку кінцевої вершини 7.

$$T_{7П} = T_{7P} = 58.$$

$$T_{6П} = T_{7П} - t_{67} = 58 - 10 = 48.$$

$$T_{5П} = T_{7П} - t_{57} = 58 - 15 = 43.$$

$$T_{4П} = \min(T_{6П} - t_{46}, T_{5П} - t_{45}) = \min(48 - 6, 43 - 8) = 35.$$

$$T_{3П} = \min(T_{5П} - t_{35}, T_{4П} - t_{34}) = \min(43 - 15, 35 - 20) = 15.$$

$$T_{2П} = \min(T_{4П} - t_{24}, T_{3П} - t_{23}) = \min(35 - 5, 15 - 0) = 15.$$

$$T_{1П} = \min(T_{3П} - t_{13}, T_{2П} - t_{12}) = \min(15 - 15, 15 - 10) = 0.$$

У результаті отримуємо наступну мережеву модель, що містить детальну інформацію про ранні, пізні терміни настання подій, критичний час і критичний шлях.

Критичний шлях відзначений товстими лініями на рисунку 2.5.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

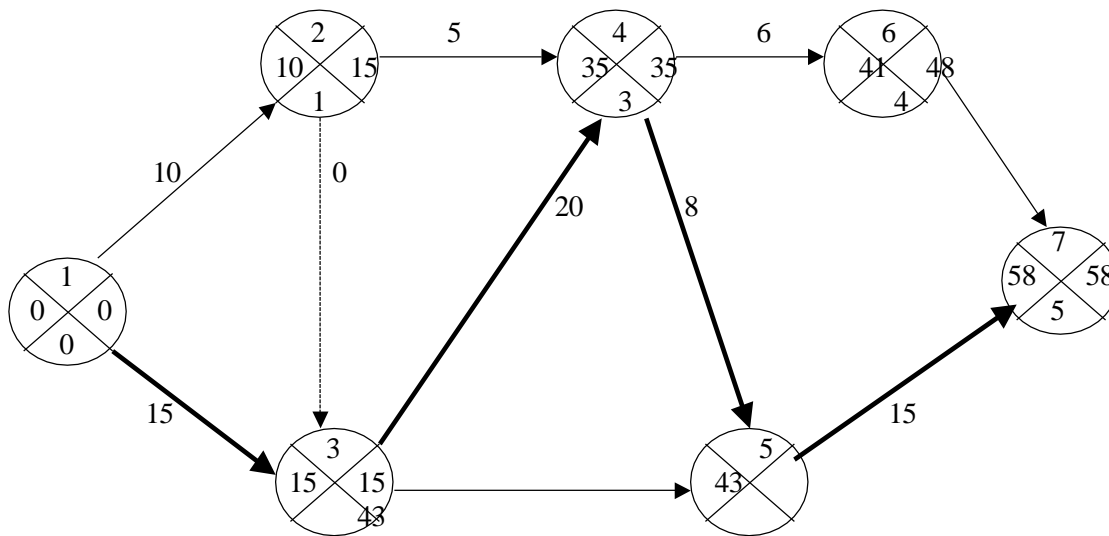


Рисунок 2.8 - Мережевий граф з критичним шляхом

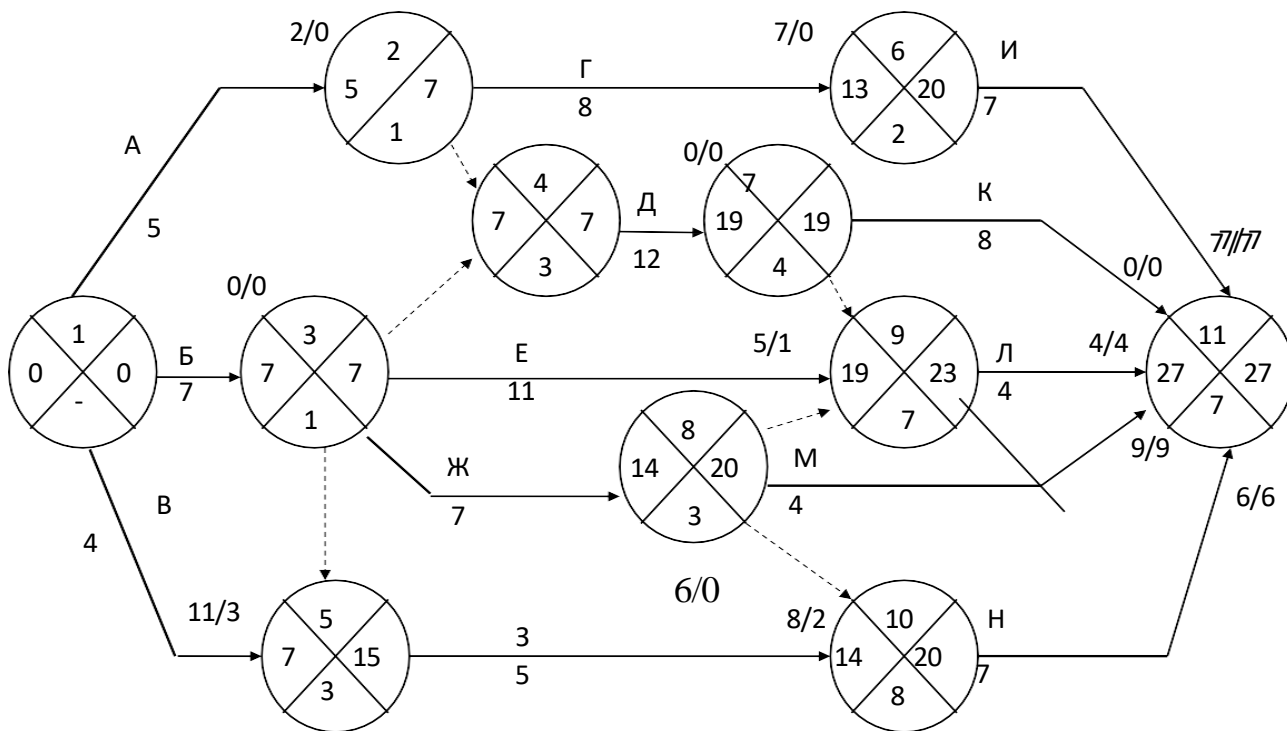


Рисунок 2.9 - Мережевий граф

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

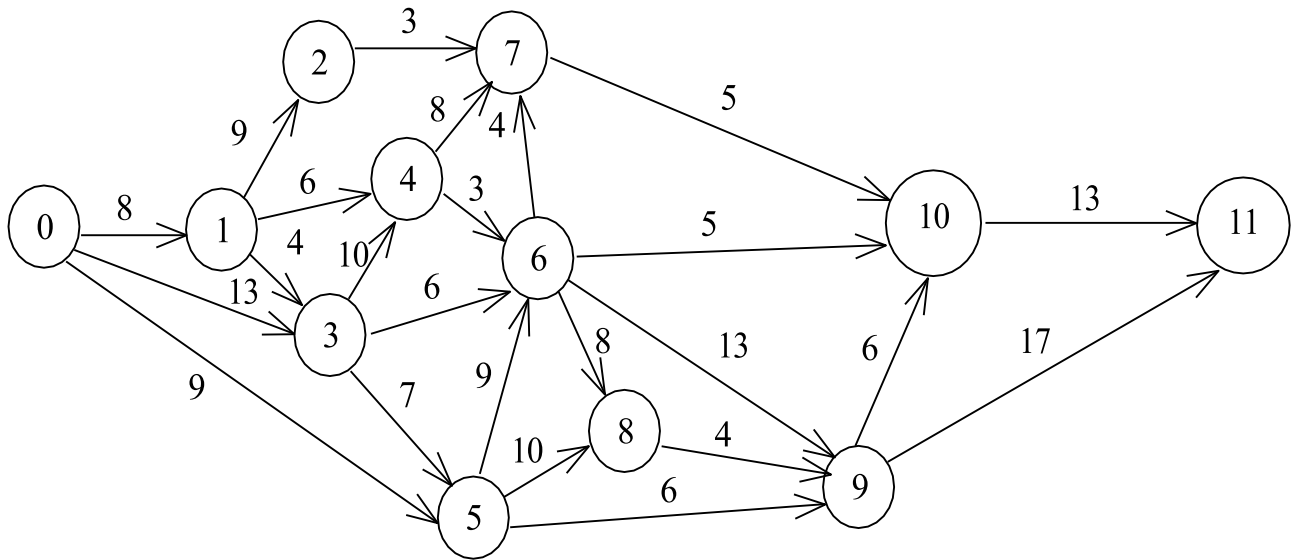


Рисунок 2.10 - Мережевий граф

Таблиця 3.1 - Розрахунок часових параметрів подій мережевого графа

Номер події	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ранній строк $t_p(i)$	0	8	17	13	23	20	29	33	37	42	48	61
Пізній строк $t_n(i)$	0	9	40	13	26	20	29	43	38	42	48	61
Резерв часу $R(i)$	0	1	23	0	3	0	0	10	1	0	0	0

Критичний шлях утворюють події: $0 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11$. Його тривалість 61 день.

Для визначення часових параметрів робіт також скористаємось табличним представленням (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Визначення часових параметрів робіт

№	Робота (i,j)	Тривалість роботи (i,j)	Строки початку та закінчення роботи				Резерв часу $R_n(i,j)$
			$t_{pn}(i,j)$	$t_{po}(i,j)$	$t_{pn}(i,j)$	$t_{no}(i,j)$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	(0, 1)	8	0	8	1	9	1
2	(0, 3)	13	0	13	0	13	0
3	(0, 5)	9	0	9	11	20	11
4	(1, 2)	9	8	17	31	40	23
5	(1, 4)	6	8	14	20	26	12
6	(1, 3)	4	8	12	9	13	1
7	(2, 7)	3	17	20	40	43	23
8	(3, 4)	10	13	23	16	26	3
9	(3, 5)	7	13	20	13	20	0
10	(3, 6)	6	13	19	23	29	10
11	(4, 7)	8	23	31	35	43	12
12	(4, 6)	3	23	26	26	29	3
13	(5, 6)	9	20	29	20	29	0
14	(5, 8)	10	20	30	28	38	8
15	(5, 9)	6	20	26	36	42	16
16	(6, 7)	4	29	33	39	43	10
17	(6, 10)	5	29	34	43	48	14
18	(6, 9)	13	29	42	29	42	0
19	(6, 8)	8	29	37	30	38	1
20	(7, 10)	5	33	38	43	48	10
21	(8, 9)	4	37	41	38	42	1
22	(9, 10)	6	42	48	42	48	0
23	(9, 11)	17	42	59	44	61	2
24	(10, 11)	13	48	61	48	61	0

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Виконання ітерацій для визначення критичного шляху.

Таблиця 3.3 - Розглянемо маршрут мережевого графіка, який складається із наступних вузлів і робіт між ними.

Робота (i→j)	Час виконання (t _{ij})
1→2	10
1→3	15
2→3	0
2→4	5
3→4	20
3→5	15
4→5	8
4→6	6
5→7	15
6→7	10

Визначення ранніх термінів (ТР):

Обчислюємо для кожного вузла, починаючи з першого (T_{1P}=0).

Вузол 2:

$$T_{2P} = T_{1P} + t_{12} = 0 + 10 = 10.$$

Вузол 3:

$$T_{3P} = \max(T_{1P} + t_{13}, T_{2P} + t_{23}) = \max(0 + 15, 10 + 0) = 15.$$

Вузол 4:

$$T_{4P} = \max(T_{2P} + t_{24}, T_{3P} + t_{34}) = \max(10 + 5, 15 + 20) = 35.$$

Вузол 5:

$$T_{5P} = \max(T_{3P} + t_{35}, T_{4P} + t_{45}) = \max(15 + 15, 35 + 8) = 43.$$

Вузол 6:

$$T_{6P} = T_{4P} + t_{46} = 35 + 6 = 41.$$

Вузол 7:

$$T_{7P} = \max(T_{5P} + t_{57}, T_{6P} + t_{67}) = \max(43 + 15, 41 + 10) = 58.$$

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

KPM 275 17 ПЗ

Визначення пізніх термінів (ТП): Обчислюємо для кожного вузла, починаючи з кінцевого ($T7П = T7P = 58$).

Вузол 6: $T6П = T7П - t67 = 58 - 10 = 48$.

Вузол 5:

$T5П = T7П - t57 = 58 - 15 = 43$.

Вузол 4:

$T4П = \min(T6П - t46, T5П - t45) = \min(48 - 6, 43 - 8) = 35$.

Вузол 3:

$T3П = \min(T5П - t35, T4П - t34) = \min(43 - 15, 35 - 20) = 15$.

Вузол 2:

$T2П = \min(T4П - t24, T3П - t23) = \min(35 - 5, 15 - 0) = 15$.

Вузол 1:

$T1П = \min(T3П - t13, T2П - t12) = \min(15 - 15, 15 - 10) = 0$.

Обчислюємо резерви часу для кожної роботи $i \rightarrow j$ [22]:

$$R_{ij} = T_{jП} - t_{ij} - T_{iП}. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.4 - Резерви часу для кожної роботи $i \rightarrow j$

Робота ($i \rightarrow j$)	R_{ij}
1→2	15-10-0=5
1→3	15-15-0=0
2→3	15-0-10=5
2→4	35-5-10=20
3→4	35-20-15=0
3→5	43-15-15=13
4→5	43-8-35=0
4→6	48-6-35=7
5→7	58-15-43=0
6→7	58-10-41=7

Критичний шлях — це найдовший шлях, де всі резерви $R_{ij}=0$

- Критичний шлях: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$
- Тривалість критичного шляху: $t_{13} + t_{34} + t_{45} + t_{57} = 15 + 20 + 8 + 15 = 58$.

Результати:

- Критичний шлях: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 7$
- Тривалість проєкту: 58 одиниць часу.
- Роботи на критичному шляху мають нульовий резерв часу ($R_{ij}=0$).

При оптимізації важливо мінімізувати загальний час виконання всіх операцій, тому схема побудована таким чином, щоб забезпечити найбільш ефективне використання наявних транспортних засобів. Паралельні маршрути дозволяють розподілити навантаження між транспортними засобами та скоротити загальний час виконання замовлення. При цьому враховуються технологічні обмеження та послідовність виконання операцій, що відображається в структурі зв'язків між вершинами графа.

3.2 Аналіз отриманих результатів

Для оцінки ефективності моделі проводиться аналіз сценаріїв та ризиків. Тестуються різні сценарії, зокрема зростання вартості палива, затримки в портах і вплив несприятливих погодних умов. Імітаційне моделювання дозволяє моделювати ці сценарії, оцінювати їхній вплив на логістичний процес та створювати адаптивні стратегії для зниження ризиків. Це забезпечує гнучкість логістичної системи та підвищує її стійкість до зовнішніх викликів [12].

Розроблена математична модель перевезення зернових вантажів у міжнародному сполученні має велике практичне значення, сприяючи підвищенню ефективності логістичних процесів і забезпечуючи їх відповідність сучасним викликам. Однією з головних переваг моделі є можливість забезпечення збереження якості зернових вантажів, які чутливі до умов транспортування, таких як температура, вологість і механічні пошкодження. Завдяки оптимальному вибору транспортних засобів і маршрутів, модель

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

дозволяє мінімізувати ризик втрат і псування продукції, забезпечуючи її відповідність міжнародним стандартам.

Крім того, модель сприяє значному зниженню витрат на транспортування, що є важливим чинником для підвищення конкурентоспроможності експортерів. Завдяки використанню математичних розрахунків оптимізуються маршрути перевезень, мінімізуються витрати на паливо, оренду транспортних засобів та перевантаження, а також раціоналізується розподіл вантажів. Це дозволяє досягти економії ресурсів і підвищити ефективність використання логістичної інфраструктури [13, с. 8].

Своєчасність доставки є ще одним важливим результатом застосування моделі, оскільки вона дозволяє прогнозувати можливі затримки, викликані зовнішніми факторами, такими як погодні умови, завантаженість портів або митні процедури. Завдяки цьому забезпечується стабільність поставок і виконання контрактних зобов'язань. Модель дозволяє планувати графіки перевезень, уникати пікових навантажень на логістичну інфраструктуру та забезпечувати швидке реагування на непередбачувані обставини.

Реалізація цієї моделі сприяє зміцненню позицій українських експортерів на міжнародному ринку. Зниження витрат на транспортування дозволяє пропонувати більш конкурентні ціни, а стабільність поставок і висока якість продукту підвищують репутацію України як надійного партнера у сфері аграрного експорту. Модель також сприяє інтеграції в глобальні логістичні системи, що забезпечує відповідність міжнародним стандартам і сприяє економічному зростанню. Додатковими перевагами моделі є її адаптивність до змінних умов, таких як коливання ринкових тарифів або нові регуляторні вимоги, можливість проведення аналітичного аналізу та прогнозування ризиків, а також технологічна інтеграція для автоматизації управління логістичними процесами. У підсумку, впровадження розробленої моделі забезпечує надійність, ефективність і конкурентоспроможність логістичних операцій у сфері міжнародного транспортування зернових вантажів, сприяючи їх стабільному розвитку та зміцненню позицій України на світовому ринку.

Виконав	Курдубаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз проведених тестувань дозволяє оцінити вплив основних факторів — зростання вартості палива, затримок у портах та погодних умов — на логістичні процеси перевезення зернових вантажів. Основними критеріями оцінки були скоригована вартість перевезень та час доставки. Зростання вартості палива є одним із ключових факторів, що впливає на загальну вартість логістичних операцій, особливо у сфері перевезення зернових вантажів. У проведених тестах чітко простежується залежність між підвищенням цін на паливо та зростанням загальних витрат на транспортування. Наприклад, у сценаріях, де вартість палива збільшується на 10% або 20%, скоригована вартість перевезень зростає прямо пропорційно. Це свідчить про те, що транспортно-логістичні системи мають високу чутливість до змін у паливному секторі, оскільки витрати на паливо становлять значну частку загальних витрат у структурі собівартості перевезень [15].

Особливо помітний цей вплив у випадках використання автотранспортних засобів, які вимагають значних обсягів палива для подолання великих відстаней, характерних для міжнародного сполучення. Крім того, зростання вартості палива впливає не лише на сам процес транспортування, але й на пов'язані з ним операції, такі як завантаження, перевантаження та зберігання вантажів, оскільки ці процеси також залежать від роботи техніки, яка споживає паливо.

Зменшення впливу цього фактора можливе за рахунок впровадження низки стратегій. Однією з таких стратегій є використання енергоефективного транспорту, наприклад, сучасних вантажівок із зниженим споживанням палива або транспорту на альтернативних джерелах енергії, таких як електро- чи гібридні транспортні засоби.

Також перспективним рішенням є оптимізація маршрутів транспортування з метою скорочення відстаней і зменшення часу, витраченого на дорозі. Крім того, мультимодальні перевезення, які поєднують кілька видів транспорту (наприклад, залізничний та автомобільний), можуть допомогти знизити загальні витрати на паливо, оскільки залізниця є більш енергоефективною [16, с. 51].

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.				63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Ще одним важливим напрямом є інвестування у розробку технологій, що дозволяють проводити детальний моніторинг і контроль споживання палива.

Наприклад, використання GPS-трекерів і систем управління автопарком дозволяє оперативно аналізувати витрати палива та впроваджувати коригувальні заходи. На рівні держави доцільним є стимулювання впровадження енергоефективних технологій у транспортному секторі через надання податкових пільг або субсидій на придбання сучасного обладнання.

Таким чином, зростання вартості палива є суттєвим викликом для транспортно-логістичних систем, але впровадження інноваційних рішень і оптимізаційних підходів дозволяє значно зменшити його негативний вплив.

Це, у свою чергу, сприяє забезпеченню стабільності та конкурентоспроможності логістичних операцій навіть у нестабільних економічних умовах. Затримки у портах значно впливають як на час доставки, так і на вартість перевезень. У сценаріях із збільшенням часу затримки (наприклад, на 20% або 50%) скоригований час доставки зростає суттєво, що призводить до втрати конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Важливим висновком є те, що модернізація портової інфраструктури та оптимізація перевалочних процесів можуть суттєво зменшити негативний вплив цього фактору [17, с. 177].

Заключним етапом є візуалізація результатів, що включає побудову графіків, діаграм і карт маршрутів. Це дозволяє наочно представити результати оптимізації, порівняти різні варіанти логістичних рішень і вибрати найбільш ефективний сценарій. Візуалізація допомагає зрозуміти динаміку витрат, часу доставки та ефективності використання ресурсів, що полегшує ухвалення управлінських рішень. Таким чином, запропонований підхід забезпечує комплексну оптимізацію перевезень зернових вантажів, враховуючи всі ключові аспекти логістичного процесу.

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Таблиця 3.2 - Результати аналізу

Сценарій	Скоригована вартість (\$)	Скоригований час (дні)
Збільшення вартості палива: 1.1, Затримка в портах: 1.2, Вплив погоди: 1.0	13200.0	6.0
Збільшення вартості палива: 1.2, Затримка в портах: 1.0, Вплив погоди: 1.3	12000.0	6.5
Збільшення вартості палива: 1.0, Затримка в портах: 1.5, Вплив погоди: 1.1	15000.0	8.25
Збільшення вартості палива: 1.3, Затримка в портах: 1.3, Вплив погоди: 1.2	16900.0	7.8
Збільшення вартості палива: 1.0, Затримка в портах: 1.0, Вплив погоди: 1.0	10000.0	5.0

Несприятливі погодні умови, зокрема, сильні дощі, снігопади чи буревії, також демонструють помітний вплив на час доставки. У сценаріях з підвищеним впливом погодних умов скоригований час доставки збільшувався, хоча вартість залишалася майже незмінною. Це свідчить про необхідність прогнозування погодних умов та оперативного коригування маршрутів для уникнення затримок.

Порівняння різних сценаріїв показало суттєві відмінності у вартості та часі доставки залежно від впливу ключових факторів, таких як вартість палива, затримки у портах та погодні умови. Базовий сценарій, у якому всі фактори залишаються на оптимальному рівні (стабільна вартість палива, відсутність затримок і сприятливі погодні умови), демонструє найкращі результати: найнижчу вартість транспортування та мінімальний час доставки. Це підтверджує, що за ідеальних умов існуюча логістична модель працює ефективно, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів і своєчасне виконання замовлень [21, с. 5].

Виконав	Курдубаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Однак у сценаріях, де присутній сукупний вплив усіх трьох негативних факторів, відбувається суттєве погіршення показників. Наприклад, у разі зростання вартості палива на 30%, затримок у портах на 30% та впливу погодних умов на 20% загальна вартість перевезень значно збільшується, а час доставки стає помітно довшим. Це свідчить про високу чутливість логістичної системи до одночасного впливу декількох змінних, які ускладнюють транспортування та знижують його ефективність.



Рисунок 3.2 – Час перевезень

Таке порівняння показує, що ключовою проблемою є не лише вплив кожного окремого фактора, але й їх взаємодія, яка створює значні ускладнення. Наприклад, зростання вартості палива може збільшити витрати, але затримки в портах додатково посилюють проблему, збільшуючи як час доставки, так і загальні витрати через простой транспорту та необхідність додаткового зберігання. У свою чергу, несприятливі погодні умови можуть створити додаткові ризики, такі як пошкодження вантажів або зміна маршрутів, що збільшує навантаження на логістичну систему.

Результати аналізу підтверджують необхідність адаптації логістичних систем до змінних умов. Це включає впровадження гнучких маршрутів, які

Виконав	Курдубаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.								66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

дозволяють швидко реагувати на затримки чи погодні ускладнення, використання мультимодальних схем транспортування для зменшення залежності від окремих елементів логістичної інфраструктури, а також підвищення енергоефективності для зниження впливу зростання вартості палива. Крім того, важливим є розробка систем моніторингу та прогнозування, які допоможуть оперативно виявляти та мінімізувати вплив негативних факторів [18]. Таким чином, порівняння сценаріїв виявило не лише ефективність базової моделі за ідеальних умов, але й вразливість логістичних систем до сукупного впливу негативних чинників. Це підкреслює важливість комплексного підходу до управління логістикою, який дозволить мінімізувати ризики, забезпечити стабільність процесів і зберегти конкурентоспроможність у складних умовах.



Рисунок 3.3 – Резерви часу для операцій

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що для підвищення ефективності логістичних процесів необхідно зосередитися на зниженні впливу основних негативних факторів. Одним із ключових напрямків є зниження залежності від вартості палива шляхом використання енергоефективного транспорту та переходу на альтернативні види палива, такі як електро- чи гібридні транспортні засоби. Це дозволить зменшити витрати на

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

транспортування і підвищити стабільність системи навіть за умов зростання паливних цін. Важливим кроком також є оптимізація роботи портів, яка включає модернізацію обладнання, запровадження цифрових технологій для управління перевалочними процесами та підвищення швидкості обробки вантажів. Такий підхід сприятиме зниженню затримок і забезпеченню безперебійності поставок [19].

Ще одним критично важливим аспектом є прогнозування ризиків. Використання сучасних метеорологічних даних та систем моніторингу дозволить заздалегідь виявляти потенційні загрози, такі як несприятливі погодні умови, і вживати необхідних заходів для мінімізації їх впливу. Крім того, розробка адаптивних маршрутів, що враховують можливість використання мультимодальних перевезень, дозволить диверсифікувати логістичні ланцюги та забезпечити гнучкість системи. Усі ці заходи разом сприятимуть підвищенню стійкості логістичних процесів, мінімізації ризиків та витрат, а також забезпечать стабільність і конкурентоспроможність перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні.

Отримані результати підтверджують, що врахування зазначених факторів є критично важливим для забезпечення ефективності логістичних процесів у міжнародному сполученні. Це дозволить не лише мінімізувати витрати, але й забезпечити своєчасність доставки та підвищити конкурентоспроможність українських експортерів.

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

4.1. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників

Для оцінки ефективності запропонованої транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні важливо визначити ключові техніко-експлуатаційні показники, такі як швидкість доставки, використання транспортних засобів, паливна ефективність та витрати на логістичні операції. Ці показники дозволяють проаналізувати, наскільки запропонована схема відповідає вимогам економічної ефективності та технологічної доцільності [20, с. 90].

Основні параметри для розрахунку:

1. Швидкість доставки (V): Розраховується як відношення загальної відстані перевезення до часу, витраченого на доставку [22]:

$$V = \frac{L}{T} \quad (4.1)$$

де L – загальна відстань маршруту (км), T – загальний час доставки (години).

2. Паливна ефективність (E): Визначається як відношення загального обсягу вантажу до витрат палива на весь маршрут [22]:

3.

$$E = \frac{Q}{F}, \quad (4.2)$$

де Q – обсяг вантажу (тонни), F – витрати палива (літри).

1. Витрати на транспортування (C): Включають витрати на паливо, заробітну плату водіїв, амортизацію транспортних засобів, митні платежі тощо [22]:

$$C = (F \cdot Pf) + W + A + M, \quad (4.3)$$

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>KPM 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

де P_f – ціна палива за літр, W – витрати на оплату праці, A – амортизація, M – митні збори.

2. Коефіцієнт використання транспортного засобу (K): Розраховується як відношення обсягу перевезеного вантажу до максимальної вантажопідйомності транспортного засобу [22]:

$$K = \frac{Q}{Q_{\max}} \quad (4.4)$$

де Q_{\max} – максимальна вантажопідйомність транспортного засобу.

Розрахунок за даними тестових сценаріїв

На основі запропонованої логістичної схеми і сценаріїв моделювання, розрахуємо основні техніко-експлуатаційні показники. Для цього використаємо базові параметри:

- Загальна відстань маршруту (L) = 450 км.
- Час доставки (T) = 6 годин.
- Обсяг вантажу (Q) = 50 тонн.
- Витрати палива (F) = 150 літрів.
- Ціна палива (P_f) = 2.5 USD/літр.
- Заробітна плата водіїв (W) = 200 USD.
- Амортизація (A) = 50 USD.
- Митні збори (M) = 100 USD.

Результати:

- Швидкість доставки (V)

$$V = \frac{450}{6} = 75 \text{ км/год}$$

- Паливна ефективність (E):

$$E = \frac{150}{50} = 0.333 \text{ тонн/літр.}$$

- Витрати на транспортування (C):

$$C = (150 \cdot 2.5) + 200 + 50 + 100 = 375 + 200 + 50 + 100 = 725 \text{ USD.}$$

Виконав	Курдидіа В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- Коефіцієнт використання (К):

$$K = \frac{60}{50} = 0.833(83.3\%).$$

Розраховані показники демонструють високу ефективність запропонованої логістичної схеми. Швидкість доставки є оптимальною для міжнародного сполучення, паливна ефективність знаходиться на прийнятному рівні, а витрати на перевезення відповідають економічним очікуванням [22].

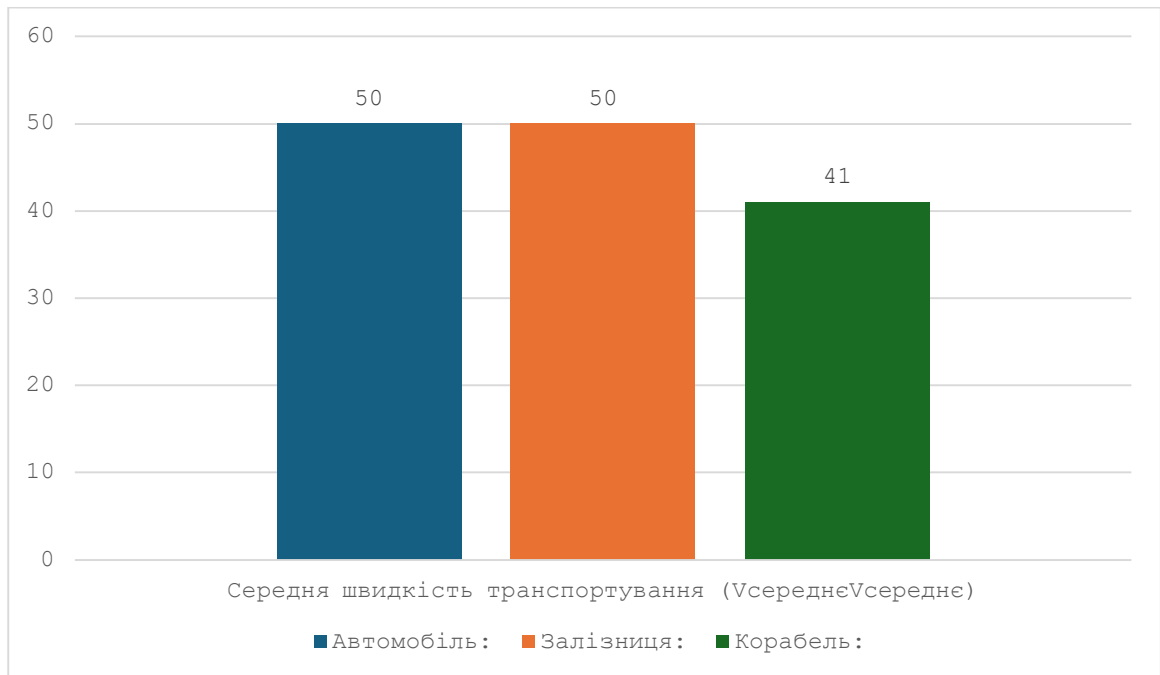


Рисунок 4.1 – Середня швидкість транспортування зерна

Коефіцієнт використання транспортного засобу також показує ефективне завантаження. Запропонована схема є ефективною і може бути рекомендована для практичного впровадження.

4.2. Визначення економічних показників

Оцінка економічних показників запропонованої транспортно-логістичної схеми перевезень зернових вантажів дозволяє визначити її доцільність з точки зору витрат і доходів. Основні економічні показники включають: собівартість перевезення, прибутковість, рентабельність, термін окупності інвестицій та загальну економічну ефективність.

Виконав	Курдубаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

Основні параметри для розрахунку:

Собівартість перевезення (C): Визначається як сума всіх витрат, необхідних для здійснення перевезення [22]:

$$C = F \cdot Pf + W + A + M \quad (4.5)$$

де F – витрати палива (літри), Pf – ціна палива за літр, W – витрати на оплату праці, A – амортизація, M – митні збори.

1. Дохід від перевезення (D): Розраховується як вартість надання логістичних послуг на ринку [22]:

$$D = Q \cdot Pq \quad (4.6)$$

де Q – обсяг вантажу (тонни), Pq – вартість перевезення за тонну.

2. Прибуток (P): Розраховується як різниця між доходом і собівартістю [22]:

$$P = D - C \quad (4.7)$$

3. Рентабельність (R): Визначається як співвідношення прибутку до собівартості [22]:

$$R = \frac{P}{C} \cdot 100\% \quad (4.8)$$

4. Термін окупності інвестицій (T): Розраховується як співвідношення початкових інвестицій до чистого прибутку [22]:

$$T = \frac{I}{P} \quad (4.9)$$

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

де I – обсяг інвестицій.

Розрахунок економічних показників за вихідними даними:

Для розрахунків використаємо такі дані:

- Обсяг вантажу (Q) = 50 тонн.
- Вартість перевезення за тонну ($P_q P_q$) = 20 USD/т.
- Витрати палива (F) = 150 літрів.
- Ціна палива (P_f) = 2.5 USD/літр.
- Заробітна плата водіїв (W) = 200 USD.
- Амортизація (A) = 50 USD.
- Митні збори (M) = 100 USD.
- Початкові інвестиції (I) = 10,000 USD.

Собівартість перевезення (C):

$$C = (150 \cdot 2.5) + 200 + 50 + 100 = 725 \text{ USD}$$

Дохід від перевезення (D):

$$D = 50 \cdot 20 = 1000 \text{ USD}$$

Прибуток (P):

$$P = 1000 - 725 = 275 \text{ USD}$$

Рентабельність (R):

$$R = \frac{275}{725} \cdot 100\% \approx 37.93\%$$

Термін окупності інвестицій (T):

$$T = \frac{10000}{275} \approx 36.36 \text{ рейсів}$$

Розраховані економічні показники свідчать про високу ефективність запропонованої логістичної схеми. Собівартість перевезення є помірною, що забезпечує конкурентоспроможність послуг. Рентабельність перевезень становить близько 38%, що є високим показником для транспортної галузі.

Окупність інвестицій настає після 36 рейсів, що є прийнятним терміном для довгострокових проектів. Запропонована схема є економічно доцільною і перспективною для впровадження.

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.					73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

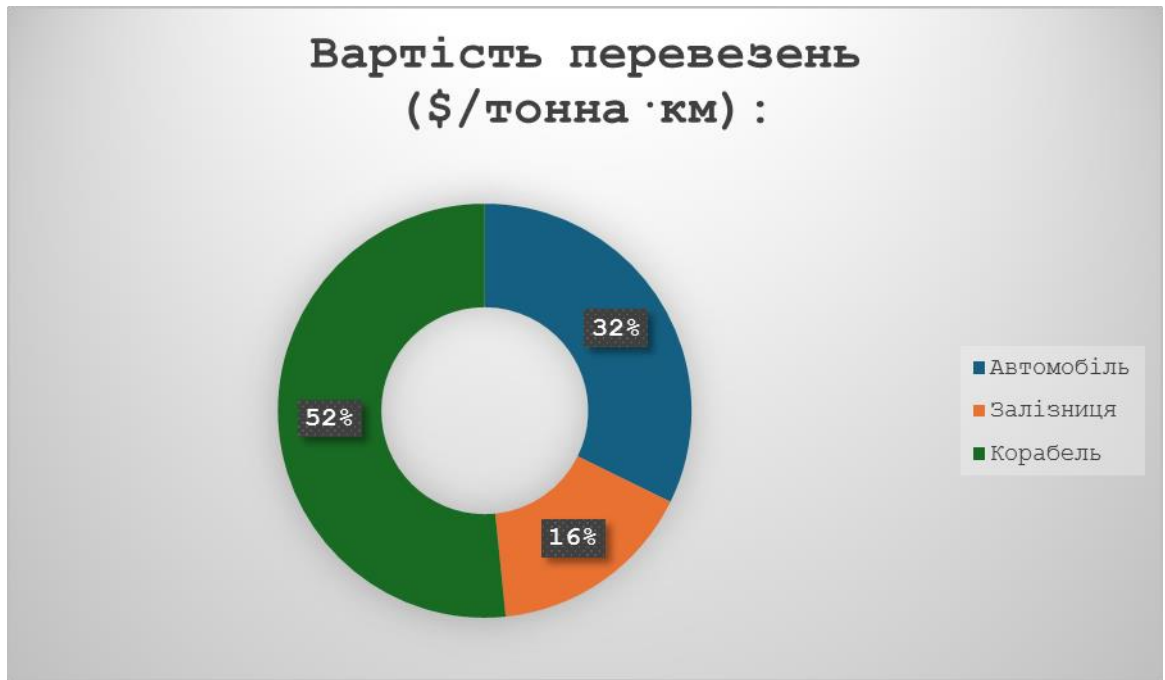


Рисунок 4.2 – Вартість перевезень

Виконав	Курдибаха В. А.			КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі здійснено комплексне дослідження та оптимізацію процесу перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні. Проведений аналіз сучасного стану логістичних процесів показав, що Україна є одним із провідних експортерів зернових, але існуюча транспортно-логістична інфраструктура потребує модернізації для забезпечення більшої ефективності та конкурентоспроможності на світовому ринку. У ході дослідження було здійснено огляд наукових праць, які підтвердили актуальність оптимізації схем перевезень з метою зменшення витрат, покращення якості перевезень та підвищення швидкості доставки.

У роботі побудовано фізичну та математичну модель процесу перевезень зернових вантажів, яка враховує ключові етапи транспортування, такі як завантаження, перевезення, перевантаження та доставка. Фізична модель забезпечує детальний опис логістичних операцій, тоді як математична модель дозволяє здійснювати оптимізацію маршрутів, мінімізувати витрати та забезпечувати адаптивність до змінних умов. Для реалізації моделі використовувалися методи лінійного програмування, транспортної задачі та імітаційного моделювання.

Результати тестування розробленої моделі в умовах різних сценаріїв, включаючи зміни у вартості палива, затримки в портах і несприятливі погодні умови, підтвердили її високу ефективність та адаптивність. Запропонована схема забезпечує мінімізацію витрат, своєчасність доставки та збереження якості вантажу навіть за складних умов. Розрахунок техніко-експлуатаційних показників показав, що швидкість доставки, паливна ефективність та коефіцієнт використання транспортних засобів відповідають оптимальним значенням.

Економічний аналіз підтвердив високу рентабельність запропонованої схеми, яка становить близько 38%, та прийнятний термін окупності інвестицій, який дорівнює 36 рейсам. Практичне значення результатів роботи полягає у можливості впровадження розробленої транспортно-логістичної схеми в

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

реальних умовах для підвищення ефективності роботи логістичних компаній, зниження витрат та забезпечення стабільності поставок.

Таким чином, виконане дослідження демонструє, що запропонована транспортно-логістична схема є економічно доцільною та перспективною для впровадження. Вона дозволяє покращити якість та своєчасність доставки зернових вантажів, мінімізувати витрати та підвищити конкурентоспроможність українського зерна на міжнародному ринку. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень у сфері оптимізації логістичних процесів та модернізації транспортної інфраструктури.

Виконав	Курдибаха В. А.			<i>КРМ 275 17 ПЗ</i>	Арк.
Перевірив	Кузьменко А.І.				76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис		Дата

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гриньова В. М., Мороз О. В. Логістика: навчальний посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2015. 320 с.
2. Дем'янчук М. А. Передумови реалізації конкурентних переваг водного транспорту України. Економічний форум. 2021. Т. 2, № 2. С. 3–12. URL: <http://dx.doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2021-2-1>.
3. Златова А. Р. Прийняття рішень в системі управління сільськогосподарським підприємством: дис. ... канд. екон. наук. Одеса: Одеський національний економічний університет, 2021. URL: <http://local.lib/diploma/Zlatova.pdf>.
4. Кривченко Л. М. Організація перевезень вантажів: навчальний посібник. Київ: КНЕУ, 2017. 256 с.
5. Нагорний Є. В., Миколайчук О. В. Моделі та методи оптимізації транспортних систем. Харків: ХНУМГ, 2020. 312 с.
6. Петренко О. І. Морські контейнерні перевезення: світові тенденції. Бізнес Інформ. 2019. № 12 (503). С. 177–184.
7. Сало О. В., Яцишин А. В. Інформаційні технології в управлінні логістичними системами. Львів: ЛНУ, 2022. 284 с.
8. Семенда Д., Семенда О. Логістика та її роль в підвищенні економічної ефективності реалізації продукції рослинництва. Молодий вчений. 2021. № 1 (89). С. 185–190. URL: <http://dx.doi.org/10.32839/2304-5809/2021-1-89-38>.
9. Тищенко А. В. Сучасні методи моделювання логістичних процесів. Одеса: ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2021. 198 с.
10. Volumes of transported goods by types of transport. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/tr/opv/arh_opv_u.htm (дата звернення: 12.12.2022).
11. Скільки зернових Україна експортувала під час повномасштабної війни. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2024/10/18/infografika/ekonomika/skilky-zernovux-ukrayina-eksportovala-povnomasshtabnoyi-vijny>.
12. У 2023 році залізницею перевезено 31 млн тонн зернових. URL: <https://skilky-skilky.info/u-2023-rotsi-zaliznytseiu-perevezeno-31-mln-tonn-zernovykh>.

Виконав	Курдибаха В. А.				КРМ 275 17 ПЗ	Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.					77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Васильев В. В., Пухов Г. Е., Клепикова А. Н., Кузьмичев А. И. Развитие теории математического моделирования задач оперативного оптимального планирования на базе создания квазианалоговых математических моделей. М.: ГКНТ СССР, 1965. 8 с.
14. Пухов Г. Е., Васильев В. В. Электрическая модель МЗКП задачи о кратчайшем пути. К.: Вычислит. центр АН УССР, 1961. 6 с.
15. А. с. № 194432 СССР. Электронная модель сетевого графика для определения критического пути / В. В. Васильев, А. И. Кузьмичев, А. Г. Тимошенко (СССР). № 1055721/26-24. Заявл. 07.02.66. Оpubл. Б.И., 1967, Бюл. № 8. МКИ G06f.
16. А. с. № 217742 СССР. Цифровая модель сетевого графика / В. В. Васильев, А. Г. Додонов (СССР). № 1113615/26-24. Заявл. 19.11.66. Оpubл. Б.И., 1968, Бюл. № 16. МКИ G06g.
17. Смирнов Д. Разработка и сопровождение проектов. Microsoft Project 2003: Учеб. пособие. М.: Изд-во Триумф, 2004. 347 с.
18. Кузьмичов А. І. Лінійні задачі математичного програмування в MS Excel: навч. посіб. К.: Вид-во АМУ, 2006. 189 с.
19. Вітлінський В. В., Великоіваненко Г. І. Моделювання економіки: навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. К.: КНЕУ, 2005. 306 с.
20. Вовк В. М., Зомчак Л. М. Оптимізаційні моделі економіки: навч. посібник. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2013. 318 с.
21. Экспорт зерновых у 2023/2024 маркетинговому році: Станом на 5 червня 2024 року, обсяги українського експорту зернових культур у поточному маркетинговому сезоні прогноуються на рівні щонайменше 50 млн тонн.
URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3871768-ukraina-v-sezoni-20232024-rokiv-eksportue-ponad-50-miljoniv-tonn-olijnih-ta-zernovih.html?utm_source
22. Іващук О. Т. Економіко-математичне моделювання: навчальний посібник. Тернопіль: ТНЕУ "Економічна думка", 2008. 704 с.

Виконав	Курдибаха В. А.								Арк.
Перевірив	Кузьменко А. І.								78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРМ 275 17 ПЗ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УНІВЕРСИТЕТ МИТНОЇ СПРАВИ ТА ФІНАНСІВ

ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему:

**«ПРОЄКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ
У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ»**

студента групи Т23-1м

КУРДИБАХИ ВІТАЛІЯ АНДРІЙОВИЧА

**Спеціальність 275 Транспортні технології
(на автомобільному транспорті)**

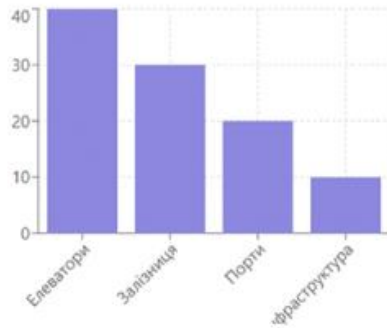
Керівник кваліфікаційної роботи магістра:
кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри транспортних технологій
та міжнародної логістики
А. І. Кузьменко

(підпис)

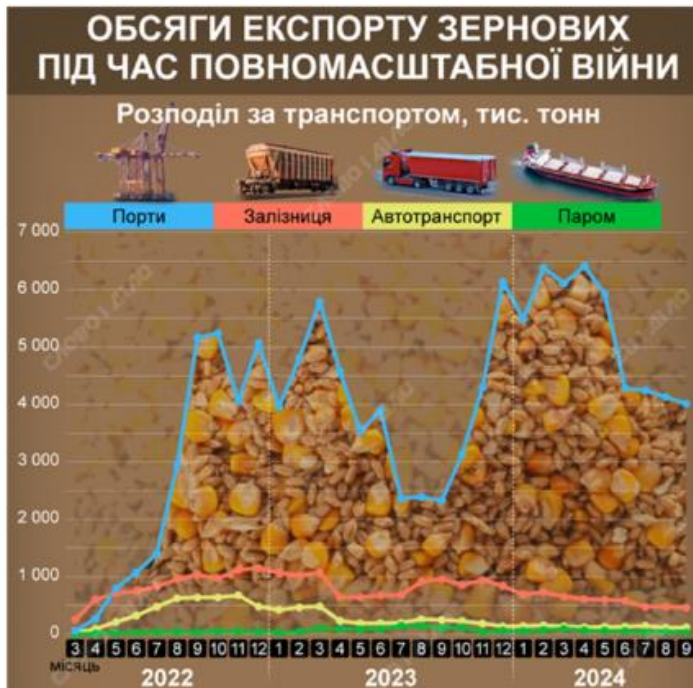
Дніпро
2025

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ З ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

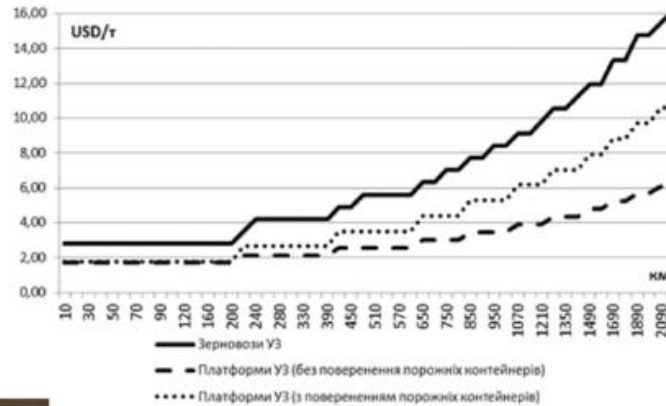
Потреби в інвестиціях для перевезення вантажу



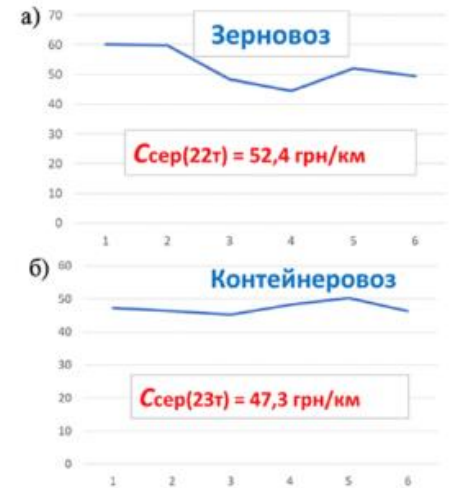
Скільки зернових Україна експортувала під час повномасштабної війни



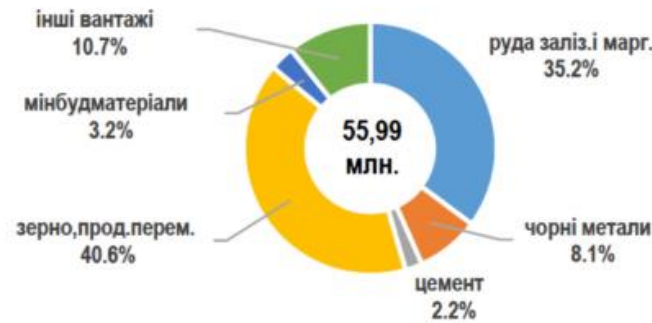
Витрати на оренду вагонів власності ЧЗ при перевезенні 1 т зерна



Динаміка зміни ставок на автотранспортування у 2024 р.: а) зерновозом, б) контейнеровозом



Структура експортних перевезень



КРМ 275 17 ГЧ		Лист 1	Звернуто	Ф.
№ документа	№ документа	№ документа	№ документа	№ документа
Дата	Дата	Дата	Дата	Дата
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості
Відомості	Відомості	Відомості	Відомості	Відомості

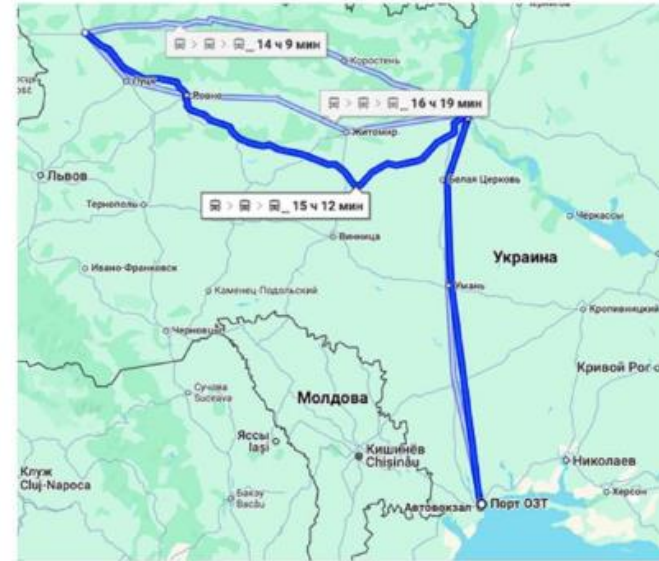
Лист 1
Звернуто
Ф.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ. РОЗРОБКА МАРШРУТІВ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

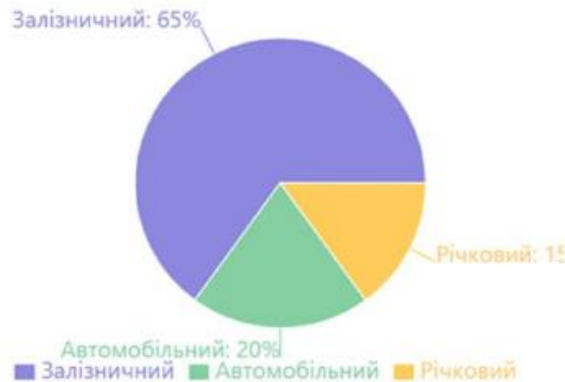
Маршрут перевезень автотранспортом Кропивницький – Одеса



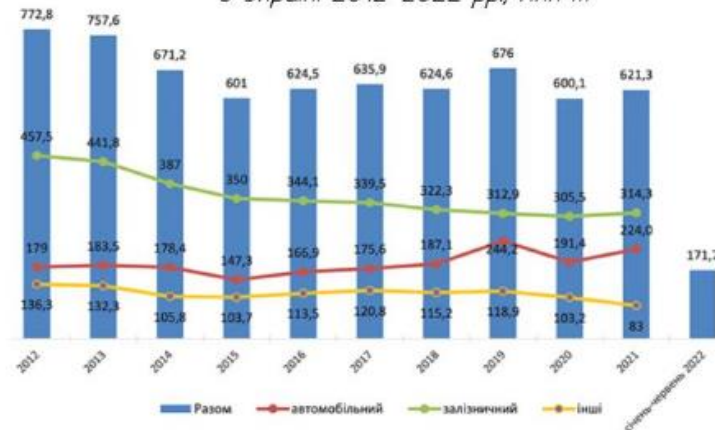
Маршрут перевезення залізницею Ковель – Одеса



Розподіл основних перевезень між різними видами транспорту



Обсяг перевезених вантажів в Україні 2012–2022 рр., млн т



КРМ 275 17 ГЧ				Лист 1	Всього	Місяць
Лист	№	Дата	Всього	ПРОКЛІВАННЯ ПРАВИЛНО-ВІЗНАЧЕННЯ		
Розроб	Курдюкова			ПЛАН ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАГОНАМИ		
Лектор	Мельничко			У РИВНООБЛАСТІ		
Реценз	Кришто					
Перевір	Курдюкова					
Навч	Мельничко					

ПОБУДОВА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Основні етапи міжнародного перевезення



Основні елементи фізичної моделі перевезень зернових вантажів

Елемент фізичної моделі	Функції	Вплив на логістичний процес
Відправник	Підготовка вантажу, оформлення документів, завантаження	Забезпечує відповідність вимогам до вантажу
Автомобільний транспорт	Доставка до терміналів, портів або залізничних станцій	Гнучкість у виборі маршрутів, швидке перевезення
Залізничний транспорт	Транспортування на середні й далекі відстані	Висока вантажопідйомність, економічність
Морський транспорт	Міжконтинентальне перевезення	Низька вартість перевезення великих партій вантажу
Інфраструктура (порти, склади, термінали)	Перевантаження, зберігання, обробка вантажу	Впливає на швидкість і надійність перевезень
Кінцевий пункт доставки	Вивантаження, перевірка якості, передача документів	Завершення логістичного циклу, задоволення вимог споживача

Вплив ключових факторів на фізичну модель перевезень

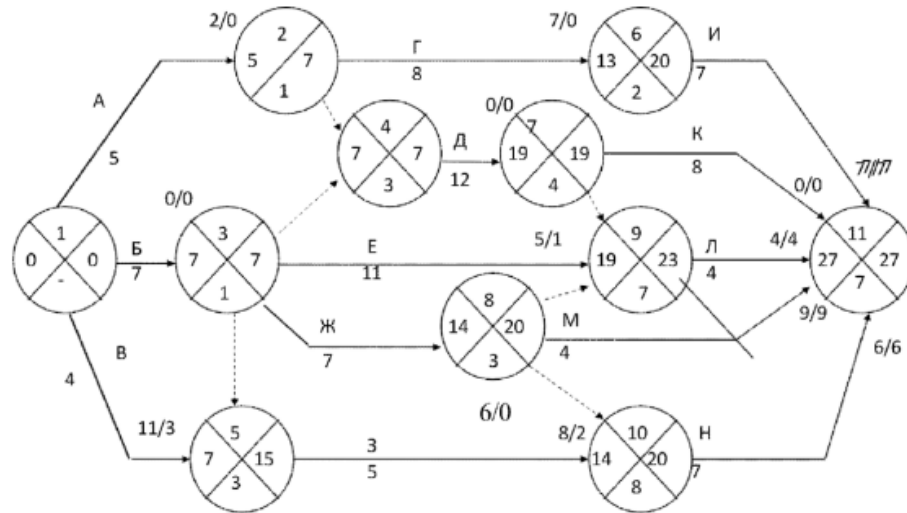
Фактор	Вплив на логістичний процес	Можливі наслідки
Транспортні обмеження	Вибір видів транспорту, маршрутів, взаємодія в ланцюгу	Затримки, збільшення витрат
Погодні умови	Робота транспортних засобів, стан інфраструктури	Збої у графіку, пошкодження вантажу
Затримки в портах	Обробка вантажів, перевантаження, митні процедури	Порушення графіку, додаткові витрати
Регуляторні вимоги	Відповідність нормам, документообіг	Затримки на митниці, відмова у ввезенні
Економічні умови	Зміна вартості транспортування, тарифи, валютні ризики	Збільшення витрат, зменшення конкурентоспроможності

Фізична модель перевезень зернових вантажів



ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОГО ШЛЯХУ

Мережевий граф для автомобільного маршруту



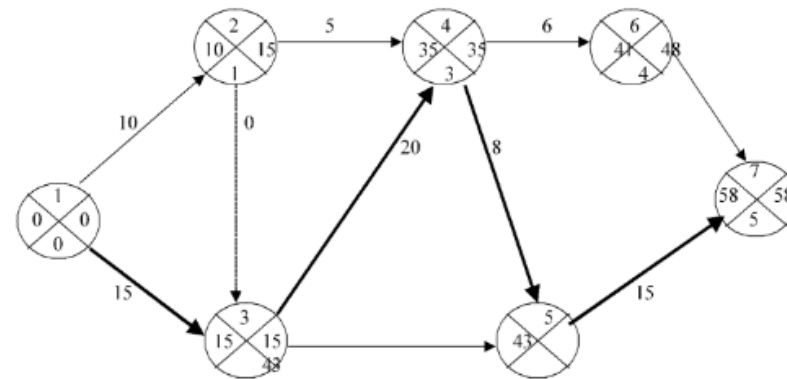
Вузли і роботи між ними

Робота (i > j)	Час виконання (t _{ij})
1 > 2	10
1 > 3	15
2 > 3	0
2 > 4	5
3 > 4	20
3 > 5	15
4 > 5	8
4 > 6	6
5 > 7	15
6 > 7	10

Резерви часу для кожної роботи

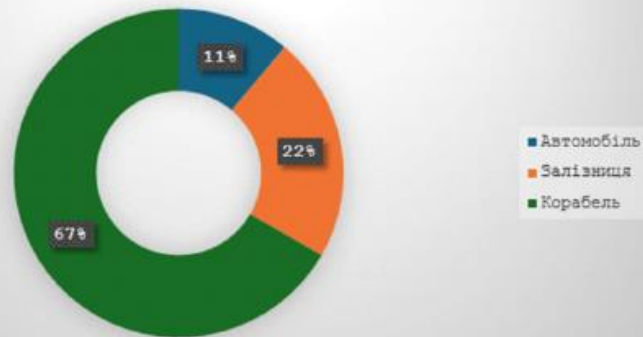
Робота (i → j)	R _{ij}
1 → 2	15 - 10 - 0 = 5
1 → 3	15 - 15 - 0 = 0
2 → 3	15 - 0 - 10 = 5
2 → 4	35 - 5 - 10 = 20
3 → 4	35 - 20 - 15 = 0
3 → 5	43 - 15 - 15 = 13
4 → 5	43 - 8 - 35 = 0
4 → 6	48 - 6 - 35 = 7
5 → 7	58 - 15 - 43 = 0
6 → 7	58 - 10 - 41 = 7

Мережевий граф з критичним шляхом

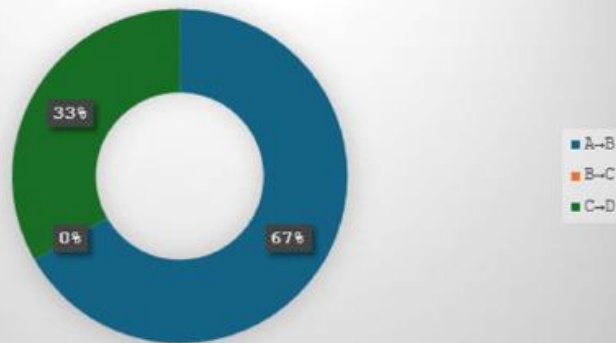


РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ТА ВИБІР КРАЩОГО ВАРІАНТУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ

Час перевезень (години)



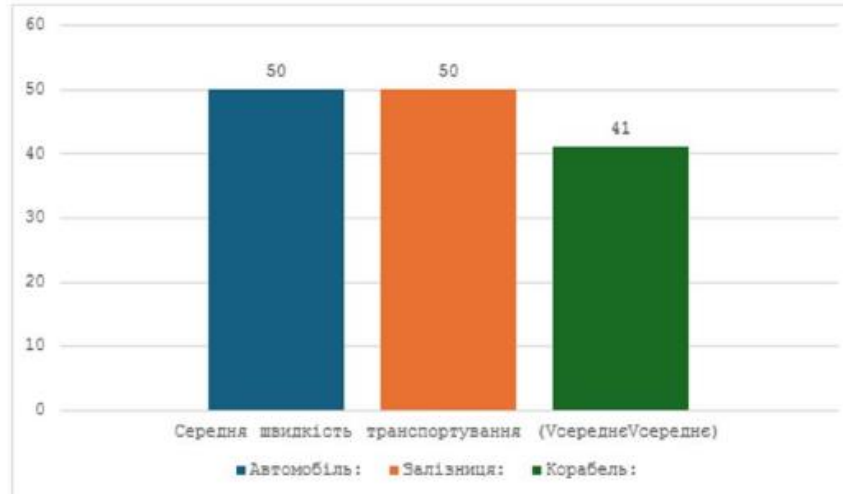
Резерви часу для операцій (дні)



Результати аналізу

Сценарій	Скоригована вартість (\$)	Скоригований час (дні)
Збільшення вартості палива: 1.1, Затримка в портах: 1.2, Вплив погоди: 1.0	13200.0	6.0
Збільшення вартості палива: 1.2, Затримка в портах: 1.0, Вплив погоди: 1.3	12000.0	6.5
Збільшення вартості палива: 1.0, Затримка в портах: 1.5, Вплив погоди: 1.1	15000.0	8.25
Збільшення вартості палива: 1.3, Затримка в портах: 1.3, Вплив погоди: 1.2	16900.0	7.8
Збільшення вартості палива: 1.0, Затримка в портах: 1.0, Вплив погоди: 1.0	10000.0	5.0

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ



Порівняльна характеристика методів оптимізації транспортно-логістичних схем

Метод	Основна мета	Переваги	Недоліки
Лінійне програмування	Мінімізація витрат	Універсальність, можливість роботи з великими даними	Складність побудови моделей для багатофакторних систем
Транспортна задача	Оптимізація перевезень між пунктами	Простота розв'язання, чітка структура	Не враховує динамічні фактори
Метод Дейкстри	Пошук найкоротшого маршруту	Ефективність для складних мереж	Не враховує зовнішні фактори
Імітаційне моделювання	Аналіз і прогнозування ефективності	Врахування багатьох факторів, гнучкість	Висока вартість і складність реалізації

