

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ФАКУЛЬТЕТ МЕНЕДЖМЕНТУ ТА МАРКЕТИНГУ

КАФЕДРА ЕКОНОМІЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ

«На правах рукопису»
УДК 330.3

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО:
Завідувач кафедри
_____ Катерина БОЯРИНОВА
«__» грудня 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

**на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою
«Економічна аналітика»
спеціальності 051 «Економіка»**

**на тему: «Економічна аналітика та моделювання гуманітарної логістики в
умовах війни»**

Виконав:

студент 2-го курсу, групи УА-31мп
БОЙКО Денис Романович _____

Науковий керівник:

Доцент кафедри економічної кібернетики, к.ф.-м.н., доц.
ЛАЗАРЕНКО Ірина Сергіївна _____

Рецензент:

завідувач кафедри економіки і підприємництва, д.е.н., проф.
ТУЛЬЧИНСЬКА Світлана Олександрівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет менеджменту та маркетингу

Кафедра економічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 051 Економіка

Освітньо-професійна програма «Економічна аналітика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Катерина БОЯРИНОВА

«20» червня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

БОЙКО Денису Романовичу

1. Тема дисертації: «Економічна аналітика та моделювання гуманітарної логістики в умовах війни»

науковий керівник дисертації Лазаренко Ірина Сергіївна, к. ф.-м. н., доц.
затверджені наказом по університету від 08.11.2024 року № 5019-с.

2. Термін подання студентом роботи: 09.12.2024 р.

3. Об'єкт дослідження: логістичні процеси з доставки гуманітарної допомоги в умовах кризи та війни.

4. Предмет дослідження (Вихідні дані): математично-аналітичний інструментарій оптимізації логістичних потоків та вибору маршрутів доставки з урахуванням ризиків і стану інфраструктури. Наукові статті, монографії, статистична і фінансова підприємств логістичної галузі

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

а) теоретична частина:

- розкрити сутність та зміст логістичних процесів в умовах воєнного стану;
- проаналізувати принципи організації гуманітарних потоків у кризових умовах та існуючі стратегії для ефективної доставки допомоги;
- дослідити інформаційно-аналітичного програмного забезпечення для оптимізації гуманітарних потоків у під час воєнного стану, зокрема для зниження витрат і мінімізації ризиків;

б) дослідницько– аналітична частина:

- оцінити чинників впливу на організацію гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як пропускна здатність шляхів та безпека;
- провести аналітику та моделювання мінімізації витрат на транспортування, обираючи оптимальні маршрути та враховуючи обмеження;
- використати аналітичний інструментарій для діагностики реальних даних у моделюванні гуманітарних потоків;

в) рекомендаційна частина:

- розробити математично-аналітичний інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як доступність маршрутів та ризику;
- провести аналіз результатів моделювання для оцінки ефективності запропонованої моделі, порівняти реальні дані з отриманими прогнозами і визначити можливі шляхи покращення;
- розробити рекомендації для покращення гуманітарної логістики, зокрема щодо оптимізації маршрутів, зниження витрат і підвищення рівня безпеки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:

- інтерактивна карта руйнувань від Антикорупційного штабу;
- вантажообіг морських портів України, тис. т;
- зруйнований Ірпінський міст на початку повномасштабного вторгнення;

- ключові показники гуманітарної ситуації в Україні;
- огляд вимушеного переміщення людей у серпні та вересні 2024 року;
- інтенсивність бойових дій у серпні та вересні та їх потенційний вплив на цивільне населення;
- тенденції щодо гуманітарного доступу (липень - серпень 2024 року);
- дані щодо гуманітарного реагування в Україні з січня по вересень 2024 року;
- розподіл людей, яким надано допомогу, за кластерами;
- розподіл людей, яким надано допомогу, за областями.
- кількість постраждалих серед цивільного населення за 2024 рік з прогнозом на грудень
 - прогнозування кількості випущених снарядів по території України на грудень 2024 року

7. Орієнтовний перелік публікацій за напрямом роботи:

Бойко Д.Р. Використання методів машинного навчання для моделювання логістичних потоків у кризових умовах. Моделювання та прогнозування економічних процесів: зб. тез доп. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 груд. 2024 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. URL: <https://mreproc.fmm.kpi.ua>.

8. Дата видачі завдання: 19 червня 2024 року

Календарний план

№	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження, узгодження завдання та змісту магістерської дисертації з науковим керівником.	01.06.2024- 20.06.2024	
2	Збір необхідної інформації, вивчення та аналіз літературних джерел щодо досліджуваної тематики.	21.06.2024-05.09.2024	
3	Розгляд теоретичних засад логістичних. Надання на перевірку першого розділу.	06.09.2024-23.09.2024	
4	Оцінка чинників впливу на організацію гуманітарних логістичних операцій	24.09.2024-30.09.2024	
5	Діагностична аналітика ефективності гуманітарної логістики та впливу кризових факторів	01.10.2024-14.10.2024	
6	Розробка аналітичного інструментарію для діагностики реальних даних. Надання на перевірку другого розділу.	15.10.2024-21.10.2024	
7	Оцінка ефективності аналітичного інструментарію	22.10.2024-04.11.2024	
8	Проведення оцінювання інструментарію для оптимізації гуманітарних потоків.	05.11.2024-11.11.2024	
9	Розроблення рекомендацій щодо покращення ефективності гуманітарної логістики. Надання на перевірку третього розділу.	12.11.2024-18.11.2024	
10	Оформлення магістерської дисертації другого (магістерського) рівня вищої освіти.	19.11.2024-28.11.2024	
11	Подання магістерської дисертації для перевірки на збіг/схожість, отримання відгуку керівника та рецензії.	29.11.2024-06.12.2024	
12	Подання магістерської дисертації до захисту.	09.12.2024	

Студент

Науковий керівник

Денис БОЙКО

Ірина ЛАЗАРЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація Бойко Дениса Романовича на тему «Економічна аналітика та моделювання гуманітарної логістики в умовах війни» зі спеціальності 051 Економіка, освітньо-професійної програми «Економічна аналітика», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2024, Київ.

Магістерська дисертація складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Виконана в обсязі 144 сторінок, містить 12 рисунків, 6 таблиць та 1 додаток.

Актуальність теми. Гуманітарна логістика є важливою під час військових конфліктів, забезпечуючи безпечне постачання допомоги. В умовах війни, коли інфраструктура пошкоджена, потрібно адаптувати логістичні потоки до ризиків на маршрутах. Це вимагає застосування методів оптимізації для ефективного управління ресурсами і зниження витрат, особливо для доставки гуманітарної допомоги в зону конфлікту.

Зв'язок дослідження з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконувалась в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів наукових досліджень кафедри економічної кібернетики за темою «Аналітика та моделювання економічного розвитку в імперативах Trans Tech».(№ 0123U101760). Роль автора полягає у дослідженні та оптимізації логістичних потоків гуманітарної допомоги в умовах воєнного стану

Метою дослідження є діагностика та аналіз логістичних потоків гуманітарного спрямування, виявлення проблемних аспектів та можливостей оптимізації з урахуванням мінімізації витрат та ризиків для доставки допомоги в умовах військових дій.

Завдання дослідження. Розкрити сутність та зміст логістичних процесів в умовах воєнного стану, проаналізувати принципи організації гуманітарних потоків у кризових умовах та існуючі стратегії для ефективної доставки допомоги; дослідити інформаційно-аналітичного програмного забезпечення для оптимізації

гуманітарних потоків у під час воєнного стану, зокрема для зниження витрат і мінімізації ризиків. Оцінити чинників впливу на організацію гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як пропускна здатність шляхів та безпека; провести аналітику та моделювання мінімізації витрат на транспортування, обираючи оптимальні маршрути та враховуючи обмеження; використати аналітичний інструментарій для діагностики реальних даних у моделюванні гуманітарних потоків. Розробити математично-аналітичний інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як доступність маршрутів та ризику; провести аналіз результатів моделювання для оцінки ефективності запропонованої моделі, порівняти реальні дані з отриманими прогнозами і визначити можливі шляхи покращення. Розробити рекомендації для покращення ефективності гуманітарної логістики, зокрема щодо оптимізації маршрутів, зниження витрат і підвищення рівня безпеки.

Об'єктом дослідження виступають логістичні процеси з доставки гуманітарної допомоги в умовах кризи та війни.

Предметом дослідження є математично-аналітичний інструментарій оптимізації логістичних потоків та вибору маршрутів доставки з урахуванням ризиків і стану інфраструктури.

Методи дослідження. У роботі застосовано аналітичні методи, методи оптимізації логістичних потоків, аналізу ризиків для оцінки загроз на маршрутах доставки та оцінки ефективності моделі на основі емпіричних даних про поставки гуманітарної допомоги. Використано інструментарій економічної аналітики для оцінки витрат на транспортування, мінімізації ризиків та вдосконалення логістичних процесів.

Наукова новизна дослідження полягає в діагностиці та аналізі логістичних потоків гуманітарного спрямування, виявленні проблемних аспектів та оптимізації з урахуванням мінімізації витрат та ризиків для доставки допомоги в умовах військових дій. Запропонований підхід дозволяє визначати безпечні та економічно вигідні маршрути, мінімізуючи витрати та ризику.

Практичне значення результатів полягає в тому, що запропонований математично-аналітичний інструментарій оптимізації гуманітарних потоків підвищує ефективність доставки допомоги в умовах кризи та війни, зменшуючи витрати, забезпечуючи своєчасне постачання та мінімізуючи ризики. Даний підхід може бути використана гуманітарними організаціями та державними структурами для покращення планування та управління логістичними операціями в умовах обмеженої інфраструктури. Надані рекомендації також дозволяють адаптувати стратегії доставки до змінних умов.

Апробація результатів магістерської дисертації: Публікація тез доповіді конференції Бойко Д.Р. Використання методів машинного навчання для моделювання логістичних потоків у кризових умовах. Моделювання та прогнозування економічних процесів: зб. тез доп. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 груд. 2024 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024. URL: <https://mpeproc.fmm.kpi.ua>.

Ключові слова: економічна аналітика, логістика, воєнний стан, гуманітарна допомога, оптимізація, ризики

ABSTRACT

Master's thesis by Denys Boyko on 'Economic analytics and modelling of humanitarian logistics in war conditions', speciality 051 Economics, educational and professional programme 'Economic Analytics', National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute', 2024, Kyiv.

The master's thesis consists of an introduction, 3 chapters, conclusions, a list of references and appendices. It consists of 144 pages, 12 figures, 6 tables and 1 appendix.

Relevance of the topic. Humanitarian logistics is important during military conflicts, ensuring the safe delivery of aid. In a war, when infrastructure is damaged, it is necessary to adapt logistics flows to the risks along the routes. This requires the application of optimisation methods to effectively manage resources and reduce costs, especially for the delivery of humanitarian aid to the conflict zone.

Connection of the research with scientific programmes, plans, topics. The master's thesis was carried out at the National Technical University of Ukraine 'Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute' in accordance with the research plans of the Department of Economic Cybernetics on the topic 'Analytics and Modelling of Economic Development in the Trans Tech Imperatives' (No. 0123U101760). The author's role is to study and optimise the logistics flows of humanitarian aid under martial law

The purpose of the study is to diagnose and analyse humanitarian logistics flows, identify problematic aspects and optimisation opportunities, taking into account minimisation of costs and risks for the delivery of aid in the context of military operations.

Objectives of the study. To reveal the essence and content of logistics processes under martial law, to analyse the principles of organising humanitarian flows in crisis conditions and existing strategies for effective aid delivery; to study information and analytical software for optimising humanitarian flows during martial law, in particular to reduce costs and minimise risks. Assess the factors influencing the organisation of humanitarian flows, taking into account constraints such as road capacity and security; conduct analysis and modelling to minimise transportation costs by choosing optimal routes and taking into account constraints; use analytical tools to diagnose real data in humanitarian flow modelling. Develop mathematical and analytical tools to optimise

humanitarian flows, taking into account constraints such as route availability and risks; analyse the modelling results to assess the effectiveness of the proposed model, compare real data with the forecasts and identify possible ways to improve. To develop recommendations for improving the efficiency of humanitarian logistics, including route optimisation, cost reduction and security.

The object of the study is the logistics processes for the delivery of humanitarian aid in times of crisis and war.

The subject of the study is the mathematical and analytical tools for optimising logistics flows and selecting delivery routes, taking into account risks and the state of infrastructure.

Research methods. The study applies analytical methods, methods of optimising logistics flows, risk analysis to assess threats on delivery routes and evaluate the effectiveness of the model based on empirical data on humanitarian aid deliveries. Economic analytics tools were used to estimate transportation costs, minimise risks and improve logistics processes.

The scientific novelty of the study lies in the diagnostics and analysis of humanitarian logistics flows, identification of problematic aspects and optimisation with a view to minimising costs and risks for the delivery of aid in the context of military operations. The proposed approach makes it possible to identify safe and cost-effective routes, minimising costs and risks.

The practical significance of the results lies in the fact that the proposed mathematical and analytical tools for optimising humanitarian flows increase the efficiency of aid delivery in times of crisis and war, reducing costs, ensuring timely delivery and minimising risks. This approach can be used by humanitarian organisations and government agencies to improve the planning and management of logistics operations in infrastructure-constrained environments. The recommendations provided also allow delivery strategies to be adapted to changing conditions.

Testing the results of the master's thesis: Publication of the abstracts of the conference report Boyko D.R. Using machine learning methods for modelling logistics flows in crisis conditions. Modelling and forecasting of economic processes: collection

of abstracts of the XVII International Scientific and Practical Conference, Kyiv, 5 December. 2024. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Polytechnic Publishing House, 2024. URL: <https://mpeproc.fmm.kpi.ua>

Keywords: economic analytics, logistics, martial law, humanitarian aid, optimisation, risks

ЗМІСТ

ВСТУП	13
1 АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ В УМОВАХ ВІЙНИ	16
1.1 Сутність та зміст логістичних процесів в умовах воєнного стану.....	16
1.2 Аналіз принципів організації гуманітарних потоків в кризових умовах	25
1.3 Оцінка інформаційно-аналітичного забезпечення для оптимізації гуманітарних потоків під час воєнного стану	34
Висновки до першого розділу	41
2 АНАЛІТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКІВ ТА МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ	42
2.1 Оцінка чинників впливу на організацію гуманітарних логістичних операцій.....	42
2.2 Діагностична аналітика ефективності гуманітарної логістики та впливу кризових факторів.....	49
2.3 Аналітичний інструментарій для діагностики реальних даних у моделюванні гуманітарних потоків.....	72
Висновки до другого розділу	89
3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АНАЛІТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПОТОКІВ	91
3.1 Методи оцінювання та інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків при заданих обмеженнях	91
3.2 Розроблення рекомендацій щодо покращення ефективності гуманітарної логістики	101
3.3 Обґрунтування доцільності пропозицій на основі прогностичної аналітики та сценарного аналізу	121
Висновки до третього розділу	130
ВИСНОВКИ	132
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	135
ДОДАТКИ	142
ДОДАТОК А	142

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Гуманітарна логістика відіграє ключову роль у підтримці населення під час військових конфліктів, стихійних лих та інших кризових ситуацій. В умовах війни, коли інфраструктура пошкоджена або частково зруйнована, забезпечення оперативного та безпечного постачання гуманітарної допомоги стає критично важливим завданням. Логістичні потоки в таких умовах мають бути гнучкими та адаптованими до ризиків, що виникають на маршрутах доставки. Це вимагає застосування сучасних методів моделювання та оптимізації, які дозволяють ефективно управляти ресурсами, знижувати ризики та мінімізувати витрати на транспортування. Поточна ситуація в Україні, спричинена військовими діями, створює особливо складні умови для логістичних операцій. Логістика гуманітарної допомоги зі Львова через Київ до таких міст, як Полтава, Дніпро та Харків, а також до прифронтових міст (Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ, Гуляй Поле), потребує чіткого планування маршрутів і управління ризиками. Важливим завданням є забезпечення стабільних поставок ресурсів при мінімальних витратах, враховуючи різні рівні небезпеки на авто- та залізничних маршрутах.

У цій роботі проводиться аналіз логістичних потоків та розробляється математично-аналітичний інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків, який дозволяє не лише збалансувати обсяги постачання між містами, а й обрати оптимальні маршрути з урахуванням ризиків. Основні задачі цієї роботи:

- оптимізація потоків між містами, визначення обсягів гуманітарної допомоги, що має бути доставлена в кожний пункт призначення;
- мінімізація витрат на транспортування, зокрема, вибір оптимальних маршрутів із урахуванням ризиків на дорогах та стану інфраструктури.

Метою дослідження є діагностика та аналіз логістичних потоків гуманітарного спрямування, виявлення проблемних аспектів та можливостей оптимізації з урахуванням мінімізації витрат та ризиків для доставки допомоги в умовах військових дій.

Завдання дослідження:

- розкрити сутність та зміст логістичних процесів в умовах воєнного стану,
- проаналізувати принципи організації гуманітарних потоків у кризових умовах та існуючі стратегії для ефективної доставки допомоги;
- дослідити інформаційно-аналітичного програмного забезпечення для оптимізації гуманітарних потоків у під час воєнного стану, зокрема для зниження витрат і мінімізації ризиків;
- оцінити чинників впливу на організацію гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як пропускна здатність шляхів та безпека;
- провести аналітику та моделювання мінімізації витрат на транспортування, обираючи оптимальні маршрути та враховуючи обмеження;
- використати аналітичний інструментарій для діагностики реальних даних у моделюванні гуманітарних потоків;
- розробити математично-аналітичний інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків, враховуючи обмеження, такі як доступність маршрутів та ризику;
- провести аналіз результатів моделювання для оцінки ефективності запропонованої моделі, порівняти реальні дані з отриманими прогнозами і визначити можливі шляхи покращення
- розробити рекомендації для покращення ефективності гуманітарної логістики, зокрема щодо оптимізації маршрутів, зниження витрат і підвищення рівня безпеки.

Результати цього дослідження можуть бути корисними для гуманітарних організацій, що здійснюють логістичні операції в умовах кризи, зокрема, для підвищення ефективності доставки допомоги та зниження витрат при високих рівнях ризику на маршрутах.

Об'єктом дослідження виступають логістичні процеси з доставки гуманітарної допомоги в умовах кризи та війни.

Предметом дослідження виступає математично-аналітичний інструментарій оптимізації логістичних потоків та вибору маршрутів доставки з урахуванням ризиків і стану інфраструктури.

База дослідження: наукові статті, монографії, статистична і фінансова підприємств логістичної галузі.

Методи дослідження. У роботі застосовано аналітичні методи, методи оптимізації логістичних потоків, аналізу ризиків для оцінки загроз на маршрутах доставки та оцінки ефективності моделі на основі емпіричних даних про поставки гуманітарної допомоги. Використано інструментарій економічної аналітики для оцінки витрат на транспортування, мінімізації ризиків та вдосконалення логістичних процесів.

Наукова новизна дослідження полягає в діагностиці та аналізі логістичних потоків гуманітарного спрямування, виявленні проблемних аспектів та оптимізації з урахуванням мінімізації витрат та ризиків для доставки допомоги в умовах військових дій. Запропонований підхід дозволяє визначати безпечні та економічно вигідні маршрути, мінімізуючи витрати та ризики.

Практичне значення результатів полягає в тому, що запропонований математично-аналітичний інструментарій оптимізації гуманітарних потоків підвищує ефективність доставки допомоги в умовах кризи та війни, зменшуючи витрати, забезпечуючи своєчасне постачання та мінімізуючи ризики. Даний підхід може бути використана гуманітарними організаціями та державними структурами для покращення планування та управління логістичними операціями в умовах обмеженої інфраструктури. Надані рекомендації також дозволяють адаптувати стратегії доставки до змінних умов.

Апробація результатів магістерської дисертації: Публікація тез доповіді конференції Бойко Д.Р. Використання методів машинного навчання для моделювання логістичних потоків у кризових умовах. Моделювання та прогнозування економічних процесів: зб. тез доп. XVIII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 5 груд. 2024 р. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2024.
URL: <https://mpeproc.fmm.kpi.ua>.

1 АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

1.1 Сутність та зміст логістичних процесів в умовах воєнного стану

Війна завжди супроводжується численними викликами для логістичних процесів, і війна в Україні не стала винятком. Одним із найбільш критичних аспектів у забезпеченні гуманітарних поставок є порушення інфраструктури, блокування шляхів та небезпека для транспортування [1]. Це має серйозний вплив на ефективність та оперативність поставок необхідних товарів, таких як продовольство, медикаменти, паливо, а також інші життєво важливі ресурси для цивільного населення. Порушення інфраструктури є однією з найбільших проблем, з якими стикається гуманітарна логістика в умовах війни. Руйнування або серйозне пошкодження транспортних мереж, таких як дороги, мости, залізничні колії, порти, а також склади, критично ускладнює процес транспортування вантажів, зокрема гуманітарної допомоги.

Від початку повномасштабного вторгнення російські війська намагалися знищити стратегічно важливі об'єкти інфраструктури, зокрема транспортні шляхи. Один із найбільш очевидних прикладів — це зруйновані мости, що з'єднують західну частину України з центральною та східною [2]. Так, міст у Чернігові, який був важливою артерією для перевезення вантажів, був пошкоджений під час обстрілів. Це змусило логістів шукати альтернативні маршрути для доставки товарів, що значно збільшило час транспортування та витрати (рис.1.1).

Крім того, не менш важливими є дороги, які забезпечують зв'язок між ключовими логістичними центрами. У ряді випадків дороги були не лише пошкоджені, а й повністю зруйновані через артилерійські удари або замінування. Наприклад, одна з основних магістралей, яка веде з Києва до Одеси, була частково перекрита, що ускладнило постачання гуманітарної допомоги до південних регіонів України, де була найбільша потреба в продуктах та медикаментах [4]. У результаті, вантажі, які раніше транспортувалися через цей шлях за кілька днів,

тепер потребують значно більше часу через необхідність шукати альтернативні маршрути або через меншу пропускну здатність залишених доріг.

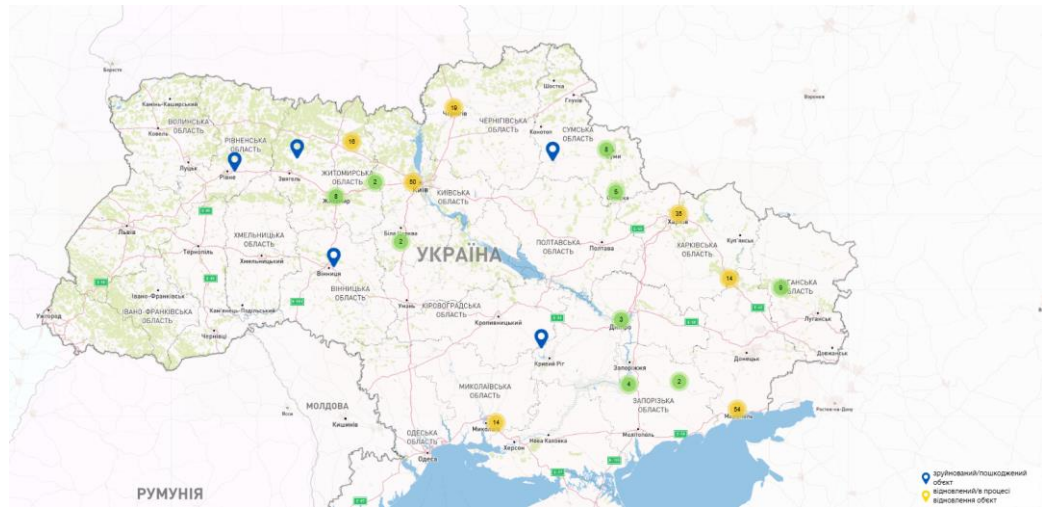


Рисунок 1.1 – Інтерактивна карта руйнувань від Антикорупційного штабу
Джерело: [3]

Не менш важливим є також стан залізничних шляхів. Залізниця була одним із основних способів транспортування вантажів до інших країн, але через руйнування колій та перевантаження інфраструктури, значна частина залізничних шляхів стала непридатною для використання. Так, частина залізничних колій на сході України була знищена в результаті обстрілів, що ускладнило транзит вантажів через прикордонні пункти. Для того, щоб забезпечити безперебійну доставку, логістам доводиться шукати обхідні шляхи або адаптуватися до нових умов, наприклад, збільшуючи використання автотранспорту.

Великі порти, які до війни були основними точками вивезення української продукції, також постраждали від військових дій. Приміром, порт у Маріуполі був повністю зруйнований, і з того часу Україна втратила важливу точку виходу своєї продукції на зовнішні ринки [5]. Одеський порт, хоча і залишився під контролем України, пережив численні удари та блокади, що вплинуло на його ефективність. Річкові порти на Дунаї, які раніше обробляли лише мінімальні обсяги вантажів, виявилися нездатними замінити пропускну здатність морських портів. Фізично обмежена пропускна спроможність річкових шляхів не дозволяє здійснювати великі вантажоперевезення, що суттєво ускладнює логістичні операції.

Порушення інфраструктури не тільки ускладнює доставку вантажів, але й значно збільшує витрати на транспортування. Вантажівки змушені здійснювати великі об'єми об'їзду, що впливає на час доставки та витрати на паливо. Крім того, у зв'язку з пошкодженням складів та терміналів, виникають затримки в обробці товарів, що ускладнює митні процедури, а також створює ризики для зберігання та збереження вантажів.

Таким чином, зруйнована або частково пошкоджена інфраструктура є однією з основних проблем гуманітарної логістики під час війни. Вона суттєво ускладнює доставку товарів, підвищує витрати на транспортування та створює додаткові ризики для зберігання вантажів, що вкрай негативно позначається на ефективності гуманітарних операцій [6]. Відновлення інфраструктури є критично важливим для забезпечення безперебійного постачання допомоги в умовах війни.

Однією з найбільших проблем, з якими зіткнулась українська логістика після початку війни, є блокування шляхів транспортування. Це явище включає в себе як фізичні блокади, так і обмеження доступу до основних транспортних артерій через військові дії. З самого початку повномасштабного вторгнення Росія активно застосовувала тактику блокування ключових транспортних коридорів, що спричинило значні труднощі у перевезенні вантажів, у тому числі гуманітарних постачань, як на території України, так і за її межами [7].

Блокування морських шляхів стало однією з перших і найбільш відчутних проблем для логістичних операцій. Морські порти України, через які здійснювався основний експорт, зокрема агропродукції, металів і хімічних товарів, опинились під загрозою або безпосередньо заблокованими. Росія заблокувала доступ до портів в Азовському та Чорному морі, зокрема до Одеського, Миколаївського, Чорноморського, а також частково до порту Маріуполя. Проблеми з морським транспортуванням стали катастрофічними для української економіки, оскільки до війни морські шляхи були основним способом транспортування зернових та іншої агропродукції, і на ці порти припадала близько 70% експортних вантажів (рис.1.2).

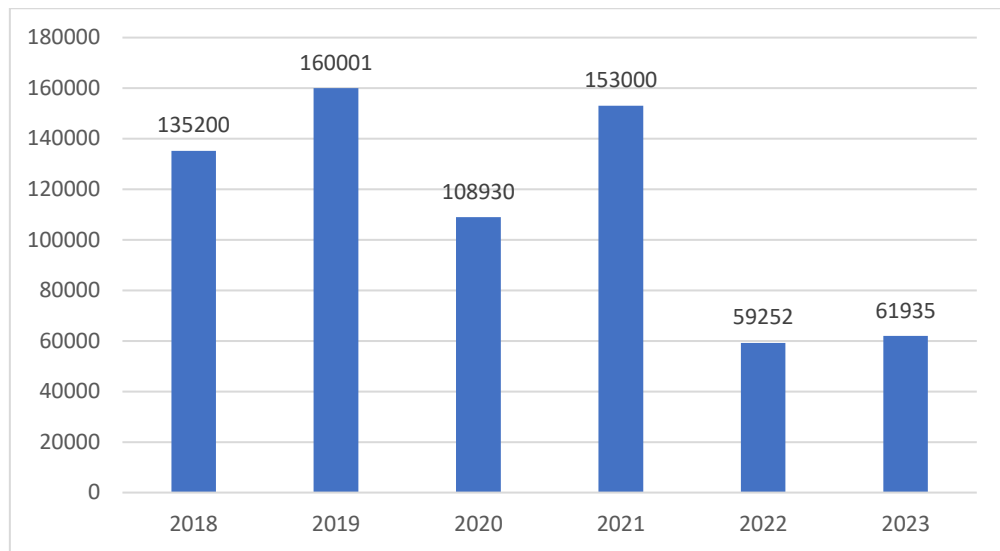


Рисунок 1.2 – Вантажообіг морських портів України, тис. т

Джерело: Складено на основі [8-10]

Заблоковані порти не лише спричинили припинення експорту, але й створили величезні проблеми для логістики гуманітарних вантажів. Проблеми з вивезенням зерна, медикаментів, пального та інших життєво важливих товарів через Чорне море зробили необхідним створення альтернативних маршрутів через річкові порти на Дунаї. Це, звісно, знизило ефективність, оскільки пропускна спроможність річкових портів значно менша, ніж у морських. Наприклад, порти на Дунаї, як-от Ізмаїл, Рені, Усть-Дунайський, через свою меншу пропускну здатність змогли замінити лише незначну частину загальних обсягів вантажів, які раніше проходили через морські порти. Це призвело до того, що вантажі зменшилися, а вартість транспортування значно зросла [10].

Крім того, блокування сухопутних шляхів стало ще однією серйозною проблемою для гуманітарної логістики. В Україні, зокрема на сході та півдні, багато доріг і мостів були пошкоджені або зруйновані через військові дії. Так, деякі важливі магістралі, які зв'язували великі міста, опинились під обстрілами, а рух транспорту через деякі міста було неможливим. Мости через річки, які використовувались для транспортування вантажів, таких як через Дніпро, були знищені або пошкоджені внаслідок артилерійських ударів. Наприклад, міст через Дніпро в Запоріжжі, який використовувався для транспортування великої кількості товарів, був пошкоджений в перші місяці війни, що ускладнило пересування між

південними та центральними регіонами країни. Це спричинило значні затримки у доставці гуманітарної допомоги на південь України, де потреби у допомозі були найбільшими.



Рисунок 1.3 – Зруйнований Ірпінський міст на початку повномасштабного вторгнення

Джерело: [11]

Блокування залізничних шляхів стало ще одним важливим аспектом, який суттєво ускладнив логістичні операції. Оскільки залізниця до війни була основним транспортним засобом для перевезення великої частини вантажів, включаючи гуманітарну допомогу, її блокування призвело до серйозних проблем. Військові дії в зонах активних бойових дій, зокрема в Донецькій і Луганській областях, а також обстріли залізничних колій, значно знизили можливості для транзиту вантажів. Технічні обмеження, пов'язані з перевезенням вантажів через прикордонні пункти та зміною розміру колії, також ускладнювали ситуацію. Через це обсяги вантажоперевезень залізницею значно зменшились, а черги на прикордонних переходах стали нормою. Наприклад, у 2022 році черги на кордонах з Польщею, Румунією та іншими країнами ЄС досягали кількох десятків кілометрів, що значно затримувало вантажі, збільшуючи час доставки гуманітарної допомоги.

Блокування транспортних шляхів також викликало зміну логістичних маршрутів. Вантажівки почали використовувати обхідні шляхи, які значно

подовжували час доставки і збільшували витрати на транспортування. Деякі вантажі, які раніше легко доставлялися через основні шляхи, тепер доводилось відправляти через західні пункти пропуску або через менш зручні та більш віддалені маршрути, що збільшувало витрати на паливо і час транспортування. Наприклад, через зростання навантаження на західні кордони України, через пункти пропуску, такі як "Ягодин" і "Краковець", почали виникати черги, що призводило до значних затримок [12].

Таким чином, блокування транспортних шляхів стало однією з головних проблем для гуманітарної логістики в Україні. Знищення або перекриття ключових транспортних коридорів, як морських, так і сухопутних, значно ускладнило постачання гуманітарної допомоги, що, в свою чергу, спричинило зростання витрат, затримки в доставках та серйозні проблеми для організацій, які надають гуманітарну допомогу.

Однією з найбільших загроз для гуманітарної логістики під час війни є небезпека для постачань. Військові дії створюють серйозні ризики для транспорту, вантажів і людей, залучених до процесу доставки гуманітарних вантажів. Під обстрілами та атаками часто опиняються як цивільні, так і гуманітарні вантажі, що значно ускладнює безпеку і ефективність транспортних операцій.

Насамперед, одним із найбільших ризиків є постійна загроза обстрілів транспорту та інфраструктури. Як показує досвід війни, обстріли з боку противника стали звичайним явищем для багатьох логістичних маршрутів, особливо у зонах активних бойових дій. Транспортні засоби, які перевозять гуманітарні вантажі, часто стають мішенями для артилерійських обстрілів або ракетних атак, що призводить до знищення або пошкодження вантажів, а також до жертв серед водіїв і супроводжуючого персоналу.

Яскравим прикладом є обстріли, які сталися на важливих автошляхах в зоні сходу України, де гуманітарні конвої, що перевозили продовольство та медикаменти, були атаковані артилерією. Один із таких випадків стався в 2022 році на автошляху між Харковом і Луганськом, де вантажівка з гуманітарною допомогою потрапила під обстріл. Це призвело до загибелі кількох осіб і знищення

вантажів. Транспортні засоби, що рухаються через зони бойових дій, фактично наражаються на постійну небезпеку, що робить транспортування ще більш складним і дорогим.

Мінування територій також є серйозною загрозою для транспортування вантажів. Багато доріг і шляхи, що ведуть до постраждалих регіонів, були заміновані як самими військами, так і силами противника. Мінування доріг ускладнює рух транспорту і вимагає додаткових витрат часу на розмінування територій, а також підвищує ризик для водіїв і пасажирів. Наприклад, на сході України, де лінія фронту проходила через великі шляхи, багато транспортних засобів потрапляли під мінування. Це не тільки сповільнювало транспортування гуманітарних вантажів, але й призводило до руйнування важливої інфраструктури [13].

Ще однією серйозною загрозою є вибухонебезпечні предмети. Після обстрілів або активних бойових дій на дорогах часто залишаються нерозірвані боєприпаси або міни, що представляють додаткову небезпеку для транспорту і людей, що виконують гуманітарні операції. Деякі території стають просто небезпечними для проїзду, і тому необхідно постійно здійснювати моніторинг та оцінку безпеки маршрутів [14].

Не менш важливою є загроза атак на вантажі. Оскільки гуманітарні вантажі часто мають високу вартість і велику важливість, вони стають об'єктами нападів. Це може включати як грабежі вантажівок, так і прямі атаки на конвої, що перевозять вантажі. У зоні конфлікту можуть бути випадки, коли агресор або бандитські угруповання захоплюють або руйнують гуманітарні поставки, використовуючи їх для власних цілей або з метою блокувати доставку допомоги. Подібні випадки мали місце на території сходу України, де зафіксовано напади на гуманітарні вантажі, що перевозили необхідні продукти та медикаменти до постраждалих регіонів.

Перевезення через небезпечні зони також вимагає додаткових заходів безпеки, таких як ескорт збройними силами або спецпідрозділами для забезпечення безпеки вантажу. Поряд з цим, зростання рівня небезпеки призводить до

необхідності використання броньованих транспортних засобів, що значно збільшує витрати на транспортування гуманітарної допомоги.

Один із найбільш серйозних наслідків таких небезпек — це затримки у постачанні гуманітарної допомоги, що стає критичним для цивільного населення в умовах війни. Затримки можуть призводити до того, що продукти або медикаменти не встигають досягти тих, хто потребує допомоги, що може мати фатальні наслідки для здоров'я людей. У результаті, зростає потреба в додаткових ресурсах для забезпечення безпеки транспорту та організації доставки.

У підсумку, небезпека для постачань є важливим фактором, який значно ускладнює процес гуманітарної логістики в умовах війни. Постійна загроза обстрілів, мінування територій, вибухонебезпечні предмети та ризик нападу на вантажі ускладнюють доставку необхідних товарів і збільшують витрати на транспортування. Безпека вантажів та людей, що виконують гуманітарні операції, стає пріоритетом, а логістичні компанії змушені адаптувати свої стратегії до нових, надзвичайно складних умов.

Постачання гуманітарної допомоги в умовах війни зазнає суттєвих ризиків і затримок, що ускладнюють забезпечення цивільного населення необхідними товарами. Однією з основних проблем є те, що значна частина гуманітарної допомоги не може бути доставлена вчасно через постійні загрози та військові дії, що ускладнює ефективну організацію логістики. Затримки в доставці гуманітарних вантажів можуть призвести до погіршення ситуації в регіонах, де найбільше потребують допомоги.

Однією з основних причин затримок є несприятливі умови на маршрутах транспортування, зокрема ризик для безпеки вантажів через бойові дії. Блокування або пошкодження ключових шляхів, у тому числі залізничних і автомобільних доріг, є постійною проблемою для гуманітарних операцій. Затримки на пунктах пропуску на кордонах, де відбуваються перевірки вантажів і супроводження, також можуть значно затримати постачання, оскільки багато прикордонних пунктів можуть бути перевантажені або частково заблоковані.

Величезний вплив на постачання гуманітарної допомоги мали небезпеки на маршрутах, включаючи обстріли, мінування територій і загрози нападу на транспортні засоби. Військові атаки на транспортні колони, у тому числі на гуманітарні конвої, призводять до значних затримок, пошкодження вантажу або навіть його повного знищення. У таких умовах важливо забезпечити додаткові заходи безпеки для транспорту, включаючи ескорт, захист від атак та використання броньованих машин.

Невизначеність та непередбачуваність ситуації на фронті також можуть спричинити затримки, оскільки складно заздалегідь спрогнозувати, які шляхи стануть доступними, а які будуть перекриті або заблоковані на той чи інший час. В таких умовах, коли лінія фронту може переміщатися, знову ж таки змінюються умови постачання, що веде до необхідності коригувати логістичні маршрути.

Крім того, черги та затримки на митних пунктах, а також контроль на кордонах країни можуть затримувати вантажі на тривалий час, навіть якщо шляхи транспортування безпечні. Збільшена кількість перевірок, особливо в періоди високої напруженості, може значно сповільнити процес митного оформлення, що впливає на загальну швидкість доставки гуманітарних вантажів.

Зростання витрат також є важливою складовою затримок в постачанні. Транспортні компанії змушені компенсувати додаткові витрати через подовження маршрутів, зростання витрат на паливо, а також використання спеціальних засобів для забезпечення безпеки. Внаслідок цього ціна доставки гуманітарної допомоги зростає, що ускладнює економічне забезпечення таких операцій.

Інфраструктурні обмеження, як-от брак складів або місць для зберігання товарів, також можуть викликати затримки, коли необхідно почекати в черзі на обробку вантажів або відправку. Наприклад, порти або логістичні хаби, які стали вразливими через бойові дії, не можуть вчасно обробляти великі обсяги вантажів, що призводить до затримок у доставці гуманітарних вантажів.

Усі ці фактори створюють складну ситуацію, в якій задоволення потреб постраждалого населення вчасно стає значно більш складним завданням. Затримки в доставці необхідних товарів можуть призвести до різкого погіршення

гуманітарної ситуації, зокрема до дефіциту продовольства, медикаментів і пального, що в умовах війни може призвести до великої кількості жертв серед цивільного населення.

1.2 Аналіз принципів організації гуманітарних потоків в кризових умовах

Сучасні підходи до управління гуманітарними потоками базуються на забезпеченні швидкості та надійності постачання необхідних товарів у найвіддаленіші та найнебезпечніші регіони під час кризових ситуацій. Гуманітарна логістика акцентує увагу на координації дій різних зацікавлених сторін, включаючи державні установи, волонтерські та міжнародні організації, з метою мінімізації часу доставки, незважаючи на логістичні труднощі, викликані війною [15].

Прогнозування потреб є надзвичайно важливим елементом управління гуманітарними потоками, особливо в умовах кризи. Цей процес дозволяє забезпечити доставку гуманітарної допомоги у ті регіони, де вона найбільш необхідна, з огляду на поточні умови та загрози. В умовах війни або надзвичайних ситуацій попит на життєво важливі ресурси, такі як продукти, медикаменти, вода та засоби гігієни, постійно змінюється. Тому точне і оперативне прогнозування стає ключовим для ефективної роботи гуманітарних місій.

Прогнозування потреб базується на зборі й аналізі актуальних даних з різних джерел. Інформація надходить від місцевих органів влади, гуманітарних організацій, волонтерських груп та цифрових систем моніторингу. Завдяки технологіям, таким як супутникові зображення та GPS, гуманітарні організації можуть у реальному часі оцінювати масштаби руйнувань, пересування населення та зміни в ситуації на місцях. Наприклад, під час війни в Україні гуманітарні місії використовували мобільні додатки для збору даних, що дозволяло оперативно коригувати маршрути та обсяги постачань [16].

Окрім оперативного збору інформації, сучасне прогнозування потреб спирається на аналіз історичних даних. Дані, зібрані під час попередніх конфліктів

або природних катастроф, допомагають моделювати можливі сценарії розвитку ситуації та оцінювати потреби населення у кризових регіонах. Це дозволяє гуманітарним організаціям краще підготуватися до можливих викликів і більш ефективно планувати постачання.

Математичні моделі та методи прогнозування також допомагають симулювати різні сценарії розвитку кризи. Завдяки цим моделям можна передбачити, як зміна кількості переміщених осіб чи загострення бойових дій вплинуть на потреби в гуманітарній допомозі. Такі моделі дозволяють гуманітарним організаціям розподіляти ресурси більш ефективно, навіть в умовах нестабільності. Наприклад, за допомогою таких моделей можна оцінити, які регіони можуть стати найбільш вразливими до дефіциту продовольства чи медикаментів і заздалегідь спланувати маршрути постачання.

Крім того, демографічні та соціальні характеристики регіонів також відіграють важливу роль у прогнозуванні. Наприклад, регіони з великою кількістю дітей або літніх людей потребують специфічних товарів, таких як дитяче харчування чи медикаменти для лікування хронічних захворювань. Таким чином, врахування демографічних особливостей дозволяє точніше планувати постачання і знижувати ризики дефіциту необхідних ресурсів.

Прогнозування потреб активно використовує цифрові платформи для моніторингу в реальному часі. Сучасні системи управління ланцюгами постачання дозволяють відстежувати рух вантажів, стан доріг та інші важливі фактори, що впливають на логістику гуманітарної допомоги. Географічні інформаційні системи (ГІС) дають змогу візуалізувати дані про потреби населення в конкретних регіонах, а також прогнозувати найбільш критичні зони для доставки допомоги [17]. Такі технології дозволяють знизити ризики та збільшити ефективність логістичних операцій, оскільки вони забезпечують прозорість і точність у плануванні.

Втім, прогнозування потреб стикається з викликами. Ситуація в кризових регіонах може швидко змінюватися, через що дані швидко втрачають актуальність. Війна або стихійні лиха часто ускладнюють доступ до точних даних, що підвищує ймовірність помилок у прогнозах. Незважаючи на точність прогнозів, ресурси

можуть бути обмеженими, а логістичні маршрути — заблокованими, що ускладнює швидке постачання.

Проте, незважаючи на ці виклики, прогнозування потреб залишається критично важливим для ефективного функціонування гуманітарної логістики. Воно дозволяє уникнути ситуацій, коли ресурси розподіляються неефективно, а допомога надходить надто пізно або у недостатній кількості. Прогнозування допомагає організувати точне планування, мінімізувати втрати та максимально ефективно використовувати наявні ресурси, реагуючи на зміну потреб постраждалого населення в реальному часі.

Створення гуманітарних коридорів є важливим інструментом забезпечення безпечної доставки допомоги в умовах кризових ситуацій, зокрема під час війни. Гуманітарні коридори — це спеціально визначені маршрути або території, через які дозволено безпечно транспортування вантажів та пересування цивільного населення. Метою створення таких коридорів є зниження ризиків для логістичних операцій у зонах активних бойових дій, надання можливості доставити гуманітарну допомогу до постраждалих регіонів та евакуація мирних жителів [18].

Одним із основних викликів під час війни є забезпечення безпеки для транспорту та персоналу, що бере участь у доставці гуманітарних вантажів. Без гарантій безпеки та безперешкодного доступу в кризові зони доставка допомоги стає практично неможливою. Гуманітарні коридори, погоджені між сторонами конфлікту, створюють можливість для тимчасового припинення вогню на певних маршрутах, що дозволяє транспортувати життєво необхідні товари, такі як продовольство, медикаменти, вода, а також засоби першої необхідності. Вони також використовуються для евакуації цивільних, що опинилися в епіцентрі бойових дій.

У процесі організації гуманітарних коридорів важливу роль відіграє міжнародне співробітництво. Такі коридори часто створюються за участю міжнародних організацій, таких як ООН, Міжнародний Червоний Хрест та інші структури, що виступають посередниками між воюючими сторонами. Їхня мета — забезпечити нагляд за дотриманням домовленостей і сприяти захисту цивільних осіб, а також координації логістичних операцій [19]. Наприклад, під час війни в

Україні неодноразово створювалися гуманітарні коридори для евакуації населення та постачання допомоги у такі міста, як Маріуполь, Харків та Київська область, які постраждали від інтенсивних бойових дій.

Організація коридорів вимагає детального планування і координації між учасниками процесу. Одним із ключових аспектів є узгодження маршрутів та часових рамок для проходження гуманітарних конвоїв, щоб уникнути обстрілів або інших ризиків. Такі коридори можуть бути як наземними, так і річковими чи навіть повітряними, залежно від доступності та безпеки маршрутів. Наприклад, коли основні наземні шляхи блоковані або зруйновані, річкові порти можуть використовуватись для тимчасового транспортування вантажів через більш безпечні регіони.

Окрім безпосередньої доставки допомоги, гуманітарні коридори відіграють важливу роль у відновленні зв'язків між гуманітарними організаціями та місцевими громадами. Це дозволяє полегшити доставку не лише матеріальних ресурсів, але й важливої інформації, що допомагає координувати подальші гуманітарні операції. Наприклад, завдяки гуманітарним коридорам стало можливим передавати оновлені дані про кількість переміщених осіб, потреби у медичній допомозі чи продукти харчування, що дає змогу ефективніше планувати подальші постачання [20].

Однак, незважаючи на важливість гуманітарних коридорів, їх створення та підтримання часто супроводжується великими викликами. Одним із основних ризиків є порушення домовленостей про припинення вогню, коли сторони конфлікту не дотримуються угод, що створює небезпеку для конвоїв і цивільних. На жаль, були випадки, коли гуманітарні коридори потрапляли під обстріл, що призводило до трагедій і втрати вантажів. Такі ситуації підривають довіру до процесу створення коридорів і ускладнюють проведення подальших операцій.

Крім того, постійне блокування транспортних шляхів може змусити гуманітарні організації шукати нові маршрути для допомоги, що збільшує час доставки та витрати. Наприклад, через блокування морських портів в Україні довелося використовувати менш ефективні річкові маршрути на Дунаї для перевезення зерна та інших важливих вантажів.

Загалом, створення гуманітарних коридорів є ключовим інструментом забезпечення безпеки для гуманітарних операцій під час конфліктів. Це дозволяє швидко та безпечно доставляти допомогу в найбільш постраждалих регіонах, а також сприяє захисту цивільного населення. Успіх таких коридорів значною мірою залежить від міжнародної підтримки, дотримання домовленостей між сторонами конфлікту та здатності гуманітарних організацій швидко адаптуватися до змін у ситуації.

Логістичні хаби відіграють важливу роль у гуманітарній логістиці, особливо в умовах криз, таких як війни, природні катастрофи або пандемії. Це спеціальні логістичні центри або перевалочні пункти, де гуманітарні вантажі збираються, обробляються і перерозподіляються перед подальшим транспортуванням до місць призначення. У кризових умовах логістичні хаби дозволяють ефективніше управляти потоками допомоги, оптимізувати ресурси і забезпечувати своєчасне постачання життєво необхідних товарів до постраждалих регіонів.

Головна мета логістичних хабів — це підвищення швидкості і гнучкості постачання в умовах, коли основна інфраструктура пошкоджена або заблокована. Хаби створюються поблизу зон конфліктів або стихійних лих і працюють як проміжні пункти для обробки великих обсягів гуманітарних вантажів, які можуть бути передані або розподілені за пріоритетними маршрутами. Завдяки такій системі хабів можна уникнути хаосу в процесі розподілу допомоги та запобігти затримкам у доставці.

Однією з ключових переваг логістичних хабів є централізоване зберігання та управління запасами. У цих центрах гуманітарні організації можуть створювати резерви необхідних ресурсів, що дозволяє швидко реагувати на нові запити. Наприклад, у разі несподіваного загострення бойових дій або природної катастрофи, хаби можуть оперативно відправляти вантажі в найбільш критичні зони. Така система також дозволяє ефективніше координувати поставки з різних джерел і країн, що є особливо важливим, коли кілька організацій надають допомогу одночасно.

Підвищення ефективності транспортування є ще однією важливою функцією логістичних хабів. Оскільки пряме транспортування до постраждалих регіонів часто є небезпечним або неможливим через руйнування інфраструктури, хаби працюють як проміжні точки, де вантажі перевантажуються на більш підходящі транспортні засоби. Наприклад, вантажі, що прибувають у великі порти або аеропорти, можуть бути перевантажені на вантажівки або поїзди в хабах, які знаходяться ближче до зони конфлікту або катастрофи. Це дозволяє мінімізувати ризики для водіїв та транспорту, а також уникати небезпечних маршрутів.

Логістичні хаби також дають можливість гуманітарним організаціям адаптувати свою стратегію залежно від змін у ситуації. Оскільки ситуація в кризових регіонах може швидко змінюватися, наявність хабів дозволяє зберігати гнучкість у виборі маршрутів та пріоритетів. Наприклад, якщо певний регіон стає недоступним через обстріли або блокаду, вантажі можуть бути перенаправлені через інші маршрути, що мінімізує втрати часу і ресурсів. Крім того, у випадку різкого зростання попиту на певні ресурси (медикаменти, харчі, вода) в одному з регіонів, хаби можуть оперативно розподіляти запаси, що зберігаються в них.

Прикладом ефективного використання логістичних хабів є діяльність міжнародних гуманітарних організацій, таких як ООН, Всесвітня продовольча програма (ВПП) та Міжнародний комітет Червоного Хреста. ВПП використовує великі логістичні хаби для розподілу продовольчої допомоги у країнах, що постраждали від конфліктів і катастроф. Наприклад, під час гуманітарної кризи в Ємені ВПП створила кілька логістичних хабів у сусідніх країнах, таких як Джибуті та Оман, для зберігання продовольства та медичних ресурсів, що дозволило швидко доставляти допомогу в зони конфлікту.

В Україні також активно використовуються логістичні хаби для підтримки гуманітарних операцій під час війни. Зокрема, хаби на заході України, в містах, таких як Львів, Ужгород, Мукачево, стали ключовими пунктами для перевалки вантажів, що надходять від міжнародних донорів. Через ці хаби розподіляється продовольство, медикаменти, одяг, засоби гігієни та інші необхідні товари, що потім транспортується до східних і південних регіонів, які постраждали від війни.

Це дозволяє уникати перевантаження основних транспортних шляхів і забезпечувати оперативну доставку [21].

Технології також відіграють важливу роль у функціонуванні логістичних хабів. Системи управління ланцюгами постачання (SCM), зокрема програмне забезпечення для моніторингу запасів, дозволяють гуманітарним організаціям контролювати рух товарів у реальному часі. Цифрові інструменти для відстеження вантажів допомагають координувати постачання між різними хабами і запобігати дублюванню зусиль [22]. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів, коли кожен день затримки або неефективного використання запасів може мати серйозні наслідки.

Незважаючи на ефективність логістичних хабів, існує ряд викликів, пов'язаних з їх функціонуванням. Безпека хабів є одним із найважливіших аспектів, оскільки вони можуть стати мішенню для військових атак або мародерства. У зонах активних бойових дій необхідно забезпечувати захист логістичних центрів і створювати надійні умови для зберігання вантажів. Крім того, обмеженість ресурсів і можливостей для транспортування може ускладнювати швидке поповнення запасів у хабах, особливо якщо основні маршрути заблоковані або зруйновані.

Таким чином, логістичні хаби є критично важливими елементами гуманітарної логістики, особливо в умовах кризи. Вони забезпечують ефективне управління запасами, оптимізацію ресурсів і координацію постачання в постраждалих регіонах. Завдяки гнучкості та адаптивності хаби дозволяють швидко реагувати на зміни в ситуації, знижувати ризики для транспортування та забезпечувати стабільне постачання гуманітарної допомоги.

Координація дій є одним із ключових аспектів управління гуманітарними потоками в умовах кризи, оскільки забезпечення ефективної співпраці між різними учасниками процесу відіграє вирішальну роль у досягненні успіху гуманітарних операцій. У кризових ситуаціях, таких як війни, природні катастрофи чи епідемії, десятки або навіть сотні організацій працюють одночасно для забезпечення допомоги постраждалим. Це включає урядові установи, міжнародні організації,

волонтерські групи, приватні логістичні компанії та місцеві громади. Без належної координації дій між ними можливі дублювання зусиль, хаотичні дії та витрати часу, що критично для ефективного виконання гуманітарних місій.

Основна мета координації полягає в тому, щоб оптимізувати використання ресурсів і забезпечити своєчасну доставку гуманітарної допомоги туди, де вона найбільш необхідна. У кризових умовах, де доступ до інформації часто обмежений, важливо уникати ситуацій, коли кілька організацій намагаються доставити ті самі ресурси в один регіон, тоді як інші залишаються без допомоги. Координація допомагає створити централізовану систему управління, яка дозволяє правильно розподіляти ресурси, а також визначати пріоритети щодо потреб кожного регіону.

Міжнародні організації, такі як ООН, Міжнародний Червоний Хрест та Всесвітня продовольча програма (ВПП), відіграють ключову роль у координації глобальних гуманітарних операцій. Вони виступають посередниками між урядами, приватними компаніями та місцевими організаціями, допомагаючи об'єднати зусилля для більш ефективного виконання місій. Наприклад, ООН створює спеціальні координаційні центри, які збирають та обробляють інформацію про ситуацію на місцях, поточні потреби населення та наявні ресурси. Такі центри координують діяльність різних партнерів, запобігаючи дублюванню поставок або пропуску критично важливих регіонів.

Спільне планування є важливою складовою координації дій. Усі учасники гуманітарних операцій повинні мати спільну стратегію і план дій, що враховує потреби різних регіонів, обмеження інфраструктури, безпекові ризики та доступні ресурси. Для цього проводяться регулярні зустрічі і наради між організаціями, під час яких обговорюються маршрути доставки, обсяги вантажів, наявність складів та технічних засобів. Спільне планування також дозволяє враховувати зміну ситуації на місцях і оперативно коригувати стратегії [23].

Одним із прикладів ефективної координації в умовах кризи є діяльність гуманітарних місій під час війни в Україні. Міжнародні та національні організації разом з урядовими структурами працювали над створенням гуманітарних коридорів для безпечної доставки допомоги у зони бойових дій. Це вимагало тісної

координації між різними структурами для забезпечення припинення вогню, організації супроводу вантажів та забезпечення безпеки транспорту.

Технології та цифрові платформи суттєво спрощують процес координації в сучасних гуманітарних операціях. Завдяки використанню систем управління ланцюгами постачання (SCM) та географічних інформаційних систем (ГІС), організації можуть оперативніше отримувати дані про місцезнаходження вантажів, стан доріг, потреби населення та інші ключові фактори. Цифрові платформи також дозволяють гуманітарним місіям ефективніше обмінюватися інформацією в режимі реального часу, що полегшує координацію дій між різними учасниками процесу. Наприклад, система ОСНА (Управління ООН з координації гуманітарних питань) використовує спеціальні інформаційні платформи для збору даних від різних учасників і централізованого управління ресурсами [24].

Координація дій також охоплює розподіл відповідальності між учасниками. Кожна організація має свою спеціалізацію або компетенцію: хтось відповідальний за транспортування, інші — за медичну допомогу або розподіл продовольства. Важливо чітко розподілити ролі, щоб уникнути плутанини або дублювання зусиль. Наприклад, одні організації можуть займатися збором і розподілом продовольства, а інші — транспортуванням або забезпеченням медичних послуг. Такий підхід дозволяє більш ефективно використовувати обмежені ресурси та уникнути конфліктів або затримок у постачанні.

Важливим елементом координації є комунікація між учасниками. У кризових умовах, де інформація часто змінюється або є неповною, необхідно забезпечити постійний зв'язок між всіма залученими сторонами. Сучасні технології дозволяють забезпечувати таку комунікацію через захищені канали, що дозволяє швидко передавати важливу інформацію про потреби або зміни на місцях.

Однак координація дій під час гуманітарних місій стикається з певними викликами. Одним із основних є розбіжності між організаціями у підходах до роботи або пріоритетах. Наприклад, деякі організації можуть зосереджуватися на довгострокових цілях, тоді як інші намагаються швидко реагувати на термінові потреби. Це може призвести до конфліктів або затримок у постачанні. Також

важливою проблемою є обмежений доступ до інформації або неправильне трактування даних, що може ускладнювати прийняття рішень.

Таким чином, координація дій є основою успішної гуманітарної операції. Вона дозволяє ефективніше використовувати наявні ресурси, уникати дублювання зусиль та забезпечувати своєчасну і точну доставку допомоги до постраждалих регіонів. Спільне планування, чіткий розподіл відповідальності та використання сучасних технологій є ключовими факторами для забезпечення успішної координації в умовах кризи.

Адаптивні логістичні системи є ключовими для ефективної доставки ресурсів у кризових умовах, де ситуація може швидко змінюватися. Вони дозволяють оперативно реагувати на непередбачувані обставини, такі як руйнування інфраструктури або блокування шляхів. Завдяки гнучкому управлінню маршрутами та транспортними засобами, ці системи можуть швидко перебудовувати логістичні процеси, забезпечуючи безперервність постачання. У разі зміни ситуації, ресурси можна швидко перенаправити до безпечніших регіонів або використати альтернативні види транспорту, мінімізуючи затримки.

1.3 Оцінка інформаційно-аналітичного забезпечення для оптимізації гуманітарних потоків під час воєнного стану

Математичні моделі для оптимізації логістичних потоків є потужним інструментом для ефективного управління логістичними операціями, особливо в кризових умовах, де традиційні методи можуть не забезпечити достатньої гнучкості або швидкості. Застосування таких моделей дає змогу оптимізувати постачання ресурсів, знижувати витрати на транспортування та зменшувати час доставки, враховуючи обмеження, такі як зруйнована інфраструктура, блоковані маршрути та зміни в попиті на гуманітарну допомогу [25].

Основним завданням математичних моделей в логістичній оптимізації є визначення найефективніших маршрутів для транспортування вантажів між різними пунктами. Це дозволяє мінімізувати витрати на транспортування та

зберігання, а також покращити час доставки, що є критично важливим у кризових ситуаціях, коли швидкість реакції та надійність операцій є пріоритетними.

Однією з основних моделей є моделі лінійного програмування, які використовуються для оптимізації потоків вантажів у заданих умовах. У таких моделях часто формується цільова функція, яка мінімізує сумарні витрати на транспортування товарів або ресурсів, з урахуванням обмежень, пов'язаних з доступною транспортною інфраструктурою, складськими потужностями та іншими факторами. Наприклад, якщо необхідно транспортувати гуманітарну допомогу з кількох центрів до різних регіонів, модель лінійного програмування може розв'язати задачу, яка визначає найкращий шлях для мінімізації витрат, враховуючи пропускну здатність кожного з маршрутів.

Моделі мінімізації витрат на транспортування з урахуванням обмежень на пропускну здатність є дуже корисними для оптимізації логістичних потоків у кризових умовах. Наприклад, у разі обмеженого доступу до транспорту чи наявності заблокованих або зруйнованих шляхів, ці моделі дозволяють адаптувати логістичні стратегії так, щоб максимально ефективно використовувати наявні ресурси. Для вирішення таких задач зазвичай використовують методи лінійного програмування, які дозволяють сформулювати проблему як задачу з обмеженнями на пропускну здатність транспортних шляхів та інші фактори [26].

Моделі двоетапної доставки є наступним важливим інструментом для вирішення складних логістичних задач, коли вантажі потрібно доставити через кілька проміжних логістичних центрів. У таких моделях оптимізація здійснюється на двох етапах: першому – від початкової точки до проміжного логістичного центру, і другому – від цього центру до кінцевого пункту споживання. Це дає можливість врахувати зміни у стані транспортних шляхів, перебої в постачаннях або зниження пропускну здатності через зруйновану інфраструктуру.

Математична модель двоетапної доставки може бути представлена таким чином (1.1) [27]:

$$\min \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^n x_{ij} y_{jl} (f(s_i, c_j) + g(c_j, d_l)) \quad (1.1)$$

де $f(s_i, c_j)$ – витрати на транспортування між початковим пунктом i логістичним центром;

$g(c_j, d_l)$ – витрати між центром i кінцевим пунктом;

x_{ij} – кількість вантажів, які відправляються від пункту i до центру j ;

y_{jl} – кількість вантажів, які транспортуються від центру j до кінцевого пункту l .

Ці моделі дозволяють не лише мінімізувати витрати, але й адаптувати доставку до змін у доступності ресурсів або інфраструктури, що є важливим під час кризових ситуацій, коли ситуація на фронті або в інших регіонах може змінюватися в будь-який момент.

Ще однією важливою складовою оптимізації логістичних потоків є моделювання ризиків, зокрема оцінка ризику на маршрутах транспортування. У кризових умовах, коли інфраструктура може бути пошкоджена або заблокована, а безпека транспорту під загрозою, необхідно враховувати ймовірність ризику на кожному з маршрутів [28]. Це можна зробити за допомогою експоненціальних функцій, які зменшують ефективність потоку залежно від рівня ризику на маршруті. Наприклад, експоненціальні функції можуть бути включені в модель для врахування ризиків на маршруті, що зменшують загальний потік ресурсів через небезпечні зони.

Математична модель, яка включає оцінку ризиків, може мати вигляд (1.2):

$$y_{ij}(t) = \frac{a_{ij}(x_i(t), x_j(t))}{1 + e^{(ar_{ij}(t))}} \quad (1.2)$$

де $a_{ij}(x_i(t), x_j(t))$ – функція, що описує залежність потоку від кількості запасів в пунктах i і j ;

$e^{(ar_{ij}(t))}$ – експоненційна функція ризику, яка зменшує потік при підвищенні ризику на маршруті;

α – коефіцієнт чутливості потоку до ризику.

Це дозволяє коригувати логістичні потоки в реальному часі, реагуючи на зміни в стані інфраструктури або на нові загрози, що виникають під час кризової ситуації.

Використання таких математичних моделей для оптимізації логістичних потоків у кризових умовах дає змогу не тільки знизити витрати на транспортування, але й підвищити гнучкість і адаптивність логістичних операцій. Це критично важливо для гуманітарної логістики, де оперативність доставки може визначити життя людей, а точність і ефективність прийнятих рішень впливають на стабільність і безпеку в умовах невизначеності.

Інтеграція методів машинного навчання в оптимізацію логістичних потоків є потужним інструментом для покращення ефективності управління ланцюгами постачання, особливо в умовах кризових ситуацій. Коли традиційні підходи не можуть адаптуватися до швидко змінюваних умов, методи машинного навчання дозволяють автоматично реагувати на зміни в даних, обробляти великі обсяги інформації та прогнозувати майбутні події. Це робить МН особливо корисним для кризової логістики, де ситуація може змінюватися буквально за кілька годин або хвилин [29].

Одним із основних напрямків використання машинного навчання в кризовій логістиці є прогнозування потреб у гуманітарній допомозі. У традиційних моделях прогнозування важко врахувати всі змінні, які можуть вплинути на попит в умовах війни, природних катастроф або інших кризових ситуацій. Машинне навчання дозволяє створювати адаптивні моделі, які здатні враховувати численні фактори, такі як географічне розташування, соціально-економічну ситуацію, рівень безпеки на маршрутах і постійно змінювані потреби в різних регіонах. Це забезпечує точніші прогнози і дозволяє своєчасно коригувати логістичні стратегії.

Зокрема, моделі глибокого навчання можуть аналізувати великі масиви даних, що надходять із різних джерел, таких як соціальні мережі, мобільні додатки для моніторингу потреб, а також дані з місцевих органів влади. Це дозволяє оцінювати реальні потреби населення в різних регіонах, прогнозувати запити на гуманітарну

допомогу та адаптувати логістичні маршрути відповідно до змінюваних умов. Таким чином, машинне навчання дає змогу прогнозувати та реагувати на потреби набагато швидше і точніше, ніж традиційні методи, що є критично важливим для ефективного забезпечення гуманітарними ресурсами.

Ще однією важливою сферою застосування машинного навчання в кризовій логістиці є оптимізація маршрутів доставки. В умовах обмежених ресурсів та зруйнованої інфраструктури, де традиційні методи планування часто виявляються неефективними, МН дозволяє постійно коригувати маршрути на основі нових даних. Алгоритми машинного навчання, такі як нейронні мережі або методи градієнтного бустингу, можуть на основі поточної ситуації змінювати маршрути доставки, враховуючи не тільки доступність шляхів, але й ризики, наприклад, можливі обстріли або блокування маршрутів. Це дозволяє максимально ефективно використовувати доступні ресурси, мінімізуючи затримки та витрати на транспортування.

Машинне навчання також дозволяє створювати адаптивні системи управління логістикою, які постійно оновлюються на основі нових даних, що надходять у реальному часі [30]. Це дає змогу оперативно реагувати на зміни в політичній ситуації, блокування транспортних шляхів або навіть зростання попиту на гуманітарну допомогу в конкретних регіонах. Наприклад, використання алгоритмів машинного навчання дозволяє швидко і точно перенаправити потоки товарів, вибираючи найбільш безпечні і швидкі маршрути. Системи, засновані на МН, можуть автоматично коригувати свої стратегії, що дозволяє забезпечити безперебійне постачання навіть в умовах, коли інфраструктура постійно змінюється.

Отже, інтеграція методів машинного навчання в управління логістичними потоками в кризових умовах дозволяє підвищити ефективність і гнучкість логістичних операцій, знижуючи витрати та покращуючи швидкість доставки гуманітарної допомоги. Машинне навчання дає змогу краще реагувати на зміни, прогнозувати потреби та оптимізувати використання ресурсів, що робить його

важливим інструментом для забезпечення стійкості гуманітарних і економічних операцій у складних умовах.

У кризових умовах управління логістикою стає особливо важливим, оскільки підприємства стикаються з обмеженими ресурсами та необхідністю швидкого реагування на зміни в попиті. Мінімізація витрат є ключовим аспектом, який можна реалізувати за допомогою різних математичних моделей.

Модель оптимізації витрат:

Нехай C – це загальні витрати на логістику, які складаються з витрат на транспортування, зберігання та обробку товарів. Загальна модель витрат може бути представлена у вигляді (1.3):

$$C = C_t + C_s + C_o \quad (1.3)$$

де C_t – витрати на транспортування;

C_s – витрати на зберігання;

C_o – витрати на обробку.

Витрати на транспортування

Витрати на транспортування можуть бути представлені через модель, що враховує відстань та обсяги перевезень (1.4):

$$C_t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1.4)$$

де d_{ij} – витрати на транспортування одиниці товару з джерела i до споживача j ;

x_{ij} – кількість товару, що транспортується з джерела i до споживача j .

Витрати на зберігання

Витрати на зберігання можуть бути представлені через модель, що враховує обсяги товарів та тривалість зберігання (1.5):

$$C_s = h \cdot \sum_{k=1}^p Q_k \quad (1.5)$$

де h – витрати на зберігання одиниці товару за одиницю часу;

Q_k – кількість товару типу k , що зберігається.

Витрати на обробку

Витрати на обробку можуть бути представлені через модель, що враховує кількість оброблених одиниць товару (1.6):

$$C_o = \sum_{k=1}^p f_k \cdot n_k \quad (1.6)$$

де f_k – витрати на обробку одиниці товару типу k ;

n_k – кількість товару типу k .

Загальна модель мінімізації витрат

Об'єднавши всі компоненти, ми можемо сформулювати задачу мінімізації витрат (1.7):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij} + C_s = h \cdot \sum_{k=1}^p Q_k + \sum_{k=1}^p f_k \cdot n_k \rightarrow \min \quad (1.7)$$

При цьому необхідно враховувати обмеження (1.8), такі як:

Обмеження на ресурси:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \quad (1.8)$$

де a_i – доступні ресурси на джерелі i .

Обмеження на попит (1.9):

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j \quad \forall j \quad (1.9)$$

де b_j – попит споживача j .

Невід'ємність (1.10):

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i,j \quad (1.10)$$

Мінімізація витрат у кризових умовах є важливим аспектом управління логістикою. Використання адаптованих математичних моделей дозволяє підприємствам ефективно планувати та реалізовувати логістичні операції, що є критично важливим для забезпечення швидкого реагування на потреби в умовах кризи. Ці моделі допомагають знизити витрати та підвищити ефективність, що є ключовим для виживання та розвитку бізнесу в умовах нестабільності.

Висновки до першого розділу

Аналіз логістичних викликів в умовах війни дозволяє зробити висновок про значний вплив бойових дій на ефективність гуманітарних операцій. Серед основних проблем виділяються руйнування інфраструктури, блокування шляхів, небезпека для транспортування вантажів та складнощі з координацією між сторонами. Однак, застосування математичних моделей дозволяє суттєво підвищити ефективність управління логістичними потоками, особливо в умовах кризи.

Зруйнована інфраструктура, зокрема мости, дороги, залізничні шляхи, суттєво ускладнює логістичні операції та змушує використовувати альтернативні маршрути, що подовжує час доставки і збільшує витрати. Блокування морських портів змушує перевести вантажопотоки на менш ефективні річкові маршрути, що знижує пропускну здатність і підвищує витрати на транспортування. Небезпека для транспорту, зокрема обстріли та мінування, створює додаткові ризики і потребує особливих заходів безпеки, таких як броньовані транспортні засоби та військовий супровід.

Гуманітарні коридори, створені для забезпечення безпеки доставки вантажів, показали свою ефективність, але їх функціонування залежить від дотримання угод про припинення вогню та міжнародної координації. Незважаючи на всі труднощі, використання математичних моделей оптимізації дозволяє підвищити ефективність логістичних операцій, мінімізувати витрати та ризики, а також забезпечити швидкість і надійність постачання життєво важливих ресурсів.

Математичні моделі, такі як моделі лінійного програмування та моделі мінімізації витрат, грають вирішальну роль у вирішенні логістичних задач в умовах війни. Вони дозволяють оптимізувати маршрути транспортування, мінімізувати витрати на доставку і ефективно використовувати доступні ресурси. Зокрема, моделі мінімізації витрат з урахуванням обмежень на пропускну спроможність допомагають знаходити найкращі маршрути для транспортування гуманітарних вантажів, враховуючи зруйновану інфраструктуру та можливі затори на шляхах.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКІВ ТА МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ

2.1 Оцінка чинників впливу на організацію гуманітарних логістичних операцій

Перш за все хотілося б розглянути детально ключові показники гуманітарної ситуації в Україні.

Гуманітарна ситуація в Україні у серпні-вересні 2024 року значно погіршилася через посилення бойових дій на північному сході, сході та півдні країни. Згідно з даними Моніторингової місії ООН з прав людини в Україні, у вересні було підтверджено понад 1400 випадків загибелі та поранень цивільного населення, що стало найвищим показником з початку повномасштабного вторгнення. Значні руйнування зазнали об'єкти критичної інфраструктури, включно з житловими будинками, лікарнями, школами, а також об'єктами життєзабезпечення, такими як системи водо- та електропостачання. Такі обставини створили безпрецедентні виклики для гуманітарної логістики, яка потребує динамічного планування, адаптації до ризиків та ефективного управління ресурсами (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Ключові показники гуманітарної ситуації в Україні

Джерело: [31]

Ескалація бойових дій значно збільшила гуманітарні потреби, особливо у прифронтових районах Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Харківської та

Херсонської областей. Населення цих регіонів стикається з критичними умовами життя, які загострюються через зруйновану інфраструктуру та очікувані низькі температури. Особливої уваги потребує медична сфера: у Донецькій області переміщення лікарень створило значні проблеми з доступом до медичної допомоги, що вимагає оптимізації маршрутів для доставки медикаментів та забезпечення доступу до мобільних медичних бригад.

Освітня сфера також перебуває під тиском. Через часті відключення електроенергії діти у прифронтових районах мають обмежений доступ до дистанційного навчання. Це вимагає розробки економічно обґрунтованих стратегій для створення альтернативних освітніх платформ, зокрема використання мобільних навчальних центрів із автономними джерелами живлення.

Урядова ініціатива щодо розширення зон евакуації вимагає детального моделювання логістичних потоків. Зокрема, у Донецькій області кількість людей, які залишають небезпечні зони, у вересні досягла понад 1 000 осіб на день. Це створює підвищене навантаження на транспортну інфраструктуру та потребує ефективного управління евакуаційними маршрутами (рис. 2.2).

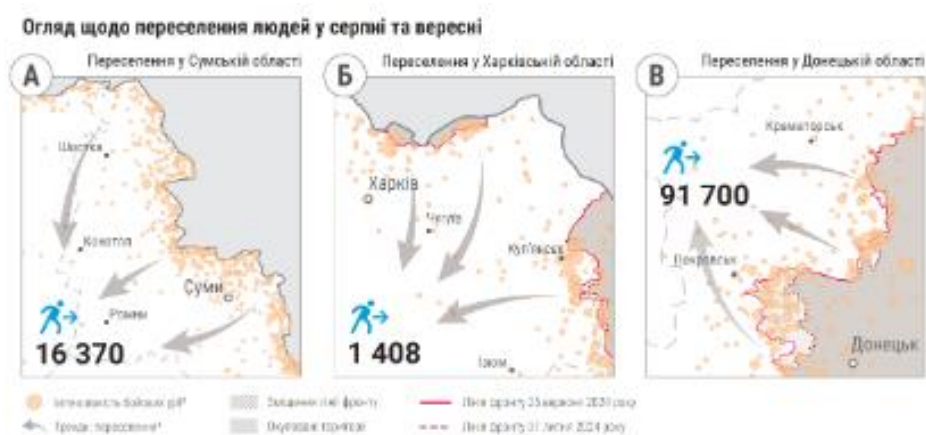


Рисунок 2.2 – Огляд вимушеного переміщення людей у серпні та вересні 2024 року

Джерело: [32]

Евакуаційні заходи, зокрема з Покровська, що зазнав суттєвого скорочення населення з 70 000 до 16 000 осіб, демонструють, як логістична система має швидко адаптуватися до змін умов на місцях. Оцінка витрат на евакуацію, зокрема витрат

на транспорт, забезпечення їжею, водою та тимчасовим житлом, вимагає інтеграції економічних моделей з реальними даними для прогнозування потреб і ризиків.

У Харківській та Херсонській областях евакуація триває через активізацію бойових дій, і вона супроводжується численними викликами, зокрема безпековими. Економічне моделювання має враховувати ці ризики для оптимізації витрат і забезпечення максимальної ефективності допомоги.

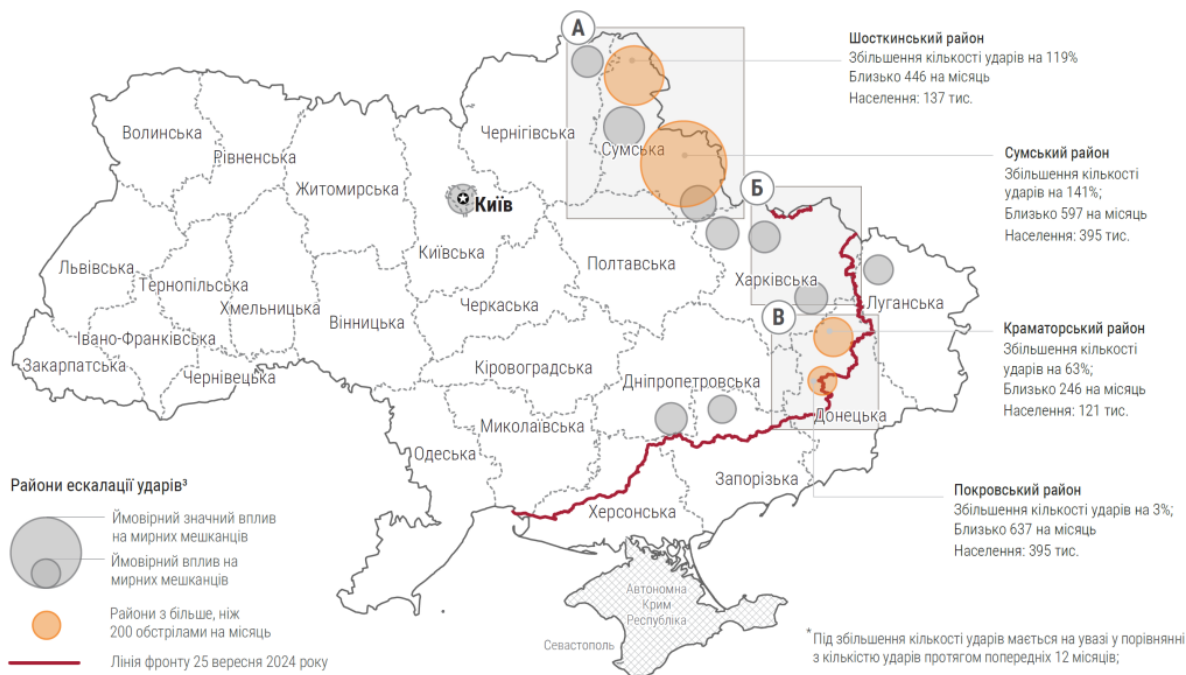


Рисунок 2.3 – Інтенсивність бойових дій у серпні та вересні та їх потенційний вплив на цивільне населення

Джерело: [32]

Протягом липня та серпня 2024 року можливості надання гуманітарної допомоги в Україні значно звузилися через підвищені ризики безпеки для гуманітарних співробітників. За цей період було зафіксовано 16 інцидентів, пов'язаних із загибеллю або пораненнями працівників гуманітарних організацій та пошкодженням їх активів. У Херсонській області під час виконання службових обов'язків загинули двоє гуманітарних співробітників, а четверо отримали поранення. Аналіз цих подій свідчить про концентрацію ризиків у межах п'ятикілометрової зони від лінії фронту, де гуманітарна діяльність вимагає додаткових заходів безпеки та ретельного планування.

Пошкодження матеріальних ресурсів гуманітарних організацій також становить значний виклик. У серпні внаслідок обстрілів у Сумській області були пошкоджені два службових автомобілі, а в Покровську – транзитний центр для переміщених осіб. Руйнування офісів і складів, подовження комендантської години та перекриття доріг через бойові дії ускладнили логістичні операції, що потребує переоцінки ризиків і пошуку альтернативних маршрутів доставки допомоги.

У місті Покровськ, яке довгий час було ключовим гуманітарним центром для Донецької області, ситуація значно ускладнилася через наближення лінії фронту. У липні населення міста становило 52 000 осіб, але через ескалацію бойових дій, яка зменшила відстань до лінії фронту з 23 км до 8 км, чисельність жителів скоротилася до 26 000 станом на вересень. Це призвело до переміщення гуманітарних організацій та скорочення доступу до соціальних послуг. Ситуація в Покровську демонструє вплив інтенсивності бойових дій на міграційні потоки та необхідність адаптації гуманітарної логістики до зменшення чисельності населення в прифронтових районах.

У прифронтових районах Донецької та Херсонської областей гуманітарні організації стикалися з труднощами через зміну контролю над територіями, посилення обстрілів і високі ризики для роботи у громадах вздовж Дніпра. Водночас у Сумській області збільшення атак не мало критичного впливу на доступ, але змусило організації адаптувати свої операції відповідно до нових умов.

У 20-кілометровій прикордонній зоні Сумської області було запроваджено обмеження на пересування цивільного населення, що вплинуло на планування гуманітарних операцій. Проте система моніторингу не зафіксувала значних обмежень для гуманітарного доступу, що свідчить про ефективну координацію між організаціями та владою в регіоні.

Мобілізаційні процеси залишаються фактором, який негативно впливає на діяльність гуманітарних організацій. Хоча у липні та серпні було зареєстровано лише 13 і 4 випадки, пов'язані з мобілізацією, порівняно з 31 у червні, ця тенденція все ще створює низку труднощів. Зокрема, мобілізація співробітників спричиняє

затримки у реалізації проєктів, зменшення кількості отримувачів допомоги та дефіцит кадрів.

Урядові ініціативи, такі як визнання українських неурядових організацій "критично важливими" та можливість бронювання співробітників, дозволяють частково зменшити вплив мобілізації на гуманітарну діяльність. Проте це потребує інтеграції цих змін у стратегічне планування гуманітарної логістики для забезпечення стабільності в реалізації програм (рис. 2.4).

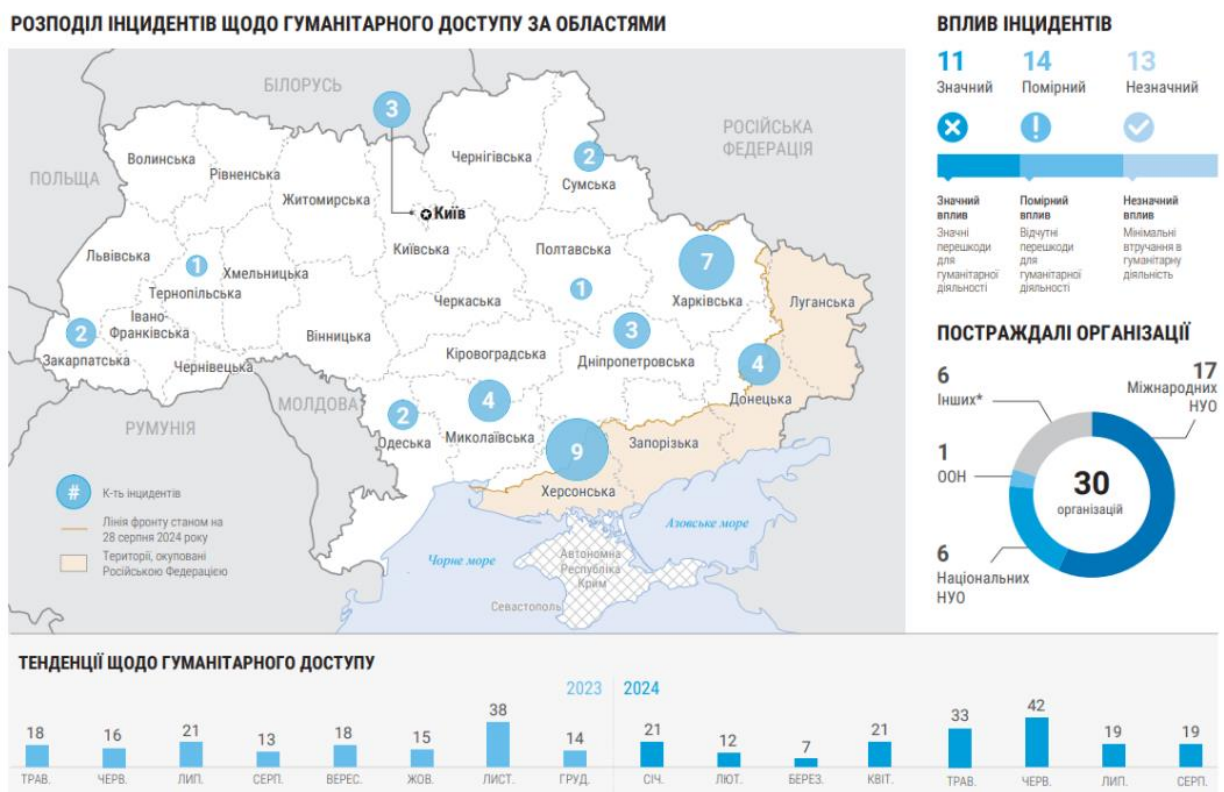


Рисунок 2.4 – Тенденції щодо гуманітарного доступу
(липень - серпень 2024 року)

Джерело: [33-34]

У вересні 2024 року безперервні обстріли спричинили суттєве погіршення гуманітарної ситуації по всій Україні. Зафіксовано майже 1 500 жертв серед мирного населення, що стало найбільшим показником за місяць з початку року. Інтенсивні бойові дії зруйнували життя мешканців прифронтових громад, загострюючи потребу в гуманітарній підтримці. Основними напрямками допомоги стали охорона здоров'я, освіта, соціально-правовий захист, а також забезпечення

базових умов для життя через ремонт пошкодженого житла, надання тимчасового прихистку, доступ до водопостачання, санітарії та гігієни.

За перші три квартали 2024 року гуманітарні організації охопили підтримкою 7,2 мільйона людей. Основну частину з них становили жінки (60 %) та люди літнього віку (35 %). Близько 20 % отримувачів допомоги – діти, а 12 % – люди з інвалідністю. Високі темпи надання допомоги, зокрема внутрішньо переміщеним особам (1,7 млн) і тим, хто повернувся додому (1,1 млн), свідчать про масштабність гуманітарної кризи (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Дані щодо гуманітарного реагування в Україні з січня по вересень 2024 року

Джерело: [35]

Ключовими напрямками допомоги стали:

- Послуги водопостачання, санітарії та гігієни: отримали 5,8 мільйона осіб, зокрема мешканці прифронтових територій.
- Продовольча підтримка та засоби до існування: 3 мільйони людей отримали допомогу, що забезпечило їх базові потреби в умовах руйнування локальних економік.
- Медичні послуги: надали 2 мільйонам осіб.
- Матеріали для екстреного ремонту та предмети домашнього вжитку: отримали 1,3 мільйона осіб.
- Консультавання та правова допомога: надано для 1,3 мільйона дітей та їхніх опікунів.
- Протимінна діяльність: охоплено 1,2 мільйона осіб через інформування та навчання.

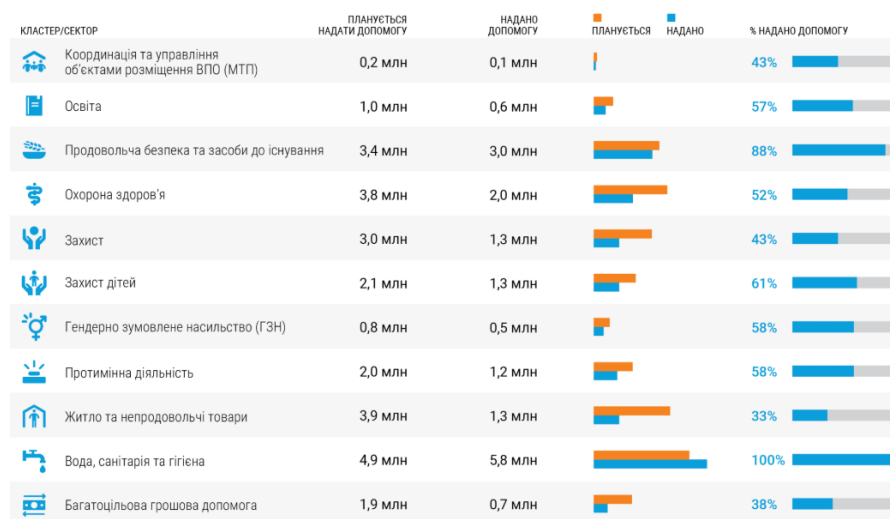


Рисунок 2.6 – Розподіл людей, яким надано допомогу, за кластерами
Джерело: [34-35]

У сфері фінансової підтримки виділено багатоцільову грошову допомогу для 700 000 людей. Освітня підтримка, що охопила 600 000 дітей та вчителів, забезпечила умови для продовження навчання в умовах війни.

Відповідно до Плану реагування, з вересня розпочалася доставка зимової допомоги. Станом на кінець місяця понад 26 000 осіб отримали матеріали для опалення, зимовий одяг, ремонтні матеріали та інші життєво необхідні товари. Це сприяло забезпеченню базових умов для виживання вразливих груп населення в холодні місяці.

Гуманітарні організації активно використовують міжвідомчі конвої для доставки допомоги в найбільш постраждалі регіони – Донецьку, Запорізьку, Харківську та Херсонську області. За період з січня по вересень здійснено 34 конвої, з яких 6 було проведено у вересні. Вони доставили життєво важливі ресурси для 10 000 людей, включаючи теплі ковдри, гігієнічні засоби, медикаменти та зимове спорядження.

Попри активність понад 600 організацій, які працюють у системі координації гуманітарної допомоги, фінансування залишається критично недостатнім. Із необхідних 3,11 млрд доларів США для виконання Плану гуманітарних потреб та реагування на 2024 рік зібрано менше половини. Додаткове фінансування є життєво важливим для продовження надання допомоги найбільш вразливим категоріям

населення та забезпечення довгострокової стійкості гуманітарних програм (рис. 2.7).

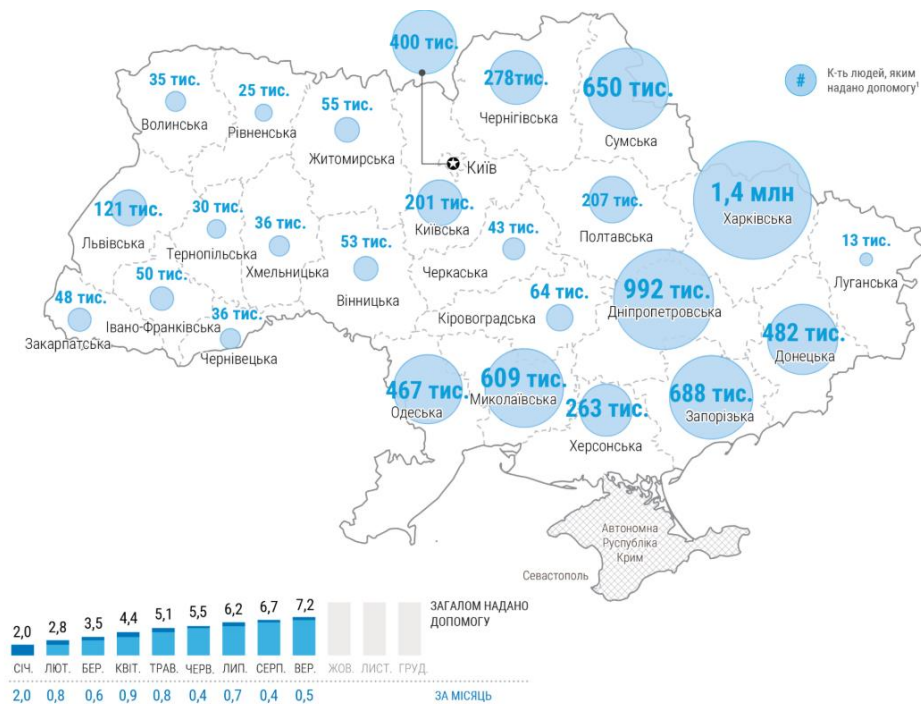


Рисунок 2.7 – Розподіл людей, яким надано допомогу, за областями
Джерело: [36]

2.2 Діагностична аналітика ефективності гуманітарної логістики та впливу кризових факторів

Розглянемо дані для першої частини оптимізаційного моделювання потоків.

Початкові запаси для кожного із міст:

Київ (розподільчий центр):

Початкові запаси:

Продукти харчування: 2000 т

Медичні засоби: 100 т

Вода: 1 000 000 л

Будівельні матеріали: 500 т

Київ не має значних гуманітарних потреб у порівнянні з іншими містами. Він лише постачає інші міста, але має запаси для незначних потреб у разі великих евакуацій.

Львів (розподільчий центр):

Початкові запаси:

Продукти харчування: 1500 т

Медичні засоби: 80 т

Вода: 800 000 л

Будівельні матеріали: 400 т

Львів має певні потреби у випадку притоку людей, але здебільшого є пунктом транзиту для постачання в інші регіони.

Дніпро (розподільчий центр):

Початкові запаси:

Продукти харчування: 1000 т

Медичні засоби: 60 т

Вода: 500 000 л

Будівельні матеріали: 300 т

Також є важливим розподільчим центром, постачаючи допомогу в прифронтові міста, але також має потреби для місцевого населення.

Харків (розподільчий центр):

Початкові запаси:

Продукти харчування: 1200 т

Медичні засоби: 75 т

Вода: 600 000 л

Будівельні матеріали: 350 т

Харків має велику кількість евакуйованих, тому потребує гуманітарної допомоги, хоча також є важливим хабом для логістики.

Полтава (розподільчий центр):

Початкові запаси:

Продукти харчування: 1500 т

Медичні засоби: 80 т

Вода: 800 000 л

Будівельні матеріали: 400 т

Полтава також виконує функцію розподільчого центру, де основні гуманітарні потреби не є значними, оскільки місто здебільшого постачає інші міста, але має запаси для підтримки у разі великих евакуацій.

Оскільки міста Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ та Гуляйполе знаходяться в безпосередній близькості до лінії фронту, їхні потреби є значними.

Куп'янськ:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 500 т

Медичні засоби: 20 т

Вода: 200 000 л

Будівельні матеріали: 150 т

Потреби (щомісяця):

Чисельність населення: Приблизно 27 000 осіб до бойових дій, наразі населення зменшене до 15,000 осіб через евакуацію.

Продовольча допомога:

Обсяг: Для 15 000 осіб.

Типи допомоги: Консервація, сухі продукти, воду в пляшках.

Одиниці виміру: Кількість продуктових наборів або вага (т).

Обсяг доставки: $15,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ кг/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 900\,000 \text{ кг (900 т)}$
на місяць.

Медична допомога:

Обсяг: Лікарські засоби та медичні матеріали для 3 000 осіб.

Типи допомоги: Перев'язувальні матеріали, медикаменти, вакцини.

Одиниці виміру: Літри/упаковки медикаментів, кількість аптек.

Обсяг доставки: Для 3 000 осіб ≈ 15 т медикаментів (залежно від упаковки та вимог).

Вода та гігієна:

Обсяг: Вода для 15 000 осіб.

Типи допомоги: Питна вода в пляшках або в контейнерах.

Одиниці виміру: Літри води.

Обсяг доставки: $15\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ л/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 900\,000 \text{ л}$ води на місяць.

Житло:

Обсяг: Потреба в 10 000 одиницях матеріалів для ремонту.

Типи допомоги: Пластикові тенти, будівельні матеріали для тимчасових споруд.

Одиниці виміру: Кількість будівельних матеріалів (метри квадратні).

Обсяг доставки: 500 т на місяць.

Слов'янськ:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 600 т

Медичні засоби: 30 т

Вода: 300 000 л

Будівельні матеріали: 200 т

Потреби (щомісяця):

Чисельність населення: З початкових 110 000 осіб залишилось приблизно 70 000.

Продовольча допомога:

Обсяг: Для 50 000 осіб.

Типи допомоги: Продукти харчування, дитяче харчування, вода.

Одиниці виміру: Кількість продуктових наборів або вага (т).

Обсяг доставки: $50\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ кг/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 3\,000\,000 \text{ кг}$ (3000 т) на місяць.

Обсяг: Лікарські засоби для 7000 осіб.

Типи допомоги: Перев'язувальні матеріали, медикаменти, вакцини.

Одиниці виміру: Літри/упаковки медикаментів.

Обсяг доставки: Для 7000 осіб ≈ 30 тон медикаментів.

Вода та гігієна:

Обсяг: Вода для 60 000 осіб.

Типи допомоги: Питна вода в пляшках або в контейнерах.

Одиниці виміру: Літри води.

Обсяг доставки: $60\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ л/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 3\,600\,000 \text{ л води}$
на місяць.

Житло:

Обсяг: Потреба в 30 000 одиницях матеріалів для ремонту.

Типи допомоги: Пластикові тенти, будівельні матеріали для тимчасових споруд.

Одиниці виміру: Кількість будівельних матеріалів.

Обсяг доставки: 1 500 т на місяць.

Краматорськ:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 700 т

Медичні засоби: 35 т

Вода: 400 000 л

Будівельні матеріали: 250 т

Потреби (щомісяця):

Чисельність населення: 3 початкових 150 000 осіб залишилось
близько 90 000.

Продовольча допомога:

Обсяг: Для 60 000 осіб.

Типи допомоги: Продукти харчування, вода.

Одиниці виміру: Кількість продуктових наборів або вага (т).

Обсяг доставки: $60\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ кг/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 3\,600\,000 \text{ кг}$
(3600 т) на місяць.

Медична допомога:

Обсяг: Лікарські засоби для 5000 осіб.

Типи допомоги: Перев'язувальні матеріали, медикаменти, вакцини.

Одиниці виміру: Літри/упаковки медикаментів.

Обсяг доставки: Для 5000 осіб \approx 25 т медикаментів.

Вода та гігієна:

Обсяг: Вода для 80 000 осіб.

Типи допомоги: Питна вода в пляшках або в контейнерах.

Одиниці виміру: Літри води.

Обсяг доставки: $80\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ л/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 4\,800\,000 \text{ л}$ води на місяць.

Житло:

Обсяг: Потреба в 40 000 одиницях матеріалів для ремонту.

Типи допомоги: Пластикові тенти, будівельні матеріали для тимчасових споруд.

Одиниці виміру: Кількість будівельних матеріалів.

Обсяг доставки: 2000 т на місяць.

Покровськ:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 400 т

Медичні засоби: 15 т

Вода: 150 000 л

Будівельні матеріали: 100 т

Потреби (щомісяця):

Чисельність населення: 3 52 000 осіб залишилось 26 000.

Продовольча допомога:

Обсяг: Для 20 000 осіб.

Типи допомоги: Продукти харчування, вода.

Одиниці виміру: Кількість продуктових наборів або вага (ти).

Обсяг доставки: $20\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ кг/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 1\,200\,000 \text{ кг}$ (1200 т) на місяць.

Медична допомога:

Обсяг: Лікарські засоби для 3000 осіб.

Типи допомоги: Перев'язувальні матеріали, медикаменти, вакцини.

Одиниці виміру: Літри/упаковки медикаментів.

Обсяг доставки: Для 3000 осіб \approx 15 т медикаментів.

Вода та гігієна:

Обсяг: Вода для 25 000 осіб.

Типи допомоги: Питна вода в пляшках або в контейнерах.

Одиниці виміру: Літри води.

Обсяг доставки: $25\,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ л/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 1\,500\,000 \text{ л води}$
на місяць.

Житло:

Обсяг: Потреба в 15 000 одиницях матеріалів для ремонту.

Типи допомоги: Пластикові тенти, будівельні матеріали для тимчасових споруд.

Одиниці виміру: Кількість будівельних матеріалів.

Обсяг доставки: 750 т на місяць.

Гуляйполе:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 300 т

Медичні засоби: 10 т

Вода: 100 000 л

Будівельні матеріали: 50 т

Потреби (щомісяця):

Чисельність населення: Приблизно 10 000 осіб залишилось після бойових дій

Продовольча допомога:

Обсяг: Для 8 000 осіб.

Типи допомоги: Продукти харчування, вода.

Одиниці виміру: Кількість продуктових наборів або вага (т).

Обсяг доставки: $8,000 \text{ осіб} \times 2 \text{ кг/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 480\,000 \text{ кг (480 т)}$
на місяць.

Медична допомога:

Обсяг: Лікарські засоби для 2000 осіб.

Типи допомоги: Перев'язувальні матеріали, медикаменти, вакцини.

Одиниці виміру: Літри/упаковки медикаментів.

Обсяг доставки: Для 2000 осіб \approx 10 т медикаментів.

Вода та гігієна:

Обсяг: Вода для 8000 осіб.

Типи допомоги: Питна вода в пляшках або в контейнерах.

Одиниці виміру: Літри води.

Обсяг доставки: $8000 \text{ осіб} \times 2 \text{ л/особа/день} \times 30 \text{ днів} = 480\,000 \text{ л води}$
на місяць.

Житло:

Обсяг: Потреба в 5000 одиницях матеріалів для ремонту.

Типи допомоги: Пластикові тенти, будівельні матеріали для тимчасових споруд.

Одиниці виміру: Кількість будівельних матеріалів.

Обсяг доставки: 250 т на місяць.

Тепер визначимо ризики для кожного з маршрутів:

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку ризиків для кожного із маршрутів

Маршрут	Відстань	Рівень небезпеки (с)	Стан інфраструктури (s)
Харків - Куп'янськ	118	8	0.6
Харків - Слов'янськ	202	7	0.7
Харків - Краматорськ	215	8	0.6
Харків - Покровськ	351	7	0.5
Харків - Гуляйполе	358	9	0.4
Дніпро - Куп'янськ	327	7	0.7
Дніпро - Слов'янськ	274	6	0.8
Дніпро - Краматорськ	260	7	0.7
Дніпро - Покровськ	184	6	0.8
Дніпро - Гуляйполе	167	8	0.6
Полтава - Куп'янськ	280	6	0.8
Полтава - Слов'янськ	365	5	0.9

Продовження табл. 2.1

Маршрут	Відстань	Рівень небезпеки (с)	Стан інфраструктури (s)
Полтава - Краматорськ	377	6	0.8
Полтава - Покровськ	331	5	0.9
Полтава - Гуляйполе	338	7	0.7
Львів - Куп'янськ	1167	8	0.8
Львів - Слов'янськ	1222	7	0.6
Львів - Краматорськ	1208	8	0.8
Львів - Покровськ	1132	7	0.9
Львів - Гуляйполе	1111	9	0.8
Київ - Куп'янськ	626	7	0.9
Київ - Слов'янськ	677	6	0.7
Київ - Краматорськ	696	7	0.8
Київ - Покровськ	676	6	0.6
Київ - Гуляйполе	619	8	0.8

Джерело: розраховано автором на основі [37]

Таблиця 2.2 – Коефіцієнти швидкості реакції системи на різницю в запасах між пунктами

Маршрут	γ
Харків - Куп'янськ	1,50
Харків - Слов'янськ	1,60
Харків - Краматорськ	1,50
Харків - Покровськ	1,40
Харків - Гуляйполе	1,00
Дніпро - Куп'янськ	1,50
Дніпро - Слов'янськ	1,70
Дніпро - Краматорськ	1,60
Дніпро - Покровськ	1,40
Дніпро - Гуляйполе	1,20
Полтава - Куп'янськ	1,40
Полтава - Слов'янськ	1,80
Полтава - Краматорськ	1,70
Полтава - Покровськ	1,60
Полтава - Гуляйполе	1,50
Львів - Куп'янськ	1,3
Львів - Слов'янськ	1,6
Львів - Краматорськ	1,4
Львів - Покровськ	1,5

Продовження табл. 2.2

Маршрут	γ
Львів - Гуляйполе	1,4
Київ - Куп'янськ	1,5
Київ - Слов'янськ	1,2
Київ - Краматорськ	1,6
Київ - Покровськ	1,5
Київ - Гуляйполе	1,3

Джерело: розраховано автором на основі [37]

Розглянемо коефіцієнти для ризику:

- відстань між пунктами d_{ik} – це прямий фізичний фактор, який впливає на загальний ризик, оскільки чим більша відстань, тим більше можливих проблем на маршруті;

- рівень небезпеки c_{ik} – оцінка безпеки маршруту, де 1 означає безпечний шлях, а 10 – високий ризик (наприклад, з огляду на військові дії або інші загрози);

- стан інфраструктури s_{ik} – стан доріг, залізничних колій або інших транспортних шляхів. Поганий стан інфраструктури може значно збільшити час доставки та ризик нещасних випадків або поломок.

Коефіцієнт чутливості до ризику α :

Це коефіцієнт чутливості потоку до ризику. Він визначає, як сильно ризик впливає на зменшення потоку на маршруті. Чим більше значення α , тим чутливіший потік до збільшення ризику.

Для гуманітарних вантажів в умовах війни або катастроф α зазвичай має бути великим, щоб врахувати важливість безпеки на маршрутах.

Для нашої задачі оберемо значення на рівні 3.0.

Таким чином для нашої моделі оптимізації потоків коефіцієнти будуть дорівнювати:

- $w_1 = 0.4$;
- $w_2 = 0.4$;
- $w_3 = 0.2$;
- $\alpha = 3.0$ (чутливість потоку до ризику).

Тепер детальніше розглянемо дані необхідні для моделі мінімізації витрат. Вони будуть стосуватися поставок гуманітарної допомоги з Харкова, Полтави та Дніпра, до таких міст як Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ та Гуляйполе.

Перш за все розглянемо ціну за зберігання одиниці продукції.

Розрахуємо ціну за зберігання одиниці продукції для Харкова. Для цього потрібно розподілити вартість оренди складу пропорційно до обсягу кожної категорії товару.

Загальний обсяг (т):

Продукти харчування: 1200 т

Медичні засоби: 75 т

Вода: 600 000 л \approx 600 т (оскільки 1 літр води \approx 1 кг)

Будівельні матеріали: 350 т

Загальний обсяг продукції = 1200 + 75 + 600 + 350 = 2225 т

Ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т):

Ціна за оренду складу = 70 000 грн [38]

Тому ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т) буде:

$$\text{Ціна за зберігання одиниці продукції} = \frac{70\,000}{2225} \approx 31,5 \text{ грн/т}$$

Таким чином, ціна за зберігання одиниці продукції в Харкові становить приблизно 31,5 грн за т на місяць.

Розрахуємо ціну за зберігання одиниці продукції для Дніпра:

Загальний обсяг продукції:

Продукти харчування: 1000 т

Медичні засоби: 60 т

Вода: 500 000 л \approx 500 т (оскільки 1 літр води \approx 1 кг)

Будівельні матеріали: 300 т

Загальний обсяг продукції = 1000 + 60 + 500 + 300 = 1860 т

Ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т):

Оренда складу = 80 000 грн [39]

Тому ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т) буде:

$$\text{Ціна за зберігання одиниці продукції} = \frac{80\,000}{1860} \approx 43,0 \text{ грн/т}$$

Таким чином, ціна за зберігання одиниці продукції в Дніпрі становить приблизно 43 грн за т на місяць.

Розрахуємо ціну за зберігання одиниці продукції для Полтави:

Загальний обсяг продукції:

Продукти харчування: 1500 т

Медичні засоби: 80 т

Вода: 800 000 л \approx 800 т (оскільки 1 літр води \approx 1 кг)

Будівельні матеріали: 400 т

Загальний обсяг продукції = 1500 + 80 + 800 + 400 = 2780 т

Оренда складу = 35 000 грн [40]

Ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т) буде:

$$\text{Ціна за зберігання одиниці продукції} = \frac{35\,000}{2780} \approx 12,6 \text{ грн/т}$$

Ціна за зберігання одиниці продукції в Полтаві становить приблизно 12,6 грн за т на місяць.

Розрахунок для Львова:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 1500 т

Медичні засоби: 80 т

Вода: 800 000 л (\approx 800 т, оскільки 1 літр \approx 1 кг)

Будівельні матеріали: 400 т

Загальний обсяг = 1500 + 80 + 800 + 400 = 2780 т

Оренда складу = 45 000 грн [41]

Ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т) розраховується як:

$$\text{Ціна за зберігання одиниці продукції} = \frac{45\,000}{2780} \approx 16,2 \text{ грн/т}$$

Ціна за зберігання одиниці продукції в Львові складає 16,2 грн за т на місяць.

Розрахунок для Києва:

Початкові запаси:

Продукти харчування: 2000 т

Медичні засоби: 100 т

Вода: 1 000 000 л (≈ 1000 т, оскільки 1 літр ≈ 1 кг)

Будівельні матеріали: 500 т

Загальний обсяг = $2000 + 100 + 1000 + 500 = 3600$ т

Оренда складу = 80 000 грн [42]

Ціна за зберігання одиниці продукції (грн/т) розраховується як:

$$\text{Ціна за зберігання одиниці продукції} = \frac{80\,000}{3600} \approx 22,2 \text{ грн/т}$$

Ціна за зберігання одиниці продукції в Києві дорівнює 22,2 грн за т на місяць

Обсяг продукції на пункті ми дослідили раніше і дані можемо взяти із моделі про оптимізацію потоків:

Харків – 2225 т;

Дніпро – 1860 т;

Полтава – 2780 т;

Львів – 2780 т;

Київ – 3600 т.

Розглянемо витрати на одиницю транспортування між містами:

Згідно проаналізованого ринку ціна на перевезення становить мінімально 7000 грн, або 55 грн/км (якщо сума виходить більше 7000 грн) [43].

Тож за розрахунками отримали таку таблицю:

Таблиця 2.3 – Вартість перевезення між населеними пунктами, грн

Маршрут	Відстань, км	Ціна за 20 т фургон, грн
Харків - Куп'янськ	118	7000
Харків - Слов'янськ	202	11 110
Харків - Краматорськ	215	11 825
Харків - Покровськ	351	19 305
Харків - Гуляйполе	358	19 690

Продовження табл. 2.3

Дніпро - Куп'янськ	327	17 985
Дніпро - Слов'янськ	274	15 070
Дніпро - Краматорськ	260	14 300
Дніпро - Покровськ	184	10 120
Дніпро - Гуляйполе	167	9185
Полтава - Куп'янськ	280	15 400
Полтава - Слов'янськ	365	20 075
Полтава - Краматорськ	377	20 735
Полтава - Покровськ	331	18 205
Полтава - Гуляйполе	338	18 590
Львів - Куп'янськ	1167	64 185
Львів - Слов'янськ	1222	67 210
Львів - Краматорськ	1208	66 440
Львів - Покровськ	1132	62 260
Львів - Гуляйполе	1111	61 105
Київ - Куп'янськ	626	34 430
Київ - Слов'янськ	677	37 235
Київ - Краматорськ	696	38 280
Київ - Покровськ	676	37 180
Київ - Гуляйполе	619	34 045

Джерело: розраховано автором на основі [43]

Розпишемо інформацію про наявність ризиків:

1. Харків - Куп'янськ (ризик €):

Куп'янськ, що знаходиться на сході Харківської області, є близьким до зон бойових дій. Це означає, що маршрути в напрямку цього міста можуть бути небезпечними через постійні обстріли, а також можливі напади з боку російських сил. З огляду на це, ризик є високим [44].

2. Харків - Слов'янськ (ризик €):

Слов'янськ також знаходиться в зоні конфлікту на сході України, і хоча місто контролюється українськими військами, на шляху до нього можуть виникати обстріли та інші небезпеки. Цей маршрут потребує обережності через активні бойові дії в околицях.

3. Харків - Краматорськ (ризик є):

Краматорськ, разом із Слов'янськом, є важливим промисловим і адміністративним центром на сході. Маршрути до цього міста можуть бути небезпечними через можливі авіаудари, артилерійські обстріли та інші військові загрози.

4. Харків - Покровськ (ризик є):

Покровськ, який розташований на заході від Донбасу, є важливим транспортним вузлом. Через його розташування в зоні активних бойових дій ризик обстрілів та нападу зберігається на високому рівні.

5. Харків - Гуляйполе (ризик є):

Гуляйполе знаходиться в південній частині Запорізької області, де також активно проводяться бойові дії. Це створює високий ризик для транспортування, адже в цій місцевості можуть бути повітряні та артилерійські удари.

6. Дніпро - Куп'янськ (ризик є):

Оскільки Куп'янськ знаходиться в зоні бойових дій на сході, цей маршрут буде також небезпечним, із високим рівнем ризику обстрілів і атак, що мають місце на шляху.

7. Дніпро - Слов'янськ (ризик є):

Враховуючи, що цей маршрут проходить через території, які контролюються обома сторонами конфлікту, є ймовірність зустрічі з артилерійськими обстрілами або іншими небезпеками.

8. Дніпро - Краматорськ (ризик є):

Краматорськ продовжує залишатися в зоні активних бойових дій, що підвищує рівень ризику для транспортних маршрутів.

9. Дніпро - Покровськ (ризик є):

Покровськ, як один з важливих логістичних центрів, також знаходиться під загрозою через близькість до зони бойових дій, що створює високий рівень ризику на маршруті.

10. Дніпро - Гуляйполе (ризик є):

Гуляйполе є важливою точкою на південному сході, де ситуація на фронті залишається напруженою, з артилерійськими та ракетними ударами з обох сторін.

11. Полтава - Куп'янськ (ризик немає):

Полтава знаходиться далеко від основних ліній фронту, а Куп'янськ на даний момент менше під контролем ворога. Це робить цей маршрут менш небезпечним у порівнянні з іншими.

12. Полтава - Слов'янськ (ризик немає):

Полтава та Слов'янськ знаходяться на достатньо безпечному відстані один від одного. Хоча в Донбасі є ризик, обстріли та атаки на даний момент менш інтенсивні.

13. Полтава - Краматорськ (ризик немає):

Знову ж таки, хоча Краматорськ розташований в зоні бойових дій, маршрут від Полтави є менш небезпечним, оскільки місто має більше ресурсів для захисту своїх територій.

14. Полтава - Покровськ (ризик немає):

Як і в попередніх маршрутах, Полтава розташована досить далеко від активних бойових зон. Ризик є мінімальним, хоча можливі окремі загрози через артилерійські обстріли.

15. Полтава - Гуляйполе (ризик є):

Гуляйполе розташоване ближче до південних фронтових ліній і підпадає під ризик повітряних та артилерійських обстрілів, що підвищує рівень небезпеки.

16. Львів - Куп'янськ (ризик є):

Куп'янськ, який знаходиться на сході Харківської області, є важливим стратегічним містом, близьким до лінії фронту. Через свою близькість до зони бойових дій маршрут в цей регіон може бути небезпечним через постійні обстріли та ризик нападу з боку противника. Високий рівень ризику на цьому маршруті через бойові дії на сході України.

17. Львів - Слов'янськ (ризик є):

Слов'янськ знаходиться в зоні активних бойових дій на сході України. Хоча місто контролюється українськими військами, на шляху до нього можуть виникати

обстріли та атаки з боку противника. Ризик високий через можливі артилерійські обстріли та авіаудари, а також через відсутність стабільної безпеки на маршруті.

18. Львів - Краматорськ (ризик €):

Краматорськ – один із важливих промислових та адміністративних центрів на сході України, що знаходиться близько до лінії фронту. Ризики на цьому маршруті включають можливі авіаудари, артилерійські обстріли та атаки на транспортні засоби. Високий рівень небезпеки обумовлений активними бойовими діями в околицях міста.

19. Львів - Покровськ (ризик €):

Покровськ розташований в зоні активних бойових дій на сході Донбасу. Це важливий транспортний вузол, але через близькість до бойових дій маршрут може бути небезпечним. Високий рівень ризику пов'язаний з обстрілами, можливими атаками та нестабільною ситуацією на шляху до цього міста.

20. Львів - Гуляйполе (ризик €):

Гуляйполе знаходиться в південній частині Запорізької області, яка є частиною зони бойових дій. Це місто постійно знаходиться під загрозою артилерійських ударів та повітряних атак з обох сторін конфлікту. Високий рівень ризику через бойові дії, що можуть ускладнити доставку гуманітарної допомоги.

21. Київ - Куп'янськ (ризик €):

Куп'янськ знаходиться в зоні бойових дій на сході України, що робить даний маршрут високоризиковим. Потенційні загрози включають обстріли, атаки з боку російських сил та мінування територій. Високий рівень небезпеки через бойові дії, що тривають на сході.

22. Київ - Слов'янськ (ризик €):

Слов'янськ знаходиться в зоні активних бойових дій, що збільшує рівень небезпеки для транспортування. Хоча місто під контролем українських сил, маршрути через зону бойових дій можуть бути небезпечними через артилерійські обстріли, можливі мінування та повітряні удари.

23. Київ - Краматорськ (ризик €):

Краматорськ є важливим містом на сході України, розташованим в зоні бойових дій. Ризики на цьому маршруті включають можливі артилерійські обстріли, авіаудари та атаки з боку противника. Високий рівень ризику обумовлений близькістю до лінії фронту та активними військовими діями в околицях.

24. Київ - Покровськ (ризик є):

Покровськ розташований в зоні бойових дій на сході Донбасу. Це місто часто зазнає обстрілів та атак, що підвищує рівень небезпеки для перевезення гуманітарних вантажів. Небезпека на маршруті пов'язана з активними бойовими діями та мінуванням доріг.

25. Київ - Гуляйполе (ризик є):

Гуляйполе розташоване в південній частині Запорізької області, де ведуться активні бойові дії. Це місто є важливим пунктом, але маршрут до нього пов'язаний з високим рівнем ризику через постійні обстріли, повітряні удари та загрози з боку ворожих сил. Це один з найбільш небезпечних маршрутів для транспортування.

Проведемо також оцінку рівня небезпеки:

1. Харків - Куп'янськ (рівень небезпеки: 9):

Цей маршрут проходить через зону активних бойових дій, де вірогідність обстрілів, мінування територій і загроз з боку ворога є дуже високою. Рівень небезпеки є дуже високим, з оцінкою 9 з 10.

2. Харків - Слов'янськ (рівень небезпеки: 8):

Слов'янськ знаходиться в зоні активних бойових дій, хоча місто контролюється українськими військами. Небезпека пов'язана з можливими авіаударами, артилерійськими обстрілами та мінуванням доріг, що підвищує рівень небезпеки до 8.

3. Харків - Краматорськ (рівень небезпеки: 8):

Краматорськ знаходиться в безпосередній близькості до бойових дій на сході, тому рівень небезпеки також є високим. Висока ймовірність обстрілів, атак з повітря та мінування, що підвищує небезпеку на цьому маршруті.

4. Харків - Покровськ (рівень небезпеки: 7):

Хоча Покровськ розташований трохи західніше від зони активних бойових дій, через мінування території та регулярні артилерійські обстріли цей маршрут все ж не є повністю безпечним. Рівень небезпеки оцінюється на рівні 7.

5. Харків - Гуляйполе (рівень небезпеки: 9):

Гуляйполе знаходиться в зоні активних бойових дій, де вірогідність артилерійських ударів і мінування доріг дуже висока. Тому рівень небезпеки на цьому маршруті є максимальним і становить 9.

6. Дніпро - Куп'янськ (рівень небезпеки: 8):

Дніпро, хоча і знаходиться на значній відстані від безпосередніх бойових зон, маршрути до Куп'янська проходять через території, де можливі обстріли та атаки. Через мінування і небезпеку з боку артилерії, рівень небезпеки на цьому маршруті оцінюється на 8.

7. Дніпро - Слов'янськ (рівень небезпеки: 7):

Слов'янськ може бути піддається обстрілам, але сам маршрут через території, не найближчі до лінії фронту, має менший рівень небезпеки. Це знижує оцінку до 7 з 10.

8. Дніпро - Краматорськ (рівень небезпеки: 8):

Дніпро розташований на відстані від активних бойових дій, але транспортні шляхи до Краматорська можуть проходити через зони, де є обстріли та мінування. Рівень небезпеки оцінюється на рівні 8.

9. Дніпро - Покровськ (рівень небезпеки: 7):

Покровськ може бути під загрозою обстрілів, але цей маршрут менш небезпечний, оскільки розташований трохи далі від активних бойових дій. Оцінка рівня небезпеки на цьому маршруті становить 7.

10. Дніпро - Гуляйполе (рівень небезпеки: 9):

Гуляйполе знаходиться в зоні бойових дій, де ймовірність обстрілів, атак з повітря та мінування території є дуже високою. Рівень небезпеки на цьому маршруті оцінюється як 9.

11. Полтава - Куп'янськ (рівень небезпеки: 6):

Полтава розташована далеко від активних бойових дій, однак маршрут до Куп'янська проходить через зону, де можуть бути небезпеки через обстріли та мінування. Рівень небезпеки оцінюється на 6.

12. Полтава - Слов'янськ (рівень небезпеки: 6):

Хоча Полтава віддалена від активних бойових дій, маршрут до Слов'янська проходить через зону, де можуть бути обстріли, але загальний рівень небезпеки на маршруті зберігається на рівні 6.

13. Полтава - Краматорськ (рівень небезпеки: 7):

Краматорськ є важливим стратегічним центром, і через близькість до зони бойових дій, транспортні шляхи до нього можуть бути небезпечними через артилерійські обстріли. Оцінка небезпеки на маршруті становить 7.

14. Полтава - Покровськ (рівень небезпеки: 6):

Покровськ також знаходиться на відстані від основної лінії фронту, тому небезпеки на цьому маршруті менші порівняно з іншими, і рівень небезпеки оцінюється на рівні 6.

15. Полтава - Гуляйполе (рівень небезпеки: 8):

Гуляйполе, розташоване в зоні бойових дій, є місцем з високим рівнем ризику. На шляху до цього міста можливі обстріли та інші загрози, тому рівень небезпеки оцінюється на рівні 8.

16. Львів - Куп'янськ (рівень небезпеки: 8):

Цей маршрут проходить через схід України та веде до Куп'янська, який знаходиться поблизу зон бойових дій. Ризик високий через часті артилерійські обстріли та можливість мінування територій. Інфраструктура маршруту перебуває в задовільному стані, але рівень небезпеки залишається значним.

17. Львів - Слов'янськ (рівень небезпеки: 7):

Слов'янськ розташований у зоні активних бойових дій. Ризик на маршруті помірний через контрольовані ділянки, але можливі авіаудари та артилерійські обстріли. Інфраструктура в кращому стані порівняно з іншими маршрутами.

18. Львів - Краматорськ (рівень небезпеки: 8):

Краматорськ знаходиться в зоні інтенсивних бойових дій. Ризики маршруту включають артилерійські обстріли, мінування доріг та можливі авіаудари. Інфраструктура задовільна, але безпека значно ускладнена через бойові дії.

19. Львів - Покровськ (рівень безпеки: 7):

Маршрут до Покровська менш небезпечний, але можливі обстріли та інші загрози через бойові дії в околицях. Інфраструктура перебуває в хорошому стані, але транспортні операції все ще ризиковані.

20. Львів - Гуляйполе (рівень безпеки: 9):

Гуляйполе знаходиться у зоні інтенсивних бойових дій. Ризик маршруту максимальний через постійні обстріли, можливі авіаудари та мінування. Інфраструктура значно пошкоджена, що робить цей маршрут найнебезпечнішим серед львівських напрямків.

21. Київ - Куп'янськ (рівень безпеки: 7):

Куп'янськ є важливим логістичним центром у зоні активних бойових дій. Маршрут небезпечний через артилерійські обстріли та можливість мінування територій. Інфраструктура в задовільному стані, але ризики бойових дій залишаються високими.

22. Київ - Слов'янськ (рівень безпеки: 6):

Маршрут до Слов'янська має помірний рівень ризику, хоча й проходить через зони бойових дій. Контрольована інфраструктура та нижчий рівень безпеки порівняно з іншими маршрутами роблять цей напрямок менш ризикованим.

23. Київ - Краматорськ (рівень безпеки: 7):

Краматорськ є стратегічним пунктом на сході України. Ризик маршруту залишається високим через можливі артилерійські обстріли та авіаудари. Інфраструктура перебуває у задовільному стані, але бойові дії ускладнюють безпечну доставку.

24. Київ - Покровськ (рівень безпеки: 6):

Покровськ є менш ризикованим маршрутом через більшу віддаленість від зон інтенсивних бойових дій. Інфраструктура в доброму стані, що спрощує транспортування гуманітарної допомоги.

25. Київ - Гуляйполе (рівень небезпеки: 8):

Гуляйполе залишається одним із найбільш небезпечних напрямків через активні бойові дії. Високий рівень ризику обумовлений артилерійськими обстрілами, мінуванням та пошкодженою інфраструктурою.

Зважаючи на наші дані розглянемо коефіцієнти впливу ризиків, часу доби та небезпеки:

1. Коефіцієнт впливу ризику:

Залежно від наявності ризиків на маршрутах:

Харків - Куп'янськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Харків - Слов'янськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Харків - Краматорськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Харків - Покровськ: помірний ризик (1), $k_1 = 1,2$

Харків - Гуляйполе: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Дніпро - Куп'янськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Дніпро - Слов'янськ: низький ризик (1), $k_1 = 1,1$

Дніпро - Краматорськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Дніпро - Покровськ: помірний ризик (1), $k_1 = 1,2$

Дніпро - Гуляйполе: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Полтава - Куп'янськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Полтава - Слов'янськ: помірний ризик (1), $k_1 = 1,2$

Полтава - Краматорськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Полтава - Покровськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Полтава - Гуляйполе: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Львів - Куп'янськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Львів - Слов'янськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Львів - Краматорськ: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Львів - Покровськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Львів - Гуляйполе: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

Київ - Куп'янськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Київ - Слов'янськ: низький ризик (1), $k_1 = 1,1$

Київ - Краматорськ: середній ризик (1), $k_1 = 1,3$

Київ - Покровськ: низький ризик (1), $k_1 = 1,1$

Київ - Гуляйполе: високий ризик (1), $k_1 = 1,5$

2. Коефіцієнт впливу часу доби:

День: $k_2 = 1,0$

Ніч: $k_2 = 1,3$ (рівень небезпеки вночі вищий через погану видимість).

3. Коефіцієнт впливу небезпеки:

Рівень небезпеки можна оцінювати за шкалою від 1 до 10, де 1 – безпечний шлях, 10 – максимальний рівень небезпеки. Оцінка рівня небезпеки залежить від поточної ситуації на фронті, бою або інших загроз.

Харків - Куп'янськ: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Харків - Слов'янськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Харків - Краматорськ: рівень небезпеки = 9 ($k_3 = 1,9$)

Харків - Покровськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Харків - Гуляйполе: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Дніпро - Куп'янськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Дніпро - Слов'янськ: рівень небезпеки = 5 ($k_3 = 1,4$)

Дніпро - Краматорськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Дніпро - Покровськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Дніпро - Гуляйполе: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Полтава - Куп'янськ: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Полтава - Слов'янськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Полтава - Краматорськ: рівень небезпеки = 9 ($k_3 = 1,9$)

Полтава - Покровськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Полтава - Гуляйполе: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Львів - Куп'янськ: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Львів - Слов'янськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Львів - Краматорськ: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Львів - Покровськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Львів - Гуляйполе: рівень небезпеки = 9 ($k_3 = 1,9$)

Київ - Куп'янськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Київ - Слов'янськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Київ - Краматорськ: рівень небезпеки = 7 ($k_3 = 1,7$)

Київ - Покровськ: рівень небезпеки = 6 ($k_3 = 1,5$)

Київ - Гуляйполе: рівень небезпеки = 8 ($k_3 = 1,8$)

Додаткові витрати на обробку вантажів (d_{ij}) зазвичай враховують рівень ризику на маршруті, а також специфіку вантажів, які потребують особливої уваги під час перевезення.

Розрахуємо за формулою:

$$d_{ij} = 15 \text{ грн/т} \cdot \text{обсяг перевезення маршрутом} \cdot \left(1 + \frac{\text{Рівень небезпеки}}{10}\right)$$

Таким чином розрахуємо для кожного маршруту після отримання інформації про величину потоків до кожного з міст.

2.3 Аналітичний інструментарій для діагностики реальних даних у моделюванні гуманітарних потоків

Мета задачі оптимізації полягає в ефективному розподілі обсягів гуманітарної допомоги між великими логістичними центрами, такими як Львів, Київ, Полтава, Дніпро, Харків, і кінцевими пунктами постачання в прифронтових регіонах: Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ та Гуляй Поле. Завдання полягає в тому, щоб забезпечити задоволення потреб кожного регіону та підтримувати достатній рівень запасів гуманітарних ресурсів у цих містах.

Опис потоків гуманітарної допомоги починається з визначення ключових логістичних центрів і маршрутів. У цій моделі Львів виступає як головний центр зосередження гуманітарних ресурсів, де накопичуються та обробляються вантажі, що надходять з різних джерел як внутрішніх, так і міжнародних постачальників. Львів через свою стратегічну географічну позицію є важливим пунктом для початку доставки гуманітарної допомоги до регіонів, що потребують підтримки.

Основний маршрут постачання:

Потоки гуманітарної допомоги розподіляються через великі логістичні хаби: Київ, Полтаву, Дніпро та Харків. Кожен із цих хабів відіграє важливу роль у забезпеченні подальшого транспортування допомоги до прифронтових міст, таких як Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ та Гуляй Поле.

1. Львів як початковий центр постачання:

– Львів є вихідною точкою для збору гуманітарної допомоги. Це місто має зручні транспортні зв'язки з європейськими країнами, через які надходять міжнародні поставки допомоги, зокрема продукти харчування, медичне обладнання, одяг, ліки та інші необхідні ресурси [45].

– Основна мета на цьому етапі – підготовка і розподіл допомоги для подальшого транспортування до інших логістичних центрів на сході України.

2. Київ, Полтава, Дніпро, Харків як регіональні логістичні хаби:

– Київ виступає ключовим пунктом для подальшого розподілу гуманітарної допомоги на північ, схід та центральну частину країни. Він забезпечує транзит до Полтави, Дніпра та Харкова, з яких допомога спрямовується до прифронтових регіонів.

– Полтава є важливим центром для накопичення та обробки вантажів перед відправкою до прифронтових зон. Її розташування дозволяє забезпечити ефективне управління потоками в центральньо-східні регіони [46].

– Дніпро через своє розташування поблизу прифронтових районів є одним із ключових пунктів для оперативного переспрямування гуманітарної допомоги на схід і південь України.

– Харків, як логістичний вузол для східних регіонів, є важливим для забезпечення регулярного постачання до прифронтових міст, таких як Куп'янськ, Слов'янськ та Краматорськ, що знаходяться найближче до зони бойових дій [47].

3. Прифронтові регіони: Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ, Гуляйполе:

– ці міста знаходяться найближче до лінії фронту, тому є основними кінцевими пунктами доставки гуманітарної допомоги. У них спостерігається

найбільша потреба у швидкому постачанні продуктів харчування, медикаментів та засобів першої необхідності.

– допомога з Києва, Полтави, Дніпра та Харкова транспортується через різні маршрути, що враховують стан інфраструктури, безпеку на дорогах та ризики військових атак.

Постачання гуманітарної допомоги до прифронтових регіонів стикається з низкою викликів, які значно ускладнюють логістичні операції. Одним із основних викликів є ризики на маршрутах, що зумовлені військовими діями, постійними обстрілами та зруйнованою інфраструктурою. Багато доріг, мостів та залізничних шляхів знаходяться у критичному стані або повністю непридатні для використання, що змушує логістичні компанії шукати альтернативні шляхи для доставки допомоги. Безпека на дорогах є головним пріоритетом, оскільки траса може бути заблокована або атакована в будь-який момент, що створює загрозу для вантажів і персоналу.

Ще одним важливим викликом є динаміка потреб у прифронтових регіонах, яка постійно змінюється залежно від військової ситуації. В одному районі може виникнути різка потреба в продовольстві, воді або медичних товарах, тоді як інший регіон тимчасово отримує доступ до більш стабільного постачання. Це вимагає від логістичних операторів гнучкості та оперативності в перенаправленні ресурсів туди, де допомога найбільш необхідна в конкретний момент часу.

Крім того, великою проблемою є недостатня пропускна здатність інфраструктури, яка використовується для гуманітарних постачань. Регіональні логістичні хаби часто перевантажені, а доступні склади не завжди мають достатньо місця для обробки та зберігання великих обсягів вантажів. Це призводить до затримок у транспортуванні та зберіганні гуманітарних товарів, що ускладнює оперативне реагування на потреби прифронтових регіонів [48].

Змінні моделі в контексті оптимізації гуманітарних потоків є важливим інструментом для адаптації логістичних операцій до динамічних умов. Вони дозволяють моделювати та прогнозувати потоки ресурсів, враховуючи постійні зміни в попиті, доступності ресурсів, стані інфраструктури та безпеки. Змінні

моделі забезпечують гнучкість і допомагають приймати ефективні рішення для управління гуманітарними поставками в умовах нестабільності.

У змінних моделях для оптимізації гуманітарних потоків основними змінними є:

– запаси ресурсів $x_i(t)$ – кількість ресурсів, що зберігаються в логістичному пункті i на момент часу t . Це можуть бути продовольчі продукти, медикаменти, пально-мастильні матеріали тощо. Запаси є важливими змінними, оскільки їх обсяги безпосередньо впливають на можливості постачання.

– потоки між пунктами $y_{ij}(t)$ – це кількість ресурсів, що передаються від одного логістичного пункту до іншого. Потоки змінюються в залежності від доступних запасів та потреб у пунктах призначення.

– потреби у гуманітарній допомозі $d_i(t)$ – це змінна, яка визначає поточну потребу в гуманітарних ресурсах для кожного пункту. Потреби можуть змінюватися залежно від ситуації в прифронтових регіонах, змін у чисельності населення, розвитку бойових дій тощо.

– зовнішнє постачання $u_i(t)$ – кількість гуманітарних вантажів, які надходять до пункту i ззовні, наприклад, з міжнародних постачальників чи інших державних або неурядових організацій.

– обмеження ресурсів і потреб – це зміни, що обумовлюють наявність обмежень на кількість ресурсів, що можуть бути передані, а також на загальну кількість ресурсів, яку можна зберігати або обробляти в кожному пункті.

Для кожного міста потрібно підтримувати стабільний рівень запасів, що дозволить забезпечити своєчасне постачання гуманітарної допомоги. Рівняння динаміки запасів відображає зміну кількості запасів у місті залежно від вхідних та вихідних потоків (2.1):

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = \sum_j y_{ji}(t) - \sum_k y_{ik}(t) + u_i(t) - v_i(t) \quad (2.1)$$

де $\frac{dx_i(t)}{dt}$ – швидкість зміни запасів у пункті i ;

$\sum_j y_{ji}(t)$ – сумарний потік, що надходить до пункту i від інших пунктів j ;

$\sum_k y_{ik}(t)$ – сумарний потік, що виходить з пункту i до пунктів k ;

$u_i(t)$ – зовнішнє постачання до пункту i ;

$v_i(t)$ – споживання запасів у пункті i .

Це рівняння дозволяє контролювати динаміку запасів у кожному місті та забезпечувати рівень постачання залежно від потреб.

Потоки гуманітарної допомоги між містами залежать від наявних запасів у кожному пункті та потреб міст призначення. Потоки з міста i до міста j залежать від кількості запасів і планованих обсягів постачання:

Модель потоку $y_{ij}(t)$:

$$y_{ji}(t) = \frac{a_{ji}(x_j(t), x_i(t))}{1 + e^{(\alpha r_{ij}(t))}} \quad (2.2)$$

де $a_{ij}(x_i(t), x_j(t))$ – функція, що описує залежність потоку від кількості запасів в пунктах i і j ;

$e^{(\alpha r_{ij}(t))}$ – експоненційна функція ризику, яка зменшує потік при підвищенні ризику на маршруті;

α – коефіцієнт чутливості потоку до ризику.

Функція a_{ij} :

$$a_{ij}(x_i(t), x_j(t)) = \gamma (x_j(t) - x_i(t))^+ \quad (2.3)$$

де γ – коефіцієнт, що враховує швидкість реакції системи на різницю у запасах і відображає логістичні обмеження (наприклад, максимальна пропускна здатність);

$(x_j(t) - x_i(t))^+$ – вираз, що дорівнює $x_j(t) - x_i(t)$, якщо $x_j(t) > x_i(t)$, і 0 в протилежному випадку. Це враховує ситуацію, коли обсяги в пункті j мають бути достатніми для надходження до пункту i .

Модель потоку $y_{ik}(t)$:

$$y_{ik}(t) = \frac{a_{ik}(x_i(t), x_k(t))}{1 + e^{(\alpha r_{ik}(t))}} \quad (2.4)$$

де $a_{ik}(x_i(t), x_k(t))$ – функція, що описує залежність потоку від кількості запасів в пунктах i і k ;

$e^{(\alpha r_{ik}(t))}$ – експоненційна функція ризику, яка зменшує потік при підвищенні ризику на маршруті;

α – коефіцієнт чутливості потоку до ризику.

Функція a_{ik} :

$$a_{ik}(x_i(t), x_k(t)) = \gamma(x_k(t) - x_i(t))^+ \quad (2.5)$$

де γ – коефіцієнт, що враховує швидкість реакції системи на різницю у запасах і відображає логістичні обмеження (наприклад, максимальна пропускна здатність);

$(x_k(t) - x_i(t))^+$ – вираз, що дорівнює $x_k(t) - x_i(t)$, якщо $x_k(t) > x_i(t)$, і 0 в протилежному випадку. Це враховує ситуацію, коли обсяги в пункті j мають бути достатніми для надходження до пункту i .

У кожному місті є конкретні потреби у гуманітарній допомозі, які залежать від чисельності населення, рівня пошкоджень інфраструктури та інших факторів. Для кожного міста j повинно бути забезпечено задоволення потреб у гуманітарній допомозі:

$$\sum_j y_{ji}(t) \geq b_j \quad (2.6)$$

де b_j – потреба міста j у гуманітарній допомозі. Це рівняння гарантує, що кожне місто отримує необхідну кількість допомоги.

Модель дозволяє оптимізувати обсяги постачання гуманітарної допомоги на кожному етапі – спочатку між великими містами (Львів, Київ, Полтава, Дніпро, Харків), а потім з цих міст до прифронтових регіонів. Важливо збалансувати кількість допомоги між логістичними хабами та кінцевими пунктами доставки таким чином, щоб уникнути дефіциту ресурсів в прифронтових регіонах, де потреби можуть змінюватися залежно від ситуації на місці.

Модель також враховує баланс постачання і споживання у кожному місті. Для кожного міста потрібно підтримувати баланс запасів на прийнятному рівні, щоб забезпечити стабільне постачання:

$$x_i(t) = x_i(0) + \left(\int_0^t \sum_j y_{ji}(s) - \sum_k y_{ik}(s) + u_i(s) - v_i(s) \right) ds \quad (2.7)$$

Це рівняння визначає динаміку запасів у кожному місті протягом часу і допомагає забезпечити рівномірний розподіл ресурсів по логістичній мережі.

Ризики є важливим параметром у моделях гуманітарної логістики, особливо в умовах війни чи природних катастроф. Ризики можуть бути різними і залежать від безпеки на маршрутах, стану інфраструктури, можливості блокування шляхів чи атак на гуманітарні конвої. Математичне вираження ризиків зазвичай включає фактори, що оцінюють безпеку маршруту, відстань та наявність перешкод.

Формула ризиків на маршруті:

$$r_{ik}(t) = w_1 d_{ik} + w_2 c_{ik} + w_3 s_{ik} \quad (2.8)$$

де $r_{ik}(t)$ – ризик на маршруті між пунктами i та k у момент часу t ;

d_{ik} – відстань між пунктами i та k ;

c_{ik} – рівень небезпеки на маршруті (від 1 до 10);

s_{ik} – стан інфраструктури (1 – хороший, 0 – поганий);

w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти, які визначають важливість кожного з факторів.

Постановка задачі оптимізації обсягів гуманітарної допомоги між великими містами та прифронтовими регіонами передбачає ефективний розподіл потоків між логістичними центрами та кінцевими пунктами призначення. Модель забезпечує баланс між постачанням та потребами, підтримуючи стабільний рівень запасів у містах і прифронтових регіонах, враховуючи зміни потреб та динаміку споживання.

Математична модель мінімізації витрат на транспортування є однією з основних складових ефективної логістики, особливо в умовах кризових ситуацій. Зокрема, вона дозволяє не тільки врахувати витрати, які виникають під час перевезень, але й мінімізувати додаткові витрати, пов'язані з ризиками на маршрутах, станом інфраструктури, рівнем небезпеки та часом доби. Це є важливим аспектом для забезпечення своєчасної доставки гуманітарних вантажів,

таких як продукти харчування, медикаменти, паливо та інші життєво необхідні ресурси.

Основна ідея цієї моделі полягає в тому, щоб врахувати всі можливі витрати, пов'язані з транспортуванням, а також фактори ризику, які можуть негативно впливати на доставку. Складені витрати повинні включати не тільки базові витрати на перевезення, але й додаткові витрати, які виникають у зв'язку з небезпекою на маршруті, станом інфраструктури та змінами часу доби. Ось як виглядає основна функція витрат:

$$z = \sum_{i=1}^m s_i y_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (c_{ij} x_{ij} (1 + b_{ij} k_1 + t_{ij} k_2 + h_d k_3) + d_{ij}) \quad (2.9)$$

де s_i – ціна одиниці продукції на пункті i ;

y_i – обсяг продукції на пункті i ;

x_{ij} – обсяг перевезень між містами i і j ;

c_{ij} – витрати на одиницю транспортування між містами i і j ;

b_{ij} – наявність ризику на маршруті між пунктами i і j (де 1 – ризик є, 0 – ризику немає);

t_{ij} – рівень небезпеки на маршруті між пунктами i і j ;

h_d – змінна часу доби (1 – день, 0 – ніч);

k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти впливу ризиків, часу доби та небезпеки;

d_{ij} – додаткові витрати на обробку вантажів, що залежить від рівня ризику на маршруті.

Витрати на транспортування є основною складовою загальних логістичних витрат і безпосередньо впливають на ефективність постачання гуманітарної допомоги. Ці витрати залежать від двох основних факторів: відстані між пунктами та обсягу вантажу, що перевозиться. Витрати на транспортування між двома містами або логістичними пунктами можна записати як добуток витрат на одиницю транспортування і обсягу вантажу, що перевозиться.

Витрати на одиницю транспортування між двома пунктами залежать від кількох чинників. По-перше, це відстань між пунктами, оскільки чим більша

відстань, тим вищі витрати на транспортування. Це включає в себе витрати на паливо, амортизацію транспортних засобів та інші операційні витрати, які прямо пропорційні відстані. По-друге, тип транспорту, який використовується для перевезення, впливає на витрати. Наприклад, залізничні перевезення можуть бути дешевшими для великих обсягів вантажів, але мають свої обмеження по маршрутах і гнучкості. Автомобільний транспорт є більш гнучким, але на одиницю вантажу він часто дорожчий. Третім чинником є стан інфраструктури. Поганий стан доріг або залізничних колій збільшує витрати через час, що витрачається на обхід або повільний рух транспорту, а також збільшення витрат на паливо.

Обсяг вантажу є критичним фактором у визначенні витрат на транспортування. Чим більший обсяг вантажу, тим вищі загальні витрати на транспортування, оскільки вони прямо пропорційні кількості товару, що перевозиться. Однак зростання обсягу вантажу може призвести до зменшення витрат на одиницю вантажу через економію масштабу. Наприклад, великі партії вантажів можна перевозити дешевше, ніж малі, завдяки використанню більш великих транспортних засобів, які працюють на повну потужність.

Існують також випадки, коли зростання обсягів вантажу може призвести до зниження витрат на одиницю вантажу. Це може бути досягнуто завдяки використанню більших транспортних одиниць, таких як вантажівки з більшою вантажопідйомністю або залізничні платформи, що дозволяють транспортувати більший обсяг вантажу за зниженими витратами на одиницю. Проте при дуже великих обсягах вантажу необхідно враховувати додаткові витрати, пов'язані з обробкою та зберіганням, що також впливає на загальні витрати на транспортування.

Оптимізація витрат на транспортування в кризових умовах вимагає ефективного планування маршрутів, правильного вибору транспорту, а також адаптації до змін в обсягах вантажів та інфраструктурних обмежень. У таких умовах важливо забезпечити мінімізацію витрат, одночасно реагуючи на зовнішні фактори, такі як зміни в рівні небезпеки на маршрутах, стан інфраструктури та інші ризики, які можуть виникати в результаті кризових ситуацій.

Коригувальні фактори для витрат на транспортування враховують додаткові обставини, які можуть впливати на загальні витрати в умовах кризових ситуацій або на маршрутах з підвищеними ризиками. Ці фактори враховують не лише базові витрати на транспортування, які залежать від відстані та обсягу вантажу, але й зміни, що можуть виникнути через змінювані умови на маршруті, тип вантажу, або зовнішні чинники, як-от безпека чи час доби.

Один з основних коригувальних факторів – це рівень небезпеки на маршруті. У кризових умовах, таких як воєнний конфлікт або природні катастрофи, ризик на маршруті може змінюватися, що в свою чергу впливає на логістичні витрати. Наприклад, у зонах активних бойових дій або на територіях, де проводяться великі будівельні роботи, може зростати ризик пошкодження вантажу або затримки транспорту. Цей фактор можна виразити через коефіцієнт ризику, який коригує витрати на транспортування в залежності від того, чи є на маршруті потенційна небезпека.

Іншим важливим коригувальним фактором є час доби. Витрати на транспортування можуть змінюватися в залежності від того, чи перевозиться вантаж вдень чи вночі. Наприклад, вночі на дорогах може бути менше транспорту, що знижує витрати на паливо та час доставки. Однак у той же час є і ризики, пов'язані з меншою видимістю та підвищеною ймовірністю атак або крадіжок. Цей фактор можна врахувати через змінну часу доби, яка впливає на витрати транспортування.

Крім того, стан інфраструктури також є важливим коригувальним фактором. В умовах війни або природних катастроф багато шляхів можуть бути зруйновані або пошкоджені, що ускладнює перевезення вантажу. Це може призвести до збільшення витрат на транспортування, оскільки доводиться використовувати обхідні маршрути або менші транспортні засоби, що знижують ефективність перевезень. Стан інфраструктури може бути оцінений через додатковий коефіцієнт, що змінює витрати в залежності від наявних пошкоджень або необхідності в ремонті доріг.

Всі ці коригувальні фактори допомагають точніше моделювати витрати на транспортування в кризових умовах, враховуючи реальні зміни в умовах на маршрутах, тип вантажу та інші зовнішні чинники, що можуть вплинути на логістичний процес.

Додаткові витрати на обробку виникають через необхідність виконання різних процедур при транспортуванні вантажу, таких як розвантаження, перевірка, сортування, упаковка або тимчасове зберігання товарів на шляху до кінцевого пункту призначення. Ці витрати можуть значно впливати на загальні логістичні витрати, особливо в кризових умовах, коли існує потреба у більш ретельному контролі і обробці вантажів.

Одним з основних факторів, що визначає додаткові витрати на обробку, є рівень ризику на маршруті. Коли транспортування здійснюється через зони підвищеної небезпеки, наприклад, в умовах бойових дій, це може потребувати додаткових заходів безпеки, таких як перевірка вантажів або укріплення упаковки для запобігання пошкодженням. Такі заходи можуть включати додаткову перевірку на митних постах, затримки на пунктах пропуску для контролю безпеки, а також підвищену увагу до зберігання товарів під час транспортування.

Іншим фактором є обсяг та складність вантажу. Якщо вантаж складається з різних типів товарів або має особливі вимоги щодо транспортування (наприклад, медичні препарати або продукти харчування, що швидко псуються), це може потребувати додаткової обробки. Для таких вантажів можуть знадобитися спеціальні транспортні засоби, а також спеціалізовані умови зберігання, що також збільшують витрати.

Час, необхідний для обробки, також є важливим фактором. В умовах, коли обсяги постачання швидко змінюються, можуть виникати ситуації, коли вантажі потребують прискореної обробки, що включає додаткові витрати на робочу силу, перевірку і сортування вантажів, а також подовжені періоди зберігання на складі або терміналі.

Також до додаткових витрат на обробку слід віднести витрати на тимчасове зберігання вантажу. У кризових умовах, коли інфраструктура може бути

пошкоджена або обмежена, часто потрібно зберігати вантажі на проміжних складах до тих пір, поки не стане доступним безпечний шлях для доставки. Ці витрати на зберігання можуть включати не лише оренду складів, але й забезпечення охорони, підтримання необхідних умов для збереження вантажу, а також додаткові перевантаження вантажів між різними видами транспорту.

Зміни у митних процедурах та перевірках можуть також викликати додаткові витрати на обробку. У випадку, якщо кордони піддаються більш строгим перевіркам або якщо нові митні правила вводяться для підвищення безпеки, можуть бути затримки на пунктах пропуску. Це може включати витрати на митні процедури, перевірку документів, а також обробку вантажів, що потребують додаткових заходів для виконання регуляторних вимог.

У підсумку, додаткові витрати на обробку є суттєвим компонентом логістичних витрат, особливо в умовах кризи, коли інфраструктура може бути обмежена або змінюються умови безпеки. Зрозуміти та ефективно керувати цими витратами є ключовим для забезпечення швидкої та безпечної доставки гуманітарної допомоги в таких умовах.

У результаті проведеного моделювання оптимізації логістичних потоків для забезпечення гуманітарних потреб в Україні були отримані ключові показники, які дозволяють оцінити ефективність моделі та розподілу ресурсів. За допомогою мови програмування Python було створено математичну модель, що дозволила провести аналіз витрат, ефективності та коригування обсягів запасів для різних логістичних центрів та прифронтових міст.

Однією з основних проблем, виявлених під час моделювання гуманітарних поставок, є забезпечення достатнього обсягу запасів для покриття потреб усіх пунктів призначення, зокрема для прифронтових міст. Моделювання показало, що початкові запаси, закладені в систему на основі прогнозів, не завжди були достатніми для повного забезпечення цих міст. Це стало очевидно, коли загальні запаси виявилися меншими за потреби прифронтових міст, що вимагало додавання 12 310 т. гуманітарної допомоги.

Незважаючи на те, що початкові запаси базувалися на загальних прогнозах, реальні умови гуманітарної логістики виявилися значно складнішими, ніж передбачалося. Прогнозовані потреби були визначені на основі загальних даних, але ці прогнози не враховували швидко змінювані реалії на місцях, зокрема в умовах бойових дій, міграції населення, або зміни економічної ситуації в регіонах. Це призвело до того, що деякі прифронтові міста, зокрема Слов'янськ і Краматорськ, мали набагато більші потреби, ніж було передбачено, що спричинило дефіцит запасів.

Загалом, недостатність початкових запасів виявила серйозну проблему в гуманітарній логістиці, адже існує необхідність у точному прогнозуванні потреб. Різниця між прогнозованими і реальними потребами показала, що початкові плани постачання не могли повністю забезпечити всі необхідні регіони. Для вирішення цієї проблеми було прийнято рішення додати 12 310 т. гуманітарної допомоги, що допомогло збалансувати розподіл товарів між логістичними центрами та прифронтовими містами.

Розподіл ресурсів та оптимізація є важливими етапами у забезпеченні ефективної доставки гуманітарної допомоги в кризових умовах. Однією з основних проблем, що виникла під час моделювання, стало недостатнє забезпечення прифронтових міст необхідними запасами для задоволення їхніх потреб. Для вирішення цієї проблеми була введена додаткова кількість 12 310 т. гуманітарної допомоги, що дозволило збалансувати розподіл товарів між основними логістичними центрами та прифронтовими містами, такими як Слов'янськ, Краматорськ та Покровськ.

Це рішення стало можливим завдяки застосуванню математичної моделі, яка враховувала не лише початкові запаси, але й поточні потреби прифронтових міст, а також здатність логістичних центрів, таких як Львів, Київ та Полтава, ефективно забезпечити рівень постачання. Львів, будучи головним логістичним хабом, отримав найбільші додаткові ресурси, що допомогло йому виконати роль центрального складу для збору та подальшої розподілу гуманітарної допомоги на інші регіони. Модель передбачала, що основна частина запасів повинна бути

зосереджена в цьому центрі, щоб забезпечити ефективний розподіл вантажів до інших логістичних пунктів з урахуванням найбільших потреб в конкретних регіонах.

Додавання додаткових 12 310 т. допомоги сприяло зменшенню ризику дефіциту в найбільш постраждалих містах, таких як Слов'янськ та Краматорськ. Ці міста потребували значно більше ресурсів, ніж передбачалося на початковому етапі моделювання, через високий рівень гуманітарної кризи, викликані бойовими діями та великою кількістю переселенців. Оптимізація постачання була спрямована на забезпечення цих міст необхідними ресурсами, зокрема продовольством, медикаментами та іншими засобами першої необхідності, що знизило ймовірність затримок у доставці.

Таким чином, коригування запасів за допомогою математичної моделі дозволило значно знизити ризики, пов'язані з нестачею гуманітарної допомоги, та забезпечити стабільний розподіл товарів, що є критично важливим в умовах нестабільної ситуації на фронті.

Особливу увагу в результатах моделювання приділено важливості точного прогнозування потреб та постійного коригування запасів у реальному часі. Для ефективного функціонування гуманітарного постачання необхідно враховувати не тільки поточні потреби, але й можливі зміни, які можуть бути викликані змінами військової ситуації, міграцією населення, а також іншими соціально-економічними або політичними факторами.

Прогнозування потреб дозволяє ефективно планувати обсяги поставок та правильно розподіляти ресурси між регіонами, що допомагає уникнути як дефіциту, так і перевантаження складів. Окрім того, за допомогою прогностичних моделей можна визначити, які міста потребують додаткових поставок, а які можуть обійтися без додаткової допомоги. Це важливо для підтримки рівноваги в системі гуманітарного постачання, оскільки дефіцит в одному місті може призвести до кризової ситуації, тоді як перевантаження складів в інших може спричинити збільшення витрат на транспортування та зберігання.

Оптимізація гуманітарних поставок є важливим аспектом забезпечення надійного та своєчасного постачання допомоги в кризових ситуаціях. Результати моделювання, виконаного для оцінки ефективності логістичних потоків гуманітарної допомоги в Україні, показали значний вплив на зменшення витрат та підвищення ефективності розподілу ресурсів між логістичними центрами та прифронтовими містами. Моделювання дозволило отримати важливі дані щодо розподілу вантажів, витрат на транспортування та зберігання, а також оптимізації запасів, що стали основою для подальших стратегічних рішень у сфері гуманітарної логістики.

Таблиця 2.4 – Розподіл гуманітарних вантажів за логістичними центрами та прифронтовими містами

Логістичний центр	Слов'янськ, т	Краматорськ, т	Покровськ, т	Куп'янськ, т	Гуляйполе, т	Динаміка запасів, т
Львів	7810	7280	-	-	-	15 090
Київ	-	3145	-	455	-	3600
Полтава	320		1240	-	1220	2780
Дніпро	-	-	-	1860	-	1860
Харків	-	-	2225	-	-	2225
Загальний обсяг	8130	10425	3465	2315	1220	25 555

Джерело: складено автором на основі власних розрахунків

Розподіл гуманітарних вантажів, що здійснювався між різними логістичними центрами і прифронтовими містами, був зорієнтований на максимальне покриття потреб найбільш постраждалих регіонів. Одним з основних результатів моделювання стало визначення, що найбільші потоки вантажів були спрямовані з Львова, який виступав основним логістичним хабом для збору та подальшого розподілу допомоги. Завдяки стратегічному розташуванню Львова та його важливості як центрального складу, він став головним пунктом для забезпечення прифронтових міст, таких як Слов'янськ і Краматорськ.

Вантажі, направлені до цих міст, становили 7810 т і 7280 т відповідно. Ці міста були визначені як найбільш потребуючі в гуманітарних вантажах, оскільки їх інфраструктура була значно пошкоджена внаслідок бойових дій, а також існувала висока концентрація постраждалого населення, що збільшувало попит на продукти

харчування, медикаменти та інші засоби першої необхідності. Зазначені обсяги вантажів підтверджують високі потреби цих міст у гуманітарній допомозі, яка була забезпечена через логістичний центр Львова.

Київ, як важливий логістичний вузол, також відігравав значну роль у розподілі гуманітарної допомоги, зокрема забезпечуючи постачання до Куп'янська та Краматорська, обсяги яких становили 455 т. і 3145 т. відповідно. Враховуючи важливість Києва як стратегічного міста для забезпечення північних і східних регіонів, його участь у постачанні була критично важливою для досягнення рівномірного розподілу вантажів серед постраждалих територій.

Полтава, розташована в центрі України, виконувала роль важливого розподільчого пункту для постачання гуманітарної допомоги до Слов'янська (320 т), Покровська (1240 т) та Гуляйполе (1220 т). Її стратегічне розташування дозволило забезпечити ефективний розподіл ресурсів між центральними та східними регіонами, що сприяло оптимізації постачання на ділянки, де спостерігалася висока концентрація постраждалого населення.

Дніпро та Харків також виконували важливі функції в контексті постачання на південний та східний фронт. Харків забезпечував постачання до Покровська, що є важливим напрямком для забезпечення високої потреби в гуманітарній допомозі в цих регіонах, а обсяг вантажу становив 2225 т. Це підкреслює важливість Харкова в забезпеченні східних регіонів, що потребували стабільного постачання гуманітарної допомоги.

Моделювання витрат на транспортування та зберігання вантажів показало значне зниження витрат завдяки оптимізації маршрутів та коригуванню запасів у реальному часі. Однією з основних переваг оптимізації стало скорочення витрат на транспортування за рахунок використання більш коротких і безпечних маршрутів, що дозволило зменшити час доставки та витрати на паливо. Удосконалена логістична схема дозволила значно знизити витрати, зокрема на тих маршрутах, де раніше спостерігалися значні затримки через пошкодження інфраструктури або бойові дії.

Витрати на зберігання також були значно знижені завдяки оптимальному розподілу запасів між логістичними центрами. Підтримання рівноваги між запасами на складах допомогло зменшити потребу в додатковому зберіганні вантажів і забезпечити швидкий доступ до необхідних ресурсів для постачання.

Загальна вартість постачання гуманітарних вантажів, що склала 3 204 200 грн, стала важливим індикатором ефективності всієї логістичної операції. Ця сума включає витрати на транспортування, зберігання, обробку вантажів, а також додаткові витрати, пов'язані з високим рівнем ризику на маршрутах. Аналіз витрат показав, що найбільшу частину складають транспортні витрати, які зросли через необхідність використання спеціалізованих транспортних засобів для перевезення гуманітарної допомоги в зону бойових дій. Врахування цього фактора стало важливим для забезпечення безпеки вантажів та збереження стабільного постачання в найскладніших умовах.

Додавання 12 310 т гуманітарної допомоги стало ключовим рішенням для коригування обсягів запасів та розподілу товарів між логістичними центрами та прифронтовими містами. Завдяки цьому додатковому запасу вдалося забезпечити рівномірний розподіл вантажів, що особливо важливо в умовах високих ризиків і нестабільної ситуації на фронті. Львів, як головний логістичний хаб, отримав найбільші запаси (15 090 т), що дозволило йому ефективно виконувати роль центрального складу для забезпечення потреб інших регіонів.

Таким чином, оптимізація запасів не тільки сприяла вирішенню проблеми дефіциту гуманітарної допомоги в найбільш потребуючих містах, але й дозволила значно знизити ризики, пов'язані з дефіцитом або переповненням складів. Цей підхід став основою для подальшої стабільної роботи гуманітарної логістичної мережі, що забезпечувала своєчасне і ефективне постачання необхідних вантажів.

Аналіз результатів моделювання показав, що застосування оптимізаційних методів в гуманітарній логістиці дозволяє не тільки знизити витрати на транспортування та зберігання, але й забезпечити рівномірне та своєчасне постачання вантажів у найбільш потребуючі регіони. Оптимізація запасів, коригування розподілу гуманітарних вантажів та ефективного використання

логістичних хабів, таких як Львів, Київ та Полтава, стали ключовими факторами для забезпечення стабільності гуманітарних постачань.

Висновки до другого розділу

Гуманітарна ситуація в Україні залишається критичною, що зумовлено інтенсивністю бойових дій, руйнуванням критичної інфраструктури та масовим переміщенням населення. У прифронтових районах особливо гостро постають питання доступу до базових ресурсів, медичної допомоги, водопостачання, житла та освітніх послуг. Крім того, високий рівень ризиків для працівників гуманітарних організацій і пошкодження логістичної інфраструктури ускладнюють доставку допомоги та потребують розробки інноваційних підходів до її організації.

Для забезпечення ефективного реагування на виклики гуманітарної кризи важливою є роль великих логістичних центрів, таких як Київ, Львів, Полтава, Дніпро та Харків. Ці центри слугують базами для збору, зберігання та подальшого транспортування гуманітарної допомоги до прифронтових міст: Куп'янська, Слов'янська, Краматорська, Покровська та Гуляйполя. У цих регіонах спостерігається найвищий рівень потреб у продовольстві, медичних засобах, воді та будівельних матеріалах.

Аналіз показників гуманітарної допомоги свідчить про необхідність врахування ризиків, пов'язаних із безпекою на маршрутах, та стану інфраструктури. Особливу увагу приділено оптимізації маршрутів доставки, де кожен маршрут оцінено за критеріями відстані, рівня небезпеки та якості інфраструктури. Використання коефіцієнтів впливу ризиків, часу доби та рівня небезпеки дозволило побудувати модель, яка мінімізує витрати на транспортування та зберігання гуманітарних вантажів.

Економічне моделювання потреб та потоків допомоги також враховує специфіку регіонів і динаміку змін у чисельності населення, викликану бойовими діями та евакуацією. Запропоновані підходи спрямовані на максимальне задоволення потреб постраждалого населення, забезпечення безпеки

транспортування та ефективне управління ресурсами. Особлива увага приділена інтеграції ризик-менеджменту в систему логістики, що дозволяє зменшити втрати вантажів та забезпечити персонал.

Загалом, висновки підтверджують, що ефективність гуманітарної логістики значною мірою залежить від здатності адаптуватися до кризових умов, забезпечувати оптимальний розподіл ресурсів і швидко реагувати на зміну ситуації. Оптимізація потоків допомоги є ключовим елементом для зниження витрат, підвищення оперативності постачання та задоволення критичних потреб населення в умовах війни.

3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ АНАЛІТИЧНОГО ІНСТРУМЕНТАРІЮ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПОТОКІВ

3.1 Методи оцінювання та інструментарій для оптимізації гуманітарних потоків при заданих обмеженнях

Розроблена та удосконалена система оцінювання дозволяє проводити економічну аналітику в умовах гуманітарних логістичних операцій у кризових ситуаціях. Вона включає застосування методів економічного аналізу для оцінки витрат, ризиків та ефективності рішень, пов'язаних з оптимізацією логістичних потоків гуманітарної допомоги. Система також дає змогу вибирати найбільш ефективні маршрути доставки в умовах війни та нестабільності інфраструктури.

Основним інструментом для аналізу ефективності логістичних операцій є математична модель оптимізації логістичних потоків. Ця модель дозволяє комплексно оцінювати витрати на транспортування, зберігання і обробку вантажів, а також враховує низку факторів, пов'язаних із ризиками на маршрутах, що виникають через бойові дії, пошкодження інфраструктури та загрозу безпеці. Математичний підхід дає можливість не лише формалізувати та обчислити ефективність конкретних рішень, але й адаптувати стратегії доставки до змінюваних умов в реальному часі.

Для оцінки економічної доцільності вибору конкретних маршрутів та прийняття логістичних рішень у кризових умовах використовуються кілька ключових методів, що забезпечують точність прогнозування та ефективність виконання задач.

Лінійне програмування є одним із основних інструментів для побудови моделі оптимізації логістичних потоків, що дозволяє мінімізувати загальні витрати на транспортування, зберігання та обробку вантажів за наявності ряду обмежень, характерних для гуманітарної логістики в умовах кризових ситуацій. Це одна з найбільш ефективних технік для прийняття рішень, коли необхідно знайти

оптимальний розподіл обмежених ресурсів, таких як транспортні засоби, склади та інші матеріальні й людські ресурси.

У контексті гуманітарної логістики, яка здійснюється в умовах війни або після її закінчення, застосування лінійного програмування дає змогу врахувати численні обмеження, що стосуються фізичних ресурсів (наприклад, транспортної ємності, кількості доступних транспортних засобів), тимчасових обмежень (часи доставки вантажів) та економічних обмежень (бюджет на транспортування, зберігання і обробку вантажів). Метою застосування лінійного програмування є пошук такого рішення, яке мінімізує загальні витрати в умовах цих обмежень.

У рамках лінійного програмування визначаються кілька ключових змінних, які впливають на результат моделювання та прийняття оптимальних рішень:

- обсяг перевезень між логістичними центрами та кінцевими пунктами призначення – це одна з основних змінних, оскільки від обсягу вантажів, що транспортуються, залежить загальний рівень витрат на транспортування, а також ефективність використання наявних транспортних засобів і інфраструктури. Лінійне програмування дозволяє врахувати обмеження на максимальну кількість вантажів, які можуть бути доставлені певними транспортними засобами на певні маршрути в межах заданих умов.

- витрати на транспортування є однією з основних складових загальних витрат на логістичні операції. Вони залежать від таких факторів, як відстань між пунктами відправлення та призначення, тип транспорту (автомобільний, залізничний, річковий, авіаційний тощо) та рівень небезпеки на маршруті. Лінійне програмування дозволяє розподілити потоки вантажів так, щоб мінімізувати витрати, зокрема оптимізуючи вибір маршруту з найменшими витратами.

- лінійне програмування також враховує витрати на зберігання товарів на складах, що є важливим аспектом при плануванні гуманітарних постачань. Витрати на зберігання включають оренду складських приміщень, забезпечення належних умов для зберігання вантажів (особливо важливо для вантажів, що потребують спеціальних умов, таких як медикаменти чи продукти харчування). Зберігання товарів на складах може бути обмежене фізичними характеристиками складських

приміщень та рівнем наявних запасів, що потребує оптимального розподілу вантажів на різних етапах поставки.

– лінійне програмування дозволяє враховувати не лише витрати на транспортування, але й час доставки вантажів до кінцевих пунктів призначення. У кризових умовах час є критичним ресурсом, і затримки можуть мати серйозні наслідки для ефективності гуманітарної допомоги. Моделювання, засноване на лінійному програмуванні, дає змогу оптимізувати час доставки, а також прогнозувати можливі затримки, зокрема через перевантаження інфраструктури або зміни в безпековій ситуації.

Однією з основних переваг лінійного програмування є його здатність враховувати різноманітні обмеження та оптимізувати загальні витрати, що має особливу актуальність у контексті гуманітарних операцій. У разі нестабільної ситуації, такої як бойові дії або зруйнована інфраструктура, лінійне програмування дає змогу швидко приймати рішення, знижуючи загальні витрати на транспортування та зберігання вантажів. Модель дозволяє адаптувати логістичні операції до змінюваних умов, зокрема шляхом оптимізації комбінованих перевезень, які включають кілька видів транспорту (наприклад, автотранспорт і залізничний транспорт).

Використання комбінованих перевезень дозволяє знижувати витрати на транспортування за рахунок максимального використання транспортної ємності кожного виду транспорту. Це особливо важливо в умовах обмежених ресурсів та високого рівня ризиків на певних маршрутах. Наприклад, деякі ділянки маршруту можуть бути більш небезпечними для автотранспорту, але придатні для залізничного транспорту, що дозволяє перенаправити потоки вантажів для зменшення загальних витрат і мінімізації ризиків.

Лінійне програмування дозволяє не тільки оптимізувати витрати на логістичні операції, але й ефективно вирішувати проблеми, що виникають в умовах нестабільності та обмежених ресурсів. Наприклад, в умовах війни, коли транспортні шляхи можуть бути зруйновані або заблоковані, лінійне програмування дозволяє швидко переорієнтувати маршрути доставки, обираючи

найбільш безпечні та економічно доцільні шляхи, мінімізуючи витрати та час доставки гуманітарної допомоги.

Узагальнюючи, лінійне програмування є важливим методом для прийняття обґрунтованих рішень щодо оптимізації логістичних потоків в умовах війни та кризових ситуацій. Застосування цього методу дозволяє ефективно управляти ресурсами, мінімізувати витрати та ризики, що є критично важливим для забезпечення своєчасної та безпечної доставки гуманітарної допомоги.

Аналіз ризиків є важливим та необхідним компонентом для оцінки потенційних загроз на маршрутах доставки гуманітарної допомоги, особливо в умовах війни та інших кризових ситуацій. Урахування ризиків є критично важливим для оптимізації логістичних потоків, оскільки в умовах бойових дій, руйнування інфраструктури та соціально-політичної нестабільності рівень небезпеки на маршрутах змінюється, що може значно вплинути на ефективність та безпеку транспортування гуманітарної допомоги.

Основною метою аналізу ризиків є прогнозування та ідентифікація можливих загроз, що можуть виникнути під час доставки вантажів, та створення механізмів для адаптації до цих загроз. Оскільки ризики можуть змінюватися в реальному часі залежно від ситуації на фронті, погодних умов або змін у безпековій ситуації, важливо забезпечити гнучкість і швидкість реакції в процесі прийняття рішень щодо вибору маршруту доставки.

Підходи до оцінки ризиків:

1. Ідентифікація небезпечних маршрутів

Першим кроком в аналізі ризиків є ідентифікація небезпечних маршрутів, що здійснюється на основі даних про бойові дії, пошкодження інфраструктури та рівень військової активності на певних ділянках. Для цього використовуються як відкриті джерела інформації, так і дані з місця, що надходять від гуманітарних організацій, місцевих властей або військових підрозділів. Ідентифікація небезпечних маршрутів включає:

– моніторинг бойових дій та їхнього впливу на транспортну інфраструктуру, що дозволяє визначити рівень небезпеки на конкретних ділянках;

- оцінку пошкоджень інфраструктури, таких як зруйновані мости, зіпсовані дороги або пошкоджені залізничні колії, що можуть ускладнити або унеможливити перевезення;

- аналіз рівня військової активності в окремих зонах, що може змінюватися швидко в залежності від розвитку бойових дій.

Ідентифікація цих небезпек дозволяє скласти попереднє уявлення про наявні загрози та планувати логістичні операції таким чином, щоб звести до мінімуму вплив цих ризиків на безпеку доставки гуманітарної допомоги.

2. Моделювання ймовірності небезпеки на маршрутах

Другим важливим етапом є моделювання ймовірності небезпеки на маршрутах з урахуванням таких факторів, як час доби, відстань до зони конфлікту, стан доріг і транспортної інфраструктури. Цей підхід дозволяє оцінити рівень ризику для кожного маршруту та визначити, як різні чинники можуть змінювати небезпеку під час доставки вантажу. Моделювання ймовірності небезпеки включає:

- час доби, оскільки нічні перевезення можуть бути більш ризикованими через знижену видимість, вищу ймовірність атак або мінування доріг. Моделювання дозволяє визначити оптимальний час для транспортування вантажів.

- відстань до зони конфлікту, так як чим ближче маршрут проходить до зони бойових дій або тим більш нестабільним є сусіднє середовище, тим вищий рівень ризику. Моделювання допомагає визначити, які ділянки є найбільш небезпечними та вимагають додаткових заходів безпеки.

- стан доріг та інфраструктури, оскільки поганий стан доріг або повне їх зруйнування може значно збільшити ризики для транспортування вантажів. Оцінка стану інфраструктури дозволяє зменшити ймовірність непередбачуваних зупинок або аварій під час доставки.

3. Адаптація маршрутів у реальному часі

Адаптація маршрутів у реальному часі є одним із ключових аспектів аналізу ризиків, оскільки ситуація на маршрутах може змінюватися швидко через зміни в безпековій ситуації або руйнування інфраструктури. Важливим елементом цієї стратегії є динамічне коригування планів доставки, що дозволяє оперативно

змінювати маршрути або обирати альтернативні шляхи залежно від розвитку подій.

Адаптація маршрутів включає:

- моніторинг ситуації на маршрутах в реальному часі за допомогою супутникових даних, мобільних додатків, звітів водіїв та інших джерел;
- використання альтернативних маршрутів, якщо основний маршрут стає небезпечним або перекривається, система має автоматично обирати нові шляхи з мінімальними ризиками;
- у разі підвищення рівня небезпеки або непередбачених ситуацій можливе використання спеціалізованих транспортних засобів, таких як броньовані вантажівки чи поїзди, що забезпечують більшу безпеку для вантажу і персоналу.

Ці стратегії дозволяють оперативно реагувати на зміни у безпековій ситуації та зберігати стабільність гуманітарних поставок, що є критичним для забезпечення надійної доставки допомоги в постраждалих регіонах.

Метод аналізу витрат є важливим інструментом для оцінки всіх економічних аспектів логістичних операцій, зокрема транспортування, зберігання та обробки вантажів. В умовах гуманітарних поставок, що здійснюються під час кризових ситуацій, правильно побудований аналіз витрат дозволяє приймати оптимальні рішення щодо вибору найефективніших і найбезпечніших маршрутів доставки, зменшуючи загальні витрати на логістичні операції при максимальній безпеці вантажів та персоналу. Цей метод особливо важливий у контексті гуманітарної допомоги, де необхідно зберігати баланс між економічною доцільністю та потребою забезпечити своєчасне і безпечне постачання в зону конфлікту.

Основні складові витрат у логістичних операціях

1. Витрати на транспортування

Витрати на транспортування є одними з основних компонентів загальних витрат у логістичних операціях. Вони залежать від кількох ключових факторів, серед яких:

- вартість транспортування змінюється залежно від відстані, умов дороги, наявності заблокованих ділянок або зруйнованих мостів. У кризових

умовах можливе перенаправлення маршрутів на менш безпечні або довші ділянки, що збільшує витрати.

– вартість транспортування також змінюється в залежності від виду транспорту (автомобільний, залізничний, річковий, авіаційний). Наприклад, використання автомобільного транспорту може бути менш економічним у порівнянні з залізничним, однак в умовах бойових дій і блокування доріг, використання певного типу транспорту може бути необхідним для забезпечення безпеки.

– витрати на транспортування можуть суттєво змінюватися в залежності від наявних обмежень на рух транспорту. Це можуть бути заблоковані дороги, пошкоджені інфраструктурні об'єкти, або перевантаження основних шляхів. У таких умовах виникає необхідність в пошуку альтернативних маршрутів або в залученні спеціальних транспортних засобів, що може збільшити витрати.

Для розрахунку витрат на транспортування застосовуються відповідні математичні моделі, що враховують усі зазначені чинники. Вони дозволяють визначити найбільш економічно ефективні варіанти доставки, оптимізуючи обсяг перевезень між логістичними центрами та кінцевими пунктами призначення.

2. Витрати на зберігання

Витрати на зберігання товарів є важливою складовою частиною логістичних витрат, які можуть змінюватися залежно від тривалості зберігання та обсягів товарів, що потребують зберігання на складах. До основних витрат на зберігання належать:

– витрати, пов'язані з використанням складських приміщень для зберігання вантажів до або після доставки. Оренда склада може бути вплинути не тільки на розміри приміщення, а й на специфічні вимоги до умов зберігання (наприклад, для медичних препаратів чи продуктів харчування).

– для оптимального зберігання товарів необхідно здійснювати управління запасами, що включає в себе витрати на облік, організацію руху товарів на складі, а також використання спеціальних технологій для обробки і зберігання вантажів.

– якщо гуманітарна допомога включає вантажі, що потребують спеціальних умов зберігання (наприклад, контролю температури, вологості або захисту від шкідників), то витрати на зберігання зростають відповідно до вимог до інфраструктури.

3. Витрати на обробку вантажів

Обробка вантажів на складах та під час транспортування є ще одним важливим аспектом логістичних витрат. Це включає:

– для забезпечення швидкого і ефективного розподілу товарів, що надходять на склад, необхідно їх сортувати, що може вимагати додаткових затрат на робочі ресурси та технічні засоби.

– часто вантажі потребують спеціального пакування для забезпечення їх безпеки під час транспортування. Пакування може включати використання картонних коробок, контейнерів, палет, а також спеціальних матеріалів для захисту від пошкоджень або вологи.

– витрати на контроль якості включають перевірку вантажів на предмет їхнього стану, відповідності вимогам, а також наявності пошкоджень або дефектів. Це є критично важливим для гуманітарних вантажів, таких як медикаменти, продовольство та інші життєво необхідні товари.

– якщо гуманітарна допомога перетинає кордони, необхідно враховувати митні витрати, включаючи тарифи, податки, збори та інші витрати, пов'язані з оформленням вантажів на кордоні.

Метод аналізу витрат дає можливість провести порівняльний аналіз різних сценаріїв доставки гуманітарної допомоги, що дозволяє визначити найбільш економічно вигідні та безпечні варіанти з урахуванням обмежень на ресурси та рівня ризиків. Завдяки застосуванню математичних моделей, таких як лінійне програмування, можна порівняти витрати на різні типи транспорту, різні маршрути доставки, а також варіанти зберігання та обробки вантажів.

Порівняльний аналіз дозволяє не лише мінімізувати витрати, а й зберегти стабільність постачань, забезпечуючи найбільш ефективне використання обмежених ресурсів. Врахування всіх складових витрат, таких як транспортування,

зберігання та обробка вантажів, дає змогу створити найбільш ефективну та економічно доцільну стратегію доставки гуманітарної допомоги.

Прогнозування потреб є критично важливим інструментом для забезпечення ефективного планування та розподілу гуманітарної допомоги в умовах криз, зокрема в умовах війни та соціально-політичних катастроф. Цей метод дозволяє визначити обсяги гуманітарних вантажів, які будуть необхідні в різних регіонах, виходячи з поточної ситуації та майбутніх змін, що є основою для ефективної логістичної стратегії.

Прогнозування потреб допомагає зберегти баланс між кількістю гуманітарної допомоги, що постачається, і реальними потребами в регіонах, таким чином запобігаючи як дефіциту, так і надлишковим запасам. У правильному плануванні обсягів постачань також критично важливо враховувати можливі зміни в майбутньому, які можуть виникнути через різні соціально-економічні або політичні фактори.

Методи прогнозування потреб

1. Історичні дані про обсяги попиту на гуманітарну допомогу

Одним з основних джерел для прогнозування потреб є історичні дані про попит на гуманітарну допомогу в конкретних регіонах, що постраждали від конфліктів, природних катастроф чи інших кризових ситуацій. Ці дані включають в себе:

- попередні періоди постачань гуманітарної допомоги, що дозволяє зрозуміти рівень потреб у різні часи;
- статистичні дані про обсяги допомоги, яка була надана в минулі роки, зокрема з урахуванням сезонних коливань (наприклад, в зимовий період потреба в гуманітарних товарах може зрости через погіршення погодних умов);
- тенденції зростання або зменшення потреб в залежності від зміни кількості постраждалих, рівня інфляції, стану інфраструктури та інших факторів.

Застосування історичних даних дозволяє будувати прогнози з огляду на наявний досвід та визначити очікувані обсяги гуманітарної допомоги на основі минулих кризових ситуацій в подібних умовах.

2. Прогнозування на основі соціально-економічних та політичних факторів

Прогнозування потреб не обмежується лише історичними даними. Оскільки соціально-економічні та політичні зміни можуть суттєво впливати на рівень гуманітарних потреб, важливо враховувати такі фактори, як:

- демографічні зміни, зокрема збільшення кількості вимушених переселенців, можуть значно змінити попит на гуманітарну допомогу. Прогнозування чисельності постраждалих або переміщених осіб в регіонах дозволяє правильно розрахувати необхідні обсяги продовольства, медикаментів та інших ресурсів.

- ескалація або деескалація бойових дій може швидко змінити потреби в гуманітарній допомозі. Наприклад, на пізніших етапах конфлікту, коли інфраструктура зруйнована, можуть зростати потреби в паливі, будівельних матеріалах та медичних засобах.

- зима або сильні дощі можуть створювати додаткові труднощі для пересування, що призводить до збільшення потреб у теплом одязі, паливі та медикаментах.

- вплив економічної ситуації в країні або в регіоні може змінювати обсяги попиту. Наприклад, економічна нестабільність, інфляція або дефіцит товарів може призвести до збільшення потреб у гуманітарній допомозі.

Цей вид прогнозування дозволяє враховувати довгострокові зміни і забезпечує точніші прогнози на основі майбутніх соціально-економічних і політичних процесів.

3. Моделювання майбутніх змін у потребах

Оскільки ситуація на фронті або в кризових регіонах може швидко змінюватися, використовується моделювання майбутніх змін у потребах, що дозволяє передбачити різні сценарії розвитку подій і відповідно підготуватися до них. Моделювання враховує не тільки поточні потреби, а й можливі зміни внаслідок таких факторів, як:

- розширення або зменшення території конфлікту;
- відновлення інфраструктури чи її подальше руйнування;

- зміни в чисельності населення (наприклад, зростання кількості біженців чи внутрішньо переміщених осіб);
- еволюція політичної ситуації, що може призвести до зміни гуманітарної політики чи доступу до постраждалих регіонів.

Моделювання допомагає прогнозувати потреби в найближчі місяці та роки, даючи змогу заздалегідь підготувати плани постачання і визначити необхідні ресурси.

Прогнозування потреб на основі цих методів має кілька ключових переваг:

- правильне прогнозування дозволяє уникнути ситуацій, коли на складах не вистачає необхідних товарів або, навпаки, накопичуються надлишкові запаси. Це дозволяє ефективно використовувати ресурси.
- прогнозування дає можливість планувати постачання гуманітарної допомоги рівномірно та своєчасно, що зменшує ризики затримок у доставці та дефіциту на критичних етапах.
- завдяки точному прогнозу можна оптимізувати логістичні потоки, зменшуючи витрати на транспортування та зберігання товарів.
- прогнозування дозволяє гнучко реагувати на зміни в умовах, коригуючи плани доставки в залежності від розвитку ситуації на фронті чи в регіонах.

3.2 Розроблення рекомендацій щодо покращення ефективності гуманітарної логістики

На основі результатів моделювання та аналізу оптимальних потоків гуманітарної допомоги між логістичними центрами та прифронтовими містами, а також динаміки запасів, були розроблені кілька ключових рекомендацій для покращення ефективності гуманітарної логістики. Ці рекомендації стосуються як стратегічного планування логістичних операцій, так і оперативного управління запасами та потоками товарів у умовах нестабільної ситуації.

Покращення точності прогнозування потреб у гуманітарній допомозі є критично важливим для ефективної організації гуманітарної логістики, особливо в

умовах війни чи природних катастроф. Від того, наскільки точно прогноуються потреби на кожному етапі, залежить здатність системи швидко та ефективно реагувати на змінювані умови. Точне прогнозування дозволяє оптимально розподіляти обмежені ресурси між різними регіонами та міцно координувати постачання допомоги, що є ключовим для стабільного забезпечення потреб прифронтових міст.

Прогнозування потреб у гуманітарній допомозі може бути складним завданням через кілька факторів. Один із найбільших викликів – це нестабільність, зумовлена постійними змінами на фронті, можливими бойовими діями, переселенням населення та змінами в доступності інфраструктури. У таких умовах традиційні методи прогнозування, засновані на простих статистичних моделях, можуть не дати точних результатів. Прогнозування потреб повинно враховувати не лише поточні потреби в продуктах, медикаментах та інших необхідних речах, але й змінюватися відповідно до оперативної ситуації. Тому критично важливим є використання більш динамічних і адаптивних підходів до прогнозування, які б дозволили враховувати швидко змінювані умови.

Розглянемо прогнозування кількості постраждалих серед цивільного населення за 2024 рік. За допомогою методу експоненційного згладжування проведемо прогнозування на грудень 2024 року.

Таблиця 3.1 – Кількість постраждалих серед цивільного населення за 2024 рік з прогнозом на грудень, осіб

Місяць	Дійсні значення	Прогнозовані значення
Січень	524	500,0
Лютий	359	519,2
Березень	498	391,0
Квітень	600	476,6
Травень	719	575,3
Червень	720	690,3
Липень	1113	714,1
Серпень	901	1033,2
Вересень	1220	927,4
Жовтень	903	1161,5
Листопад	1105	954,7
Грудень		1074,9

Джерело: складено автором на основі [32]

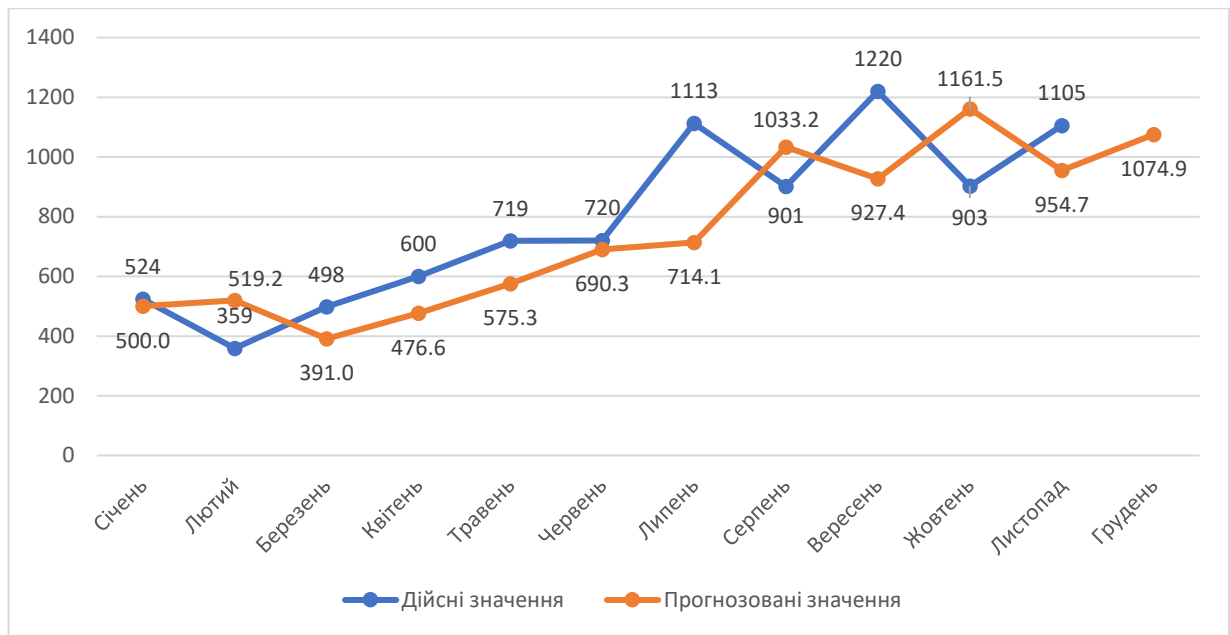


Рисунок 3.1 – Кількість постраждалих серед цивільного населення за 2024 рік з прогнозом на грудень, осіб

Джерело: складено автором на основі [32]

За отриманими даними можна побачити що кількість постраждалих у нас зростає. В контексті доставки гуманітарної допомоги це означає що потреби у медикаментах також будуть зростати.

Таблиця 3.2 – Прогнозування кількості випущених снарядів по території України на грудень 2024 року, од.

	Кількість ракет (без С-300/С-400), од.	Кількість БПЛА Shahed-136, од.	Всього, дійсні значення	Всього, прогнозовані значення
Січень	225	334	559	500
Лютий	115	356	471	547
Березень	247	603	850	486
Квітень	155	295	450	777
Травень	125	349	474	515
Червень	140	328	468	482
Липень	113	426	539	471
Серпень	228	789	1017	525
Вересень	151	1 327	1478	919
Жовтень	86	1 917	2003	1366
Листопад	269	1 914	2183	1876
Грудень				2122

Джерело: складено автором на основі [49]

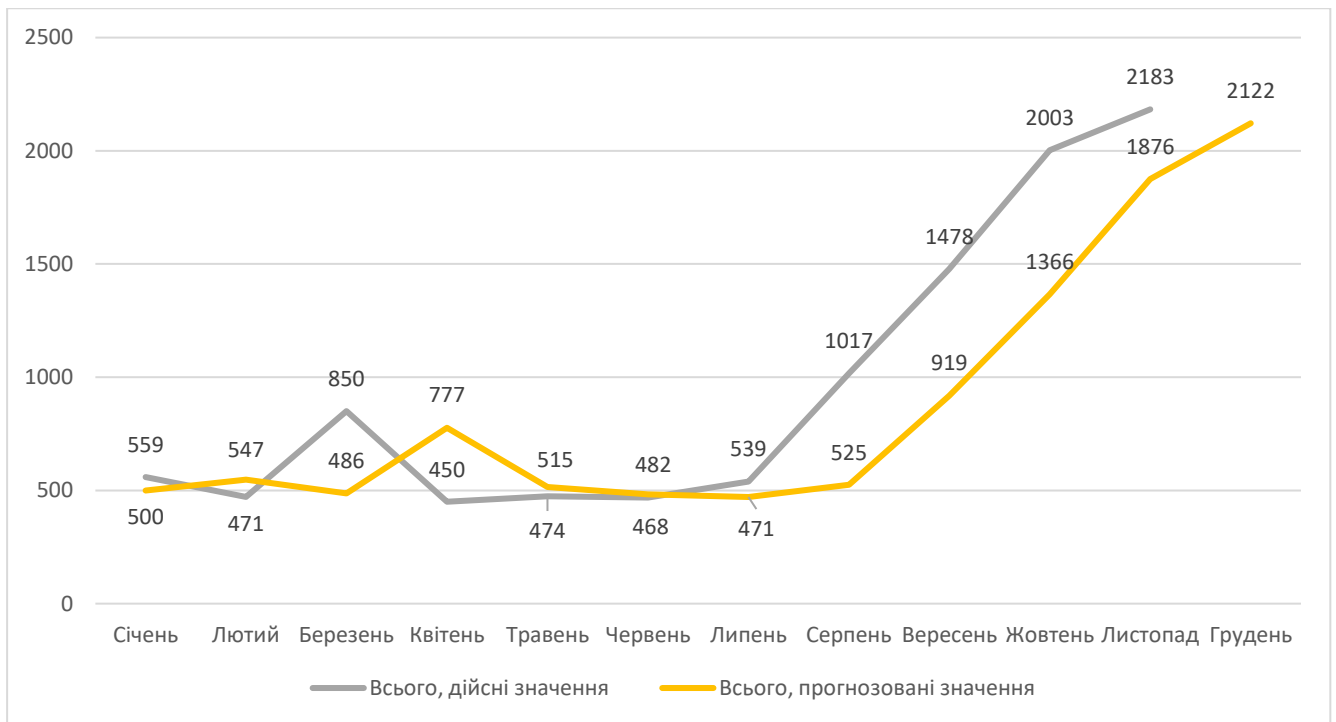


Рисунок 3.2 – Прогнозування кількості випущених снарядів по території України на грудень 2024 року, од.

Джерело: складено автором на основі [49]

Дані свідчать про значне зростання кількості постраждалих серед цивільного населення, що підтверджується прогнозованими значеннями на грудень 2024 року (1074,9 осіб). Така динаміка вказує на зростаючі потреби в медичній допомозі, включаючи ліки, обладнання та персонал. Водночас прогнозована кількість випущених снарядів (2122 од.) демонструє підвищення інтенсивності атак, особливо з використанням БПЛА, що створює додаткове навантаження на системи гуманітарної підтримки. Це безпосередньо впливає на логістику доставки допомоги, оскільки зростає потреба у швидкому реагуванні, збільшенні обсягів постачання та забезпеченні безпеки перевезень. Збільшення кількості атак призводить до руйнування критичної інфраструктури, що ускладнює доступ до постраждалих районів і підвищує ризики для гуманітарних конвоїв. Прогнозовані показники свідчать про те, що у грудні 2024 року гуманітарна ситуація залишатиметься складною, з постійно зростаючою потребою у координації зусиль для забезпечення життєво необхідної допомоги населенню.

Для покращення точності прогнозування необхідно інтегрувати різні типи даних у процес моделювання. Одним з таких підходів може бути використання

даних про поточну військову ситуацію та прогнозовані зміни на фронті. Наприклад, у разі загострення бойових дій або зміни лінії фронту, потреби в гуманітарній допомозі можуть різко зрости в певних регіонах, що вимагає оперативного реагування. Інформація про можливі напади, зміни в зоні бойових дій, переміщення біженців або пошкодження інфраструктури безпосередньо впливає на обсяги необхідної допомоги.

Крім того, для точного прогнозування варто враховувати демографічні зміни в регіонах. Наприклад, збільшення кількості біженців або переміщення людей з прифронтових зон може істотно змінити потреби у воді, їжі та медикаментах. Інтеграція демографічних даних з поточною ситуацією на місцях дозволить більш точно прогнозувати, які саме категорії товарів будуть потрібні в конкретний момент часу.

Також важливо застосовувати моделі, які б дозволяли прогнозувати потреби з урахуванням сезонних факторів. Наприклад, в холодні місяці року потреби в одязі, паливі та теплих речах значно зростають, що повинно бути враховано в процесі планування. Це також стосується сезонних захворювань, коли потреба в медикаментах та медичних засобах може різко зростати.

Для підвищення точності прогнозування варто використовувати сучасні аналітичні інструменти та технології. Один із підходів – це застосування методів машинного навчання, які дозволяють аналізувати великі обсяги даних і виявляти приховані патерни, що не завжди очевидні для традиційних статистичних методів. Застосування таких технологій дозволяє створити адаптивні моделі прогнозування, які враховують як довгострокові тенденції, так і короткострокові зміни, що виникають у відповідь на конкретні події чи зміни в оточуючому середовищі.

Важливою складовою покращення прогнозування є інтеграція даних від різних організацій, що займаються гуманітарною діяльністю. Це дозволить створити єдину базу даних, яка б забезпечувала більш точне та актуальне відображення потреб у допомозі, а також дозволяла б оперативно коригувати плани постачання, з урахуванням нових даних. Спільна робота між урядовими та неурядовими організаціями, міжнародними гуманітарними фондами та місцевими

структурами забезпечить більшу прозорість та ефективність в процесі планування поставок.

Ще одним аспектом, який допоможе покращити точність прогнозування, є активне використання технологій моніторингу в реальному часі. Використання дронів, супутникових знімків та інших інструментів для моніторингу стану доріг, наявності блоkad або пошкоджених інфраструктур може дати точніші дані про доступність маршрутів і можливості доставки допомоги в конкретні регіони.

Враховуючи всі ці аспекти, покращення точності прогнозування потреб у гуманітарній допомозі не лише дозволить ефективно використовувати наявні ресурси, але й значно покращить координацію між різними гуманітарними організаціями та забезпечить більш оперативне реагування на змінювану ситуацію в зонах конфлікту. Точне прогнозування є основою для створення більш адаптивних і стійких логістичних ланцюгів, що дозволить зменшити витрати, знизити ризики та своєчасно доставити необхідну допомогу тим, хто її потребує.

Забезпечення додаткових резервів для критичних регіонів є важливою складовою стратегії гуманітарної логістики, особливо в умовах, коли регіони піддаються високим ризикам через бойові дії, природні катастрофи або інші надзвичайні ситуації. Виявлення таких регіонів та забезпечення їх необхідними запасами є надзвичайно важливим для забезпечення стабільності поставок гуманітарної допомоги в періоди криз.

Одним з основних завдань гуманітарної логістики є своєчасне реагування на змінні умови та забезпечення швидкого постачання товарів у регіони, що потребують негайної допомоги. Критичні регіони, як правило, є тими територіями, де зростають потреби у гуманітарній допомозі через різке збільшення населення, пов'язане з переміщенням біженців або через постійні бойові дії, які руйнують інфраструктуру та призводять до дефіциту продуктів харчування, води, ліків і медичного обладнання.

Одним з головних факторів, який визначає критичність регіону, є високий рівень нестабільності та ризику. Наприклад, такі міста, як Слов'янськ, Краматорськ, Северодонецьк, Маріуполь та інші, розташовані в зоні активних бойових дій, де

постійно змінюється ситуація і потреби в гуманітарній допомозі можуть швидко змінюватися. У таких умовах вкрай важливо мати достатньо запасів для оперативного реагування на різке збільшення потреб. Без цього, гуманітарні організації можуть не встигнути доставити допомогу вчасно, що може призвести до гуманітарної катастрофи.

Для забезпечення таких резервів, логістичні хаби повинні мати стратегії швидкого розподілу товарів, а також можливість швидко збільшувати обсяги запасів на випадок різкого збільшення попиту в критичних регіонах. Наприклад, основні логістичні центри, такі як Львів, Київ та Полтава, можуть виконувати роль перевалочних пунктів, де здійснюється накопичення товарів для подальшого швидкого розподілу в зони з високими потребами.

Одним з підходів для створення резервів є виявлення потенційно небезпечних і кризових зон на основі прогнозів військових або інших соціальних і політичних подій, що можуть вплинути на потреби в гуманітарній допомозі. Прогнозування та своєчасне формування стратегічних резервів дозволяє уникнути ситуацій, коли в певних регіонах критично не вистачає необхідних ресурсів, і дозволяє більш ефективно розподіляти допомогу між логістичними центрами та кінцевими пунктами постачання.

Це також включає в себе створення системи для оперативного поповнення запасів в умовах зміни військової ситуації. Наприклад, після боїв або блокування доріг, з'являється потреба в терміновому поповненні запасів на конкретних логістичних центрах або в критичних зонах. Тому важливо, щоб ці резерви могли бути швидко мобілізовані та доставлені до місця призначення.

Особливу увагу потрібно приділити інфраструктурі зберігання в районах, де високий ризик пошкодження або руйнування складів. У таких випадках необхідно розглядати альтернативні методи зберігання товарів – наприклад, використання мобільних складів, тимчасових укриттів або навіть підземних сховищ, які можуть забезпечити безпеку запасів навіть під час обстрілів або нападів.

Враховуючи специфіку прифронтових регіонів, де можуть спостерігатися зміни в потребах залежно від конкретних обставин (наприклад, після великих атак

або появи нових біженців), стратегічні резерви повинні мати можливість швидко адаптуватися до нових умов. Для цього можна впроваджувати більш гнучкі системи управління запасами, що дозволяють в реальному часі коригувати обсяги на основі оперативних даних про ситуацію на місці.

У рамках цієї стратегії варто також звернути увагу на міжнародні постачання. У випадку великої нестачі ресурсів або різкої зміни обстановки, додаткові запаси можуть бути залучені через міжнародні гуманітарні організації або держави-партнери. Для цього важливо підтримувати постійну координацію з міжнародними партнерами, щоб забезпечити швидкий доступ до необхідних ресурсів.

Отже, забезпечення додаткових резервів для критичних регіонів є необхідною умовою для ефективного функціонування гуманітарної логістики в умовах нестабільності та високих ризиків. Завдяки цим резервам можна забезпечити стабільність поставок гуманітарної допомоги, навіть коли виникають непередбачувані ситуації, а також знизити ризики гуманітарної катастрофи в районах з високою концентрацією потреб.

Оптимізація транспортних маршрутів з урахуванням безпеки є ключовим аспектом для ефективно організації гуманітарних поставок, особливо в умовах бойових дій або природних катастроф, коли рівень небезпеки на маршрутах значно зростає. У гуманітарній логістиці це означає не лише мінімізацію витрат на транспортування, але й зменшення ризиків для життя та здоров'я учасників операцій, а також забезпечення безперервного постачання допомоги в умовах високої небезпеки.

Перш за все, важливо врахувати, що маршрути для транспортування гуманітарної допомоги повинні бути не лише оптимальними з точки зору економічних витрат, але й безпечними. У зв'язку з цим потрібно враховувати багато факторів, таких як стан інфраструктури, рівень військових загроз, можливі блокади, мінування доріг, а також погодні умови, що можуть вплинути на швидкість доставки і безпеку вантажу.

Одним із головних елементів оптимізації є вибір маршрутів, що дозволяють мінімізувати ризики для конвоїв, а також забезпечити їх швидке пересування з

мінімальними затримками. Одним із способів забезпечити безпеку є планування маршрутів таким чином, щоб уникнути зон бойових дій, де є висока ймовірність обстрілів або атак на гуманітарні конвої. Це потребує постійного моніторингу ситуації на фронті та використання актуальних даних про безпеку на дорогах. Застосування технологій GPS-навігації та супутникових знімків дозволяє отримувати в реальному часі дані про стан інфраструктури та потенційні загрози, що дозволяє своєчасно коригувати маршрути, якщо це необхідно.

Одним із важливих аспектів є вибір алгоритмів для оптимізації маршрутів з урахуванням безпеки. Традиційні алгоритми оптимізації, такі як методи Дейкстри чи A^* , можуть бути адаптовані для врахування не лише відстані, але й рівня небезпеки на кожному етапі маршруту. Для цього доцільно ввести змінні, які будуть оцінювати безпеку кожного маршруту, базуючись на таких факторах, як інтенсивність бойових дій, наявність мін, стан доріг, рівень ризику нападу тощо. Кожен маршрут буде мати не лише свою вартість, а й коефіцієнт ризику, що дозволяє обрати найбільш безпечний і оптимальний шлях для перевезень.

Крім того, важливо враховувати час доби на маршрутах. Вночі, через погіршену видимість і можливі затори, ризик для транспортування може збільшуватися, тому для підвищення безпеки в деяких випадках може бути доцільно перенести перевезення на денний час. У моделі може бути введена змінна часу доби, яка дозволить коригувати оптимальні маршрути з урахуванням рівня небезпеки в конкретні години.

Для забезпечення додаткової безпеки можна також включити параметри супроводу. Наприклад, у випадку, коли маршрут проходить через особливо небезпечні зони, можна використовувати супровід збройних сил або спеціальних підрозділів для супроводу гуманітарних конвоїв. Це додатково збільшує вартість перевезень, але значно підвищує безпеку перевезень.

Важливим є також питання планування альтернативних маршрутів. У разі, якщо основний маршрут стає недоступним через бойові дії або природні перешкоди, логістична система повинна мати можливість швидко перенаправити конвої через інші, менш небезпечні шляхи. Для цього потрібно мати добре

розроблену карту маршрутів, яка б включала як основні шляхи, так і можливі альтернативи, що дозволяють мінімізувати затримки і забезпечити постачання навіть у складних умовах.

Не менш важливим є врахування місцевих умов. Наприклад, в деяких регіонах може бути необхідність адаптувати транспорт до місцевих доріг або погодних умов, таких як сильні дощі, снігопади або спека, що можуть впливати на стан доріг або безпеку вантажів. Транспорт, що використовується для гуманітарних поставок, має бути спеціально адаптований до таких умов, що також потребує додаткових затрат.

Для підвищення ефективності транспортування важливо також використовувати системи моніторингу і контролю за безпекою маршрутів. Завдяки використанню супутникових технологій і мобільних додатків можна здійснювати моніторинг руху гуманітарних конвоїв у реальному часі, отримувати інформацію про затори, обстріли або інші перешкоди на маршрутах і оперативно коригувати маршрути доставки. Такі технології дозволяють знижувати ризики та збільшувати ефективність логістичних операцій, зменшуючи кількість несподіваних інцидентів, що можуть призвести до зупинок постачання або втрат вантажів.

Таким чином, оптимізація транспортних маршрутів з урахуванням безпеки є не лише економічною задачею, але й питанням забезпечення безпеки людей і вантажів, а також ефективності гуманітарних поставок. Врахування всіх факторів ризику, постійний моніторинг безпеки, використання новітніх технологій і адаптація маршрутів до змінних умов дозволяють забезпечити своєчасну доставку допомоги навіть у найбільш складних і небезпечних умовах.

Покращення координації між логістичними центрами є критично важливим для забезпечення ефективного управління гуманітарною логістикою, особливо в умовах високої невизначеності та нестабільності, коли наявні ресурси можуть бути обмежені, а потреби в допомозі – постійно змінюватися. У гуманітарних операціях, де кожна хвилина має значення, належна координація між різними логістичними центрами допомагає забезпечити своєчасну доставку допомоги в потрібні регіони

та ефективно управляти запасами, що критично важливо для зменшення втрат і мінімізації витрат.

Найважливіше завдання в покращенні координації полягає в тому, щоб забезпечити швидкий і ефективний обмін інформацією між усіма учасниками процесу – логістичними центрами, постачальниками, дистриб'юторами та кінцевими споживачами допомоги. Без належної координації складно уникнути затримок у доставці, нестачі ресурсів у певних регіонах або перевантаження одного з логістичних центрів. Тому основними напрямками покращення координації є інтеграція інформаційних систем, стандартизація процесів і оптимізація обміну даними в реальному часі.

Інтеграція інформаційних технологій є одним з основних кроків для забезпечення ефективної координації. Важливо впровадити централізовану систему управління ланцюгами поставок, яка дозволяє в реальному часі моніторити запаси, потреби, потоки товарів та транспортні маршрути. Це дозволяє логістичним центрам швидко отримувати актуальну інформацію про поточний стан поставок і приймати необхідні рішення для коригування операцій. Така система має включати автоматичний обмін даними між усіма учасниками, що дозволить зменшити час на прийняття рішень і знизити ймовірність помилок через людський фактор.

Важливим елементом покращення координації є стандартизація процесів між логістичними центрами. Кожен логістичний хаб повинен мати чітко визначену роль і стандартизовані процедури для прийому, обробки та відправки товарів. Це дозволяє уникнути непорозумінь і знизити час на виконання операцій. Для кожного з логістичних центрів повинні бути розроблені чіткі алгоритми дій в разі різних сценаріїв, наприклад, зміни обсягів поставок або виникнення непередбачених обставин (знищення інфраструктури, військові атаки тощо). У таких умовах кожен центр буде готовий до швидкої реакції і зможе оперативно перерозподілити ресурси для забезпечення інших регіонів.

Значну роль у покращенні координації відіграє також планування запасів на основі прогнозів потреб. Відповідно до зміни ситуації на фронті та коливанням потреб у гуманітарній допомозі, логістичні центри повинні мати можливість

коригувати свої запаси та маршрути транспортування в реальному часі. Це вимагає регулярного оновлення інформації про потреби в гуманітарній допомозі з кожного прифронтового міста, а також про стан логістичної інфраструктури. Централізоване управління запасами дозволяє оптимізувати використання ресурсів, забезпечуючи рівномірний розподіл товарів по всіх хабах.

Для забезпечення координації між логістичними центрами необхідно також створити спільні комунікаційні платформи, де всі учасники можуть обмінюватися інформацією, що дозволить уникнути дублювання зусиль і забезпечити більш ефективно використання наявних ресурсів. Ці платформи можуть включати в себе чат-системи, електронну пошту, а також інтерфейси для автоматичного обміну даними між різними інформаційними системами.

Не менш важливим є регулярний моніторинг і аналіз ефективності логістичних операцій. Координація між центрами має бути підкріплена постійним контролем за виконанням плану постачання, а також аналізом можливих затримок або проблем, що виникають на різних етапах поставки. Це дозволяє своєчасно виявляти вузькі місця в системі і коригувати стратегії в процесі реалізації.

Враховуючи постійну змінність ситуації, зокрема в умовах війни або інших кризових ситуацій, важливо мати можливість гнучко адаптуватися до нових умов. Зміни в обстановці, такі як блокування доріг, виникнення нових зон бойових дій, переміщення населення або надзвичайні погодні умови, можуть суттєво вплинути на потреби та можливості логістичних центрів. Для цього необхідно, щоб кожен центр мав резервні плани на випадок непередбачуваних змін, а система могла оперативно реагувати на такі зміни.

Загалом, покращення координації між логістичними центрами дозволяє значно підвищити ефективність гуманітарної логістики, знизити витрати та забезпечити більш швидку та надійну доставку допомоги до прифронтових міст. Це також зменшує ризики затримок і дефіциту ресурсів, що є важливим для підтримки стабільності та безпеки населення в умовах конфлікту чи кризи.

Підвищення гнучкості в управлінні запасами є одним з найважливіших аспектів для забезпечення ефективної гуманітарної логістики, особливо в умовах

нестабільної ситуації, що супроводжується змінами потреб, зміщенням лінії фронту або несподіваними викликами. У випадку гуманітарних операцій, де час і точність мають вирішальне значення, важливою є здатність швидко адаптуватися до змінних умов і вчасно коригувати управління запасами відповідно до реальних потреб.

Гнучкість в управлінні запасами дозволяє швидко реагувати на зміни в попиті, відновлювати запаси в разі непередбачених ситуацій і забезпечувати наявність ресурсів у критичних регіонах без перевантаження логістичних центрів. В умовах війни або природних катастроф гуманітарні потреби можуть змінюватися швидко і непередбачувано, що робить необхідним розробку механізмів для постійної адаптації і коригування планів доставки допомоги.

Перш за все, важливо забезпечити гнучкість в прогнозуванні потреб. В умовах бойових дій, коли зростає потік біженців або змінюється ситуація на фронті, потреби в гуманітарній допомозі можуть змінюватися за лічені години або дні. Статичні моделі прогнозування часто не здатні врахувати всі ці зміни, тому необхідно впроваджувати динамічні моделі, які дозволяють в реальному часі коригувати обсяги гуманітарних вантажів у залежності від зміни ситуації. Це може включати використання аналітики для передбачення сезонних коливань потреб або навіть екстремальних ситуацій, коли певні регіони потребують негайної допомоги.

Другим важливим елементом є гнучке управління запасами в реальному часі. Логістичні центри повинні мати можливість швидко змінювати свої запаси і реагувати на зміни в попиті. Для цього необхідно мати доступ до точних даних про наявні запаси в кожному регіоні і прогнозовані потреби в кожному з прифронтових міст. Це дозволяє своєчасно перерозподіляти ресурси між логістичними центрами та регіонами, де попит є найбільшим. Таке управління запасами допомагає не лише забезпечити своєчасне постачання гуманітарної допомоги, але й уникнути дефіциту або перевантаження конкретних пунктів.

Для підвищення гнучкості також важливо мати резервні запаси, які можуть бути використані у разі непередбачуваних змін. Наприклад, якщо прогнозування показує збільшення попиту на певні види допомоги через зростання кількості біженців чи посилення бойових дій, логістичні хаби повинні мати можливість

швидко поповнювати свої запаси, щоб уникнути затримок у доставці. Задоволення потреб у критичних регіонах може вимагати значного збільшення запасів в певних пунктах, тому стратегічні резерви є важливим елементом забезпечення стабільності поставок.

Один з методів підвищення гнучкості – це використання мобільних складів або тимчасових зберігань, які можна оперативнo розгорнути у місцях, де зростають потреби. Це дає можливість зберігати більший обсяг гуманітарної допомоги, не залежно від того, наскільки сильно інфраструктура в певних регіонах постраждала від бойових дій або природних катастроф. Мобільні склади можуть бути швидко розгорнуті в зоні високої потреби, що дає змогу оперативнo доставляти допомогу туди, де її необхідно найбільше.

Використання інформаційних технологій є ще одним важливим інструментом для підвищення гнучкості в управлінні запасами. Завдяки використанню автоматизованих систем управління запасами, які інтегровані з системами моніторингу в реальному часі, можна швидко отримувати інформацію про наявні запаси, поточний попит і потреби на конкретних маршрутах. Це дозволяє не тільки оперативнo коригувати обсяги поставок, але й оптимізувати процеси зберігання та транспортування, що суттєво знижує витрати.

Гнучкість в управлінні запасами також забезпечується завдяки правильному плануванню та інтеграції з іншими гуманітарними організаціями та партнерами. Спільне планування і обмін інформацією між різними організаціями дозволяють забезпечити більш ефективне розподілення ресурсів і зменшити дублювання зусиль. Наприклад, якщо один логістичний центр вже перевантажений запасами, інший центр може тимчасово компенсувати цей дефіцит, не чекаючи, поки перший хаб вирішить проблему.

Загалом, підвищення гнучкості в управлінні запасами дозволяє знизити витрати, покращити швидкість реагування на змінювані умови і забезпечити своєчасну доставку гуманітарної допомоги в найскладніші регіони. Це також підвищує ефективність роботи гуманітарних організацій, оскільки забезпечує більш точне та швидке виконання планів постачання, зменшує кількість витратних

і неефективних дій та забезпечує максимальну допомогу тим, хто її найбільше потребує.

Покращення управління ризиками є критично важливим аспектом у сфері гуманітарної логістики, особливо в умовах нестабільної ситуації, де гуманітарні організації та логістичні оператори стикаються з численними загрозами, такими як бойові дії, природні катастрофи, блокади, атаки на конвої та інші непередбачувані фактори. Врахування та ефективне управління ризиками дозволяє знизити ймовірність зупинок у постачанні, забезпечити безпеку вантажів і людей, а також покращити ефективність загальної логістичної операції.

Одним з ключових аспектів покращення управління ризиками є ідентифікація та оцінка ризиків на кожному етапі гуманітарної логістики. Це включає не лише аналіз зовнішніх факторів, таких як рівень бойових дій на маршрутах або природні загрози, а й внутрішні ризики, пов'язані з управлінням запасами, інфраструктурними проблемами чи технічними несправностями транспорту. Виявлення всіх потенційних загроз і створення на їх основі детальних сценаріїв дозволяє створити план дій для кожної ситуації.

Основними видами ризиків в гуманітарній логістиці є:

– Ризик безпеки на маршруті

Обстріли, замінування, напади на конвої – це найбільші загрози для транспортування вантажів. Цей ризик вимагає ретельного планування маршрутів, врахування поточної ситуації на фронті і здатності адаптувати плани до змін у реальному часі.

– Ризик затримок або блокад на маршрутах

Блокування доріг, пошкодження інфраструктури, погіршення погодних умов можуть значно затримати постачання. Для зниження цього ризику важливо мати альтернативні маршрути, які можуть бути використані в разі непередбачених ситуацій.

– Ризик людських помилок

Невірне планування, неадекватне управління запасами або неефективна комунікація між логістичними центрами можуть призвести до серйозних збоїв у

системі постачання. Для цього необхідно стандартизувати процеси, навчати персонал і забезпечити чітку комунікацію.

– Ризик технічних несправностей

Пошкодження транспорту чи обладнання, що використовується для перевезень, також можуть спричинити затримки і зупинку поставок. Для цього потрібно регулярно перевіряти технічний стан транспортних засобів і обладнання, проводити обслуговування та ремонти.

Для ефективного управління ризиками необхідно використовувати моделі оцінки ризиків, які допомагають визначити ймовірність виникнення конкретних загроз і їх вплив на процес постачання. Одним із таких інструментів є використання комбінованих моделей ризику, які враховують різні фактори, такі як відстань, рівень небезпеки на маршруті, стан інфраструктури, погодні умови та інші параметри. Це дозволяє на ранніх етапах оцінити рівень загрози на кожному маршруті і коригувати план постачання відповідно до змін у ситуації.

Важливим компонентом управління ризиками є моніторинг і аналіз ситуації в реальному часі. Використання технологій, таких як супутникові знімки, GPS-навігація, системи моніторингу безпеки і погодних умов, дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан доріг, наявність блоkad, обстрілів або інших факторів, що можуть вплинути на маршрути. Це дозволяє не тільки оперативно реагувати на змінювані умови, але й прогнозувати можливі ризики, що дозволяє приймати превентивні заходи.

Одним з підходів до управління ризиками є розробка резервних планів для кожного логістичного центру. У разі виникнення непередбачуваних обставин (наприклад, закриття основного маршруту через бойові дії) необхідно мати альтернативні плани для забезпечення безперебійного постачання. Резервні плани мають включати альтернативні маршрути, запасні точки розвантаження, а також підготовленість до оперативного перенаправлення вантажів на інші напрямки.

Підготовка персоналу також є важливою частиною управління ризиками. Логістичні організації повинні забезпечити тренування і навчання для своїх співробітників щодо того, як діяти в надзвичайних ситуаціях, як правильно

оцінювати ризики та приймати оперативні рішення. Це включає навчання навичкам прийняття рішень в умовах стресу, оцінки безпеки та управління надзвичайними ситуаціями.

Нарешті, важливим аспектом покращення управління ризиками є міжнародна співпраця. Спільна робота з міжнародними гуманітарними організаціями, урядовими та неурядовими структурами дозволяє створити єдину базу даних про стан безпеки та поточну ситуацію на фронті, що є важливим для узгодження зусиль і забезпечення більш ефективної координації поставок.

Управління ризиками є комплексним процесом, який вимагає інтеграції різних інструментів, методів і підходів. Це дозволяє знижувати ймовірність непередбачуваних ситуацій, забезпечувати безпеку поставок і максимізувати ефективність гуманітарної логістики в умовах високої нестабільності та ризиків.

Модернізація інфраструктури і логістичних хабів є важливим аспектом забезпечення ефективної гуманітарної логістики, особливо в умовах постійно змінюваних обставин, таких як війна чи природні катастрофи. Логістичні хаби виконують роль основних пунктів зберігання і розподілу гуманітарної допомоги, тому їх сучасний стан і здатність до адаптації під час кризових ситуацій безпосередньо впливають на ефективність та своєчасність доставки допомоги в прифронтові зони та інші важкодоступні регіони.

Модернізація інфраструктури передбачає не лише оновлення існуючих складів і транспортних шляхів, а й адаптацію інфраструктури до нових викликів, таких як знищення частини інфраструктури в результаті бойових дій або природних катастроф, зміни в обсягах і характері потреб гуманітарної допомоги, а також швидке реагування на непередбачувані ситуації.

Одним із ключових напрямків модернізації є покращення складів і центрів обробки вантажів. Сучасні склади повинні мати можливість ефективно зберігати великі обсяги товарів різних категорій – від продуктів харчування до медикаментів і будівельних матеріалів. Для цього важливо оновити інфраструктуру складів, зробити їх більш просторими і доступними для швидкого вантаження і розвантаження товарів. Склади повинні бути оснащені автоматизованими

системами для обліку запасів і контролю їхнього стану в реальному часі, що дозволить зменшити ймовірність помилок при управлінні запасами, знизити витрати на обслуговування та підвищити загальну ефективність логістичних операцій.

Адаптація складів до умов війни також є важливою частиною модернізації інфраструктури. В умовах бойових дій інфраструктура часто стає мішенню для атак, тому важливо, щоб склади мали засоби захисту від вибухів, обстрілів або інших зовнішніх загроз. Наприклад, використання підземних або частково захищених складів може значно знизити ризики для товарів, які зберігаються. Мобільні склади або тимчасові укриття, які можуть бути розгорнуті в разі необхідності, також стають важливими інструментами для збереження запасів у випадку руйнування постійних складів.

Покращення транспортної інфраструктури є ще одним важливим аспектом модернізації логістичних хабів. Логістичні хаби повинні мати доступ до стабільних і безпечних транспортних шляхів, що дозволяє без затримок доставляти допомогу. У регіонах, де інфраструктура пошкоджена внаслідок бойових дій або стихійних лих, необхідно знову будувати або ремонтувати дороги, мости, залізничні лінії, а також забезпечувати доступ до портів і аеропортів. У тих місцях, де відновлення інфраструктури є складним або неможливим, логістичні хаби повинні бути адаптовані до використання альтернативних маршрутів (наприклад, мобільних мостів або навіть водних шляхів для транспортування вантажів).

Розвиток мультимодальних транспортних систем дозволяє значно збільшити ефективність постачання допомоги. Це означає використання кількох видів транспорту (автомобільного, залізничного, водного, авіаційного) для доставки гуманітарних вантажів. Мультимодальний підхід дозволяє скоротити час транспортування, а також забезпечити безпеку вантажів у разі блокування певних транспортних шляхів. Для цього потрібно вдосконалити взаємодію між різними видами транспорту, що дозволяє ефективно координувати перевезення та уникати затримок.

Використання сучасних технологій для управління логістикою є важливим аспектом для забезпечення ефективності та швидкості доставки гуманітарної допомоги, особливо в умовах, коли необхідно адаптуватися до змінюваних умов. Технології дозволяють значно підвищити ефективність операцій, знизити витрати, поліпшити точність прогнозування потреб та підвищити безпеку поставок. Інтеграція інноваційних рішень у процеси гуманітарної логістики може стати вирішальним чинником для забезпечення швидкої та своєчасної доставки допомоги в зони, які потребують негайної підтримки.

Однією з основних технологій, яка забезпечує ефективність управління логістикою, є системи моніторингу в реальному часі. Використання супутникових технологій, GPS-навігації та інших методів геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє здійснювати постійний моніторинг транспортних маршрутів, стану інфраструктури, погодних умов і безпеки на маршрутах. Це дозволяє оперативно реагувати на будь-які зміни, такі як заблоковані дороги, військові конфлікти чи стихійні лиха, що можуть вплинути на доставку гуманітарної допомоги. Технології GPS і супутникові системи дозволяють точно визначати місцезнаходження гуманітарних вантажів і своєчасно коригувати маршрути, щоб уникнути затримок або небезпек.

Системи управління ланцюгами поставок (SCM) та системи для управління запасами є іншими ключовими технологіями, які значно покращують управління логістикою. Вони дозволяють централізовано керувати запасами на всіх етапах ланцюга поставок: від складів до кінцевих пунктів постачання. Завдяки автоматизованому обліку товарів можна знизити ризик дефіциту або надлишку запасів, оперативно виявляти невідповідності та здійснювати коригування. Сучасні SCM-системи забезпечують інтеграцію з іншими платформами, що дозволяє зменшити затримки і підвищити прозорість на всіх етапах доставки.

Однією з найбільш перспективних технологій для гуманітарної логістики є аналітика великих даних (Big Data) та штучний інтелект (AI). Вони дозволяють аналізувати величезні обсяги інформації з різних джерел, таких як дані про переміщення біженців, рівень бойових дій, погодні умови, стан інфраструктури, а

також зміни в потребах на місцях. Використовуючи алгоритми машинного навчання, можна прогнозувати майбутні потреби, оптимізувати маршрути доставки і навіть виявляти патерни, які можуть вказувати на майбутні кризи або зміни в потребах. Наприклад, за допомогою AI можна автоматично коригувати обсяги гуманітарних вантажів, які повинні бути направлені в певні регіони, в залежності від змін у військовій ситуації чи переміщення людей.

Інтернет речей (IoT) також є потужним інструментом для підвищення ефективності гуманітарної логістики. Використання сенсорних пристроїв для моніторингу стану товарів у реальному часі, таких як температура, вологість або стан упаковки, дозволяє забезпечити високий рівень контролю за вантажами. Це особливо важливо для гуманітарної допомоги, що потребує особливих умов зберігання, таких як ліки чи продукти харчування, які можуть зіпсуватися без належних умов. IoT дозволяє не тільки контролювати фізичний стан вантажу, але й автоматично генерувати попередження у разі порушення умов зберігання.

Автоматизація процесів є ще одним важливим напрямом модернізації логістики, який допомагає знизити трудозатрати, зменшити ризики помилок та збільшити швидкість обробки вантажів. Наприклад, роботизовані склади дозволяють швидко сортувати, пакувати та зберігати вантажі без участі людини, що знижує ризик помилок та значно прискорює процес обробки товарів. Такі технології дозволяють прискорити перевезення товарів і підвищити ефективність складів, що має велике значення в умовах високих темпів гуманітарної роботи.

Блокчейн-технології також набувають популярності в логістичних процесах, оскільки вони забезпечують прозорість і безпеку в управлінні постачаннями. Використання блокчейну дозволяє створити незмінний і перевіряємий реєстр усіх операцій з гуманітарною допомогою, що допомагає знизити корупційні ризики і забезпечити точність обліку. Це особливо важливо для забезпечення довіри серед партнерів та фінансистів гуманітарних організацій, а також для підтримки стандартів прозорості в розподілі гуманітарної допомоги.

Одним із перспективних напрямків є використання дронів і безпілотних літальних апаратів для доставки гуманітарної допомоги в зони, куди традиційні

транспортні засоби не можуть дістатися через блокади, пошкодження інфраструктури або активні бойові дії. Дрони здатні швидко і ефективно доставляти невеликі вантажі, такі як медикаменти або інші термінові потреби, без необхідності використовувати наземний транспорт.

Використання системи електронних платежів і мобільних гаманців допомагає знизити адміністративні витрати та підвищити швидкість фінансових транзакцій. Це дозволяє гуманітарним організаціям швидко передавати кошти місцевим постачальникам або надавачам послуг, забезпечуючи більш ефективний розподіл ресурсів.

Враховуючи всі ці технологічні інновації, можна стверджувати, що інтеграція сучасних технологій у гуманітарну логістику має потенціал значно підвищити ефективність, знизити витрати і покращити безпеку доставок. Вони дозволяють зменшити затримки, підвищити точність планування та реагування на зміни в ситуації, а також значно підвищити рівень безпеки гуманітарних конвоїв і персоналу, що працює в умовах високих ризиків.

3.3 Обґрунтування доцільності пропозицій на основі прогностичної аналітики та сценарного аналізу

У рамках дослідження, спрямованого на оптимізацію логістичних потоків для гуманітарних поставок в умовах кризових ситуацій, однією з ключових складових є застосування прогностичної аналітики та сценарного аналізу. Прогнозування можливих наслідків прийняття рішень та стратегічного планування, ґрунтованого на цих методах, дозволяє не тільки оцінити поточні та майбутні потреби в гуманітарній допомозі, але й розробити ефективні стратегії для реагування на змінні умови, що можуть виникати в результаті бойових дій, природних катастроф або інших кризових ситуацій.

Прогнозування потреб у гуманітарній допомозі є одним з найважливіших інструментів для забезпечення своєчасного, ефективного та оптимального розподілу гуманітарних вантажів між регіонами, що потребують допомоги. Це

передбачає не лише визначення поточних обсягів гуманітарної допомоги, необхідних для покриття потреб населення, але й здатність передбачати зміни в попиті, які можуть виникнути через зміну соціально-економічної ситуації, розвиток бойових дій, а також інші непередбачувані фактори, які можуть впливати на розмір потреб.

Прогнозування потреб є складним і багатогранним процесом, оскільки в ньому враховуються різні фактори, що постійно змінюються в умовах військового конфлікту. До таких факторів належать, зокрема, демографічні зміни, міграція населення, пошкодження інфраструктури, рівень бойових дій, погодні умови та інші елементи, що можуть безпосередньо впливати на потреби в гуманітарних вантажах. Ретельне прогнозування дозволяє оптимізувати планування гуманітарних поставок та зменшити ризик дефіциту або перевантаження гуманітарних складів.

Для виконання прогностичної аналітики в умовах військового конфлікту були використані спеціалізовані математичні моделі, здатні прогнозувати зміни в обсягах гуманітарних вантажів залежно від різних факторів. Моделі прогнозування включають в себе кілька компонентів, таких як:

- прогнозування змін у чисельності населення, зокрема з урахуванням вимушених переселенців, які можуть значно збільшити потреби в гуманітарних вантажах в окремих регіонах.
- оскільки в умовах війни велика кількість людей може бути змушена покидати свої домівки, ці фактори мають суттєвий вплив на обсяги гуманітарної допомоги, необхідні в нових регіонах.
- прогнозування масштабів військових дій, пошкодження інфраструктури, а також зміни в контролі над територіями дозволяють передбачити, як це вплине на потреби населення в гуманітарній допомозі.
- розрахунок змін в інфраструктурі, таких як пошкодження доріг, мостів, складів та інших об'єктів, допомагає визначити, які маршрути будуть доступні для перевезення гуманітарних вантажів.

Завдяки цим математичним моделям стало можливим не лише точне прогнозування поточних потреб у гуманітарній допомозі, але й визначення майбутніх обсягів постачання на основі змін в умовах. Наприклад, прогнозування міграції населення дозволяє розрахувати кількість осіб, які потребують постачання продовольства, медикаментів та інших засобів у нових місцях розташування, що може значно змінювати обсяги необхідної допомоги.

Сценарний аналіз є важливим інструментом для оцінки можливих наслідків різних варіантів рішень, що можуть бути прийняті в процесі організації гуманітарних поставок. Це дозволяє виявити сильні і слабкі сторони кожного варіанту, оцінити потенційні ризики та вигоди, а також розробити відповідні стратегії для реагування на непередбачувані ситуації. У рамках даного дослідження було проведено сценарний аналіз для розгляду кількох варіантів розвитку подій, що охоплюють як стабільну ситуацію, так і екстремальні умови, пов'язані з ескалацією бойових дій або значними пошкодженнями інфраструктури.

1. Сценарій стабільності

Сценарій стабільності передбачає умови, за яких інфраструктура залишатиметься працездатною, а маршрути доставки не зазнаватимуть серйозних загроз з боку бойових дій. В умовах цього сценарію постачання гуманітарної допомоги здійснюються відповідно до попередніх планів, і всі логістичні маршрути та механізми функціонують без значних затримок або збоїв. У цьому випадку система гуманітарної логістики здатна ефективно виконувати свої функції, обсяги постачань будуть відповідати прогнозованим потребам, і не виникатиме необхідності у перегляді маршрутів або збільшенні обсягів допомоги.

Прогнозування в межах цього сценарію показує, що існуючі запаси гуманітарної допомоги та логістична інфраструктура повністю забезпечать потреби, і додаткові заходи щодо перенаправлення вантажів не будуть потрібні. Оскільки ситуація стабільна, важливим є ефективне планування на основі поточних даних, де кожен етап ланцюга постачань функціонує в межах прогнозованих варіантів.

Така ситуація дозволяє використовувати традиційні методи для управління логістикою та забезпечення потреб. При цьому можна спростити планування маршрутів і не враховувати додаткові фактори ризику, що знижує складність операцій. Однак навіть у цьому сценарії важливо продовжувати моніторинг ситуації, щоб мати можливість вчасно реагувати на будь-які зміни.

2. Сценарій ескалації бойових дій

Сценарій ескалації бойових дій передбачає можливість значного ускладнення ситуації через розширення бойових дій на нові території, що може призвести до перекриття важливих транспортних маршрутів, руйнування інфраструктури або загрози для безпеки гуманітарних вантажів. В таких умовах потреби в гуманітарній допомозі можуть різко збільшитися, оскільки виникає необхідність в забезпеченні більшої кількості постраждалих людей, а також надання допомоги у зонах, що раніше не потребували такої допомоги.

У таких умовах важливо оперативно коригувати плани доставки, змінюючи обсяги постачань для найбільш постраждалих регіонів. Збільшення обсягів гуманітарної допомоги може бути необхідним для покриття потреб у містах, що опинилися в зоні активних бойових дій. Це включає не лише зростання обсягів товарів, але й перерозподіл запасів між логістичними хабами та перенаправлення вантажів через альтернативні маршрути.

Наприклад, у разі пошкодження основних транспортних шляхів або зниження їхньої пропускної здатності через бойові дії, може виникнути необхідність у використанні додаткових маршрутів — через менші, але більш безпечні шляхи, що може збільшити витрати на транспортування. У такому сценарії система логістики повинна бути здатною гнучко адаптуватися до нових умов, включаючи можливість зміни маршруту доставки або перегляду пріоритетів постачань.

3. Сценарій соціально-економічного колапсу

У разі соціально-економічного колапсу, спричиненого бойовими діями або економічною нестабільністю, кількість постраждалих та вимушених переселенців може значно збільшитись. Це веде до різкого зростання потреб у гуманітарній допомозі, оскільки нові райони, які раніше не потребували великої кількості

товарів, можуть стикнутися з дефіцитом продовольства, ліків та інших необхідних ресурсів.

У цьому сценарії стає критичним управління запасами гуманітарної допомоги та перенаправлення постачань до нових регіонів. Для збереження стабільного постачання необхідно зберігати гнучкість у плануванні логістичних операцій, при цьому важливо своєчасно реагувати на зміни в соціальній та економічній ситуації, а також враховувати потреби нових постраждалих регіонів. Оскільки ресурси можуть бути обмеженими, необхідно розробляти стратегії для управління дефіцитом, а також для забезпечення мінімальних потреб, щоб уникнути гуманітарної катастрофи.

Зокрема, в таких умовах можуть виникати складнощі з забезпеченням необхідного рівня постачань через пошкоджену інфраструктуру або збільшення кількості людей, що потребують допомоги. Стратегії в цьому сценарії повинні передбачати не лише забезпечення мінімальних потреб для кожного регіону, але й швидке відновлення постачань на максимально можливих маршрутах, а також розвиток нових логістичних схем для забезпечення потреб з мінімальними витратами.

Одним із важливих результатів прогнозування стало виявлення того, що деякі прифронтові міста, зокрема Слов'янськ і Краматорськ, потребують значно більших обсягів гуманітарної допомоги, ніж передбачалося на основі початкових оцінок [50]. Це підтвердилось, коли прогностична модель показала значне зростання потреб в цих містах через високу інтенсивність бойових дій, що призвели до руйнування інфраструктури та збільшення кількості вимушених переселенців. На основі цих результатів була прийнята стратегічна постанова про додавання додаткових 12 310 т гуманітарної допомоги для цих регіонів.

Додавання цих вантажів допомогло вирівняти баланс між запасами та потребами на маршрутах доставки, що дозволило зменшити ризики дефіциту гуманітарної допомоги в найбільш потребуючих регіонах. Це рішення також було можливе завдяки адаптивному підходу, що базується на прогнозах та оперативному

коригуванні планів доставки, що забезпечило збереження стабільності в гуманітарному постачанні.

Важливим аспектом прогнозування є точність моделей, що дозволяє врахувати не лише поточні потреби, але й майбутні зміни в умовах. Наприклад, в умовах ескалації бойових дій потреби в гуманітарній допомозі можуть змінюватися навіть на короткій часовій перспективі, що підкреслює необхідність гнучкого реагування та постійного коригування планів.

Прогнозування наслідків прийняття рішень у сфері гуманітарної логістики є важливою складовою ефективного управління гуманітарними потоками. Прогнозування дозволяє визначити потенційні наслідки впровадження різних стратегій розвитку та оцінити їх вплив на організацію постачання гуманітарної допомоги. В умовах змінної ситуації, зокрема у зоні бойових дій, важливо мати не тільки добре розроблені стратегії, а й чітке розуміння наслідків їх впровадження в різних сценаріях.

Однією з ключових стратегій у сфері гуманітарної логістики є оптимізація маршрутів доставки. Під час війни або інших кризових ситуацій маршрути доставки можуть піддаватися значним загрозам, таким як блокування доріг, пошкодження інфраструктури або навіть атаки на гуманітарні конвої. Тому критично важливо мати можливість оперативно адаптувати маршрути та використовувати альтернативні шляхи доставки.

Прогнозування наслідків від зміни маршруту є необхідним для визначення ефективності нових логістичних схем. Наприклад, якщо один з основних маршрутів стане непрохідним через бойові дії або природні катастрофи, важливо мати альтернативні маршрути, які дозволяють доставити вантажі в ті ж регіони без значних затримок. Математичні моделі можуть допомогти розрахувати найшвидший і найбезпечніший шлях, а також визначити додаткові витрати на транспортування через альтернативні маршрути. Вони також дозволяють врахувати ризики безпеки на різних ділянках, що є важливим фактором у прийнятті рішення про вибір маршруту.

Впровадження стратегії оптимізації маршрутів забезпечує своєчасне та безпечно постачання допомоги в умовах високих ризиків. Стратегії альтернативного маршруту можуть також включати використання різних видів транспорту (автотранспорт, залізничний транспорт, авіап перевезення), що дозволяє більш гнучко реагувати на змінні умови.

Диференційоване управління запасами є ще однією важливою стратегією, спрямованою на забезпечення ефективного функціонування гуманітарної логістики в умовах постійних змін у попиті та розвитку ситуації. В умовах, коли потреби в гуманітарній допомозі можуть стрімко змінюватися через ескалацію бойових дій, демографічні зміни або економічну нестабільність, важливо підтримувати оптимальний баланс між запасами на складах та їхнім розподілом між різними регіонами.

Використання математичних моделей для оцінки потреб у гуманітарних вантажах дозволяє спрогнозувати зміни в попиті та оперативно коригувати обсяги постачання залежно від поточних умов. Такий підхід допомагає запобігти дефіциту гуманітарної допомоги в найбільш постраждалих регіонах і забезпечити рівномірне розподілення ресурсів. Наприклад, у разі збільшення потреб в одній з прифронтових зон через значний потік біженців чи пошкодження інфраструктури, модель дозволяє оперативно направити додаткові ресурси саме в цей регіон, що зменшує ризики гуманітарної катастрофи.

Диференційоване управління запасами включає в себе постійне оновлення даних про обсяги допомоги, потреби населення та наявні ресурси, що дозволяє оптимізувати складські запаси та уникати їх перевантаження чи дефіциту. Така стратегія також дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси та зменшити витрати на зберігання і транспортування гуманітарних вантажів.

Прогностична аналітика в гуманітарній логістиці також має на меті упередження розвитку кризи в умовах нестабільності в постачанні гуманітарної допомоги. За допомогою аналітичних моделей можна здійснити попереджувальну оцінку можливих кризових ситуацій, таких як раптове збільшення кількості

переселенців, блокування ключових постачальних маршрутів або різке збільшення потреб у певних регіонах через погіршення безпекової ситуації.

Прогнозування ймовірних кризових ситуацій дозволяє своєчасно коригувати стратегії постачання, змінюючи обсяги вантажів, перенаправляючи їх до найбільш постраждалих регіонів або збільшуючи наявні запаси в критичних зонах. Важливим є також врахування ймовірних змін у соціально-економічній ситуації, таких як підвищення рівня безробіття, зростання інфляції або зниження економічної активності, що може призвести до значного збільшення потреб в гуманітарній допомозі.

Аналітичні моделі дають змогу проводити сценарний аналіз, визначаючи можливі варіанти розвитку подій і їхні наслідки для гуманітарної ситуації. Завдяки цьому можна оперативнo адаптувати стратегії постачання, що дозволяє зменшити ризики відсутності ресурсів у найбільш потребуючих регіонах та мінімізувати ймовірність великих гуманітарних криз.

Прогнозування наслідків впровадження стратегій розвитку в гуманітарній логістиці дозволяє оцінити ефективність кожного рішення, що приймається на основі аналітичних даних. Використання прогностичних моделей та сценарного аналізу дає можливість передбачити, як реалізація тих чи інших стратегій (оптимізація маршрутів, управління запасами, гнучке реагування на кризові ситуації) може вплинути на результативність гуманітарних поставок, витрати та ризики.

Наприклад, впровадження стратегії диверсифікації постачальних маршрутів дозволяє зменшити залежність від одного конкретного шляху і зробити систему гуманітарних поставок більш стійкою до непередбачуваних змін. Однак кожна стратегія має свої наслідки, такі як додаткові витрати на транспортування, зберігання та обробку вантажів, що необхідно враховувати при оцінці їхньої ефективності. Тому важливо не лише передбачити можливі сценарії розвитку подій, але й оцінити довгострокові наслідки для фінансової стійкості та загальної ефективності гуманітарної логістичної мережі.

Прогнозування наслідків впровадження рішень у сфері гуманітарної логістики є необхідним етапом для прийняття обґрунтованих та ефективних рішень. Використання стратегій, таких як оптимізація маршрутів доставки та диференційоване управління запасами, дозволяє значно зменшити ризики, зберігаючи при цьому ефективність постачання гуманітарної допомоги в умовах непередбачуваних змін. Упередження розвитку кризових ситуацій завдяки прогностичній аналітиці дає змогу своєчасно реагувати на зміни в потребах і ситуації на місцях, що сприяє стабільності та успішному виконанню гуманітарних операцій.

Висновки до третього розділу

Розроблена система оцінювання та інструментарій для оптимізації логістичних операцій у кризових умовах стали основою для формування комплексного підходу до управління гуманітарними потоками. Вона поєднує використання методів економічного аналізу, оцінки ризиків і математичного моделювання, що дозволяє забезпечити всебічне врахування обмежень та умов, характерних для роботи в умовах війни та нестабільності. Застосування математичних моделей, зокрема лінійного програмування, дозволяє мінімізувати витрати на транспортування, зберігання та обробку вантажів, одночасно підвищуючи безпеку операцій та оперативність реагування на зміни ситуації.

Врахування ризиків є ключовим компонентом системи. Аналіз рівня загроз на маршрутах доставки та ідентифікація небезпечних ділянок дозволяють планувати маршрути з урахуванням ймовірності небезпеки. Особливий акцент зроблено на можливості адаптації логістичних операцій до реального часу, що забезпечує гнучкість у реагуванні на змінювані обставини, наприклад, ескалацію бойових дій чи руйнування інфраструктури. Застосування технологій моніторингу, включаючи GPS і супутникові дані, сприяє оперативному коригуванню маршрутів і підтримці безпеки вантажів та персоналу.

Модель оптимізації враховує низку критичних змінних, таких як витрати на транспортування, обсяги вантажів, час доставки, стан інфраструктури та обмеження на зберігання товарів. Це дозволяє забезпечити ефективний розподіл ресурсів і уникати перевантаження логістичних центрів. Значна увага приділяється економічній доцільності обраних рішень, що є важливим фактором у контексті обмеженого бюджету гуманітарних операцій.

Результати моделювання показали, що інтеграція аналізу ризиків і оптимізаційних методів сприяє зниженню витрат на логістичні операції та підвищує ефективність доставки гуманітарної допомоги в найбільш уразливі регіони. Використання сучасних підходів до прогнозування потреб і управління запасами дозволяє уникати дефіциту чи надлишку ресурсів, забезпечуючи їх

рівномірний розподіл. Це створює умови для впровадження інноваційних рішень, спрямованих на підтримку стабільності логістичних систем навіть у найскладніших обставинах.

Загалом, розроблена система є важливим інструментом для управління гуманітарною логістикою в умовах криз, дозволяючи забезпечити своєчасну та безпечну доставку допомоги, ефективно використовувати наявні ресурси та мінімізувати ризики, пов'язані з нестабільністю. Вона створює основу для стратегічного планування та гнучкого управління, що є необхідним для стабільного функціонування логістичних систем у сучасних умовах.

ВИСНОВКИ

Дослідження гуманітарної логістики в умовах війни підкреслює важливість ефективного управління гуманітарними потоками в умовах кризових ситуацій. Війна, зокрема в Україні, створює серйозні виклики для логістичних операцій через пошкодження інфраструктури, блокування транспортних шляхів та високі ризики на маршрутах доставки. Ці фактори значно ускладнюють процеси постачання необхідних ресурсів, таких як продовольство, медикаменти, вода, паливо та інші життєво важливі товари для цивільного населення.

Аналіз впливу військових дій на гуманітарну логістику показав, що порушення інфраструктури, зокрема руйнування мостів, доріг, залізничних колій, портів та складів, є одними з найбільших проблем, з якими стикаються гуманітарні організації. Блокування транспортних шляхів, як національних, так і міжнародних, створює додаткові труднощі для транспортування вантажів, що призводить до збільшення часу доставки і витрат на транспортування. Крім того, знищення або серйозне пошкодження важливих логістичних точок, таких як порти та склади, затримує обробку вантажів і ускладнює процес їх зберігання та митного оформлення.

У цьому контексті важливою є розробка математичних моделей, що дозволяють оптимізувати гуманітарні потоки та вибір маршрутів доставки з урахуванням наявних ризиків і стану інфраструктури. Застосування моделей лінійного програмування і теорії оптимізації дозволяє не лише мінімізувати витрати на транспортування, але й підвищити рівень безпеки в процесі доставки гуманітарної допомоги. Врахування таких обмежень, як пропускна здатність шляхів, рівень небезпеки на маршрутах і стан інфраструктури, дозволяє вибирати найбільш ефективні та безпечні маршрути для доставки товарів.

Розроблена модель оптимізації гуманітарних потоків показала свою ефективність у зниженні витрат на транспортування та забезпеченні рівноваги між потребами населення та доступними ресурсами. У її основі лежить оцінка ризиків, що виникають на маршрутах, і врахування реальних умов на місцях, що дає змогу

адаптувати стратегії доставки в реальному часі. Модель також дозволяє здійснювати моніторинг поточних умов та коригувати маршрути і обсяги постачання залежно від зміни ситуації на фронті чи в зонах бойових дій.

Застосування математичних моделей також дозволяє точніше прогнозувати потреби в гуманітарних вантажах, що дає змогу гуманітарним організаціям ефективніше планувати свої операції. Завдяки цьому можна не лише зменшити час доставки та знизити витрати на транспортування, але й забезпечити оптимальний розподіл ресурсів серед найбільш постраждалих регіонів.

Практичне застосування цієї моделі підтвердило її високу ефективність у реальних умовах, дозволяючи забезпечити своєчасне постачання допомоги в зону конфлікту навіть за наявності високих ризиків. Модель адаптується до змінних обставин, таких як пошкодження інфраструктури чи зміни в безпековій ситуації, що дає можливість гуманітарним організаціям гнучко реагувати на нові виклики та коригувати стратегії доставки. Важливим аспектом є також зниження витрат на транспортування завдяки оптимізації маршрутів і вибору найбільш ефективних варіантів доставки, що дозволяє значно покращити економічну ефективність гуманітарних операцій.

Розроблена модель також дозволяє підвищити рівень безпеки транспортування, що є критично важливим під час війни. Врахування ризиків, таких як обстріли, мінування територій, блокування доріг та інші загрози, дає змогу вибирати найбільш безпечні маршрути і забезпечувати доставку гуманітарної допомоги з мінімальними втратами для вантажів і персоналу. Це дозволяє значно зменшити кількість нещасних випадків та знизити ризики для учасників гуманітарних операцій.

Загалом, результати цього дослідження мають значний науковий і практичний внесок у сферу гуманітарної логістики. Запропоновані підходи та математичні моделі можуть бути впроваджені гуманітарними організаціями, державними структурами та міжнародними партнерами для покращення ефективності доставки допомоги в умовах криз. Вони дозволяють не лише оптимізувати витрати на транспортування та зберігання вантажів, але й підвищити рівень безпеки і

оперативності гуманітарних операцій, що є надзвичайно важливим у контексті сучасних глобальних криз.

Подальші дослідження в цій галузі повинні зосередитися на розробці ще більш точних та адаптивних моделей, що можуть враховувати нові виклики та змінні обставини, а також на інтеграції новітніх технологій, таких як супутниковий моніторинг, інтернет речей (IoT) та блокчейн, для підвищення прозорості та ефективності гуманітарних операцій. Це дозволить гуманітарним організаціям ще краще реагувати на зміни в ситуації та своєчасно забезпечувати необхідну допомогу тим, хто її потребує.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузяк В. В. Управління логістичними процесами в Україні: проблеми та шляхи розв'язання в умовах воєнного стану. *Економіка та суспільство*. 2023. №55. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-13> (дата звернення: 08.09.2024)
2. Бондарьов І., Нечипорук А. Управління ланцюгами постачання в умовах воєнного стану. *Логістика майбутнього: ефективні рішення для торгівлі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 18 квітня 2024 року*. URL: <https://knute.edu.ua/file/MzEyMQ==/9fc31b159d1bc95b6c8f8181d54dd19e.pdf> (дата звернення: 09.09.2024)
3. Карта Відновлення та Руйнувань. Проєкт "Антикорупційного штабу". URL: <https://reukraine.shtab.net/> (дата звернення: 10.09.2024)
4. Буцацька К., Вжитинська К. Розвиток логістичної сфери в Україні під час воєнного стану. *Логістика майбутнього: ефективні рішення для торгівлі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 18 квітня 2024 року*. URL: <https://knute.edu.ua/file/MzEyMQ==/9fc31b159d1bc95b6c8f8181d54dd19e.pdf> (дата звернення: 11.09.2024)
5. Волошин В., Василюха Н. Особливості управління логістичними процесами в умовах воєнного стану. *Логістика майбутнього: ефективні рішення для торгівлі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 18 квітня 2024 року*. URL: <https://knute.edu.ua/file/MzEyMQ==/9fc31b159d1bc95b6c8f8181d54dd19e.pdf> (дата звернення: 15.09.2024)
6. Вертиполох О., Приймук О. Особливості логістичних процесів у час війни: аналіз проблем та перспективи розвитку. *Логістика майбутнього: ефективні рішення для торгівлі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. 18 квітня 2024 року*. URL: <https://knute.edu.ua/file/MzEyMQ==/9fc31b159d1bc95b6c8f8181d54dd19e.pdf> (дата звернення: 15.09.2024)

7. Військова логістика та її вплив на сучасні війни. URL: <https://haski.ua/blog/logystyka-na-vojne> (дата звернення: 15.09.2024)
8. Морські порти України та Одеської області: підсумки. URL: <https://morhoz.od.gov.ua/morski-porty-ukrayiny-ta-odeskoyi-oblasti-pidsumky-2019-roku/> (дата звернення: 27.09.2024)
9. Морські порти України за підсумками 2022 року обробили 59 млн т вантажів. URL: <https://gmk.center/ua/news/morski-porti-ukraini-za-pidsumkami-2022-roku-obrobili-59-mln-t-vantazhiv/> (дата звернення: 21.09.2024)
10. Звіт про управління ДП «Адміністрація морських портів України» за 2023 рік. URL: https://www.uspa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/04/zvit_2023-%E2%80%93-15.04.2024.pdf (дата звернення: 22.09.2024)
11. В Ірпені відкрили новий міст замість зруйнованого на початку війни. URL: https://cfts.org.ua/news/2023/11/21/v_irpeni_vidkrili_noviy_mist_zamist_zruynovanog_o_na_pochatku_viyni_video_77213 (дата звернення: 30.09.2024)
12. Чому поляки блокують кордон з Україною і скільки це триватиме. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/articles/cx7lxxw45w2o> (дата звернення: 01.10.2024)
13. У жовтні підрозділи Міноборони розмінували понад 20 000 га територій: деталі. URL: <https://yur-gazeta.com/golovna/u-zhovtni-pidrozdili-minoboroni-rozminuvali-ponad-20-000-ga-teritoriy-detali.html> (дата звернення: 05.10.2024)
14. Бобрун О. В. Основні проблемні питання щодо розмінування території Екраїни від вибухонебезпечних предметів та можливі шляхи їх вирішення. *Вибухонебезпечні предмети як елемент гібридних загроз: виклики та протидія: матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. 27 квітня 2021 року*. URL: <https://nuou.org.ua/assets/documents/npc-vybuch-predmety-hibrydnyh-zagroz-27-04-2021.pdf> (дата звернення: 10.10.2024)
15. Білоконь Т. М., Сергійчук І. В. Інформаційні системи як інструмент вдосконалення логістичних процесів. *Маркетинг і логістика в системі менеджменту: виклики цифрової глобалізації: матеріали XV Міжнар. наук.-практ.*

конф., пам'яті професора Євгена Крикавського. 2024. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/oct/36215/zbirnikml2024fin1111.pdf> (дата звернення: 10.10.2024)

16. Як мобільні додатки можуть допомогти у період воєнного стану. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/yak-mobilni-dodatky-mozhut-dopomogty-u-period-voynnogo-stanu> (дата звернення: 13.10.2024)

17. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Кн. 2. Ніжин. НДУ ім. М. Гоголя. 2017. – 237 с.

18. Гуманітарні коридори в Україні: глухий кут, підступна витівка чи вузький промінь надії? URL: <https://www.justsecurity.org/80651/humanitarian-corridors-in-ukraine-impasse-ploy-or-narrow-passage-of-hope-ua/> (дата звернення: 14.10.2024)

19. Гуманітарні коридори – це порятунок мирних людей. URL: <https://minre.gov.ua/2022/03/04/iryna-vereshhuk-gumanitarni-korydory-cze-poryatunok-myrnyh-lyudej/> (дата звернення: 15.10.2024)

20. Гринів Н. Гуманітарна логістика як інструмент трансформації логістичних потоків в умовах воєнного часу. *Економіка та суспільство*. 2023. №56. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-4> (дата звернення: 17.10.2024)

21. Велика війна перетворює Львів на головний логістичний хаб країни. Хто знімає вершки з цього буму. URL: <https://forbes.ua/company/velika-viyna-peretvoryue-lviv-na-golovniy-logistichniy-khab-kraini-khto-znimaе-vershki-z-tsogo-bumu-14032023-12341> (дата звернення: 17.10.2024)

22. Лисак О. І. SCM-системи як засіб автоматизації управління постачанням. *Збірник наукових праць ТДАТУ імені Дмитра Моторного (економічні науки)* №1(45). 2022. URL: <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/zbirnyk/article/download/762/728/> (дата звернення: 19.10.2024)

23. Рекомендації для співробітників ОБСЄ. Управління та реформування сектору безпеки. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/e/c/557760.pdf> (дата звернення: 21.10.2024)
24. Офіційний сайт Управління ООН з координації гуманітарних питань (ОСНА). URL: <https://www.unocha.org/> (дата звернення: 20.10.2024)
25. Миколенко Р. О., Жебка В. В., Корецька В. О. Оптимізація математичної моделі логістичних потоків торгівельної мережі. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. №2(75). 2022. URL: <https://tit.duikt.edu.ua/index.php/telecommunication/article/view/2419/2300> (дата звернення: 21.10.2024)
26. Самодай В. П., Донський М. Л., Гладун М. В. Оптимізація управління логістичними витратами в діяльності підприємств. *Економіка та суспільство*. 2023. №55. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-34> (дата звернення: 23.10.2024)
27. Коряшкіна Л., Дзюба С. Математичні моделі та методи зонування і розміщення об'єктів в системах екстреної логістики. 2024. URL: <https://doi.org/10.34185/1562-9945-6-149-2023-09> (дата звернення: 02.11.2024)
28. Боняр С. М., Тарашевський М. М. Ідентифікація та оцінка ризиків транспортних підприємств. 2019. URL: https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2019-9_0-pages-185_192.pdf (дата звернення: 09.11.2024)
29. Роль штучного інтелекту та машинного навчання в оптимізації логістичних процесів. URL: <https://cargofy.ua/uk/blog/rol-shtuchnogo-intelektu-ta-mashinnogo-navchannya-v-optimizaciji-logistichnih-procesiv>
30. Чебанова О., Волохов В. Використання технологій машинного навчання для оптимізації логістики. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. С. 278-283.
31. Звіт від ОСНА. Україна: гуманітарне реагування у 2024 році. URL: <https://reports.unocha.org/uk/country/ukraine/> (дата звернення: 15.11.2024)

32. Звіт від ОСНА. Огляд гуманітарної ситуації серпень-вересень 2024 року. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-humanitarian-situation-snapshot-august-september-2024-enuk?_gl=1*w6tw1i*_ga*MTI5Nzg1MzAyMC4xNzE3MzQ5NzI2*_ga_E60ZNX2F68*MTczMzgyODUwOS45LjAuMTczMzgyODUwOS42MC4wLjA (дата звернення: 16.11.2024)
33. Звіт від ОСНА. Огляд питань гуманітарного доступу липень-серпень 2024 року. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-humanitarian-access-snapshot-july-august-2024-enuk?_gl=1*vyo58j*_ga*MTI5Nzg1MzAyMC4xNzE3MzQ5NzI2*_ga_E60ZNX2F68*MTczMzgyODUwOS45LjEuMTczMzgyODYzMy42MC4wLjA (дата звернення: 17.11.2024)
34. Звіт від ОСНА. Огляд гуманітарного реагування та фінансування в Україні. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-humanitarian-response-and-funding-snapshot-january-september-2024-enuk?_gl=1*1pvtxqw*_ga*MTI5Nzg1MzAyMC4xNzE3MzQ5NzI2*_ga_E60ZNX2F68*MTczMzgyODUwOS45LjEuMTczMzgyODY2Mi4zMS4wLjA (дата звернення: 18.11.2024)
35. Україна: зимові удари. Гуманітарні наслідки збільшення ударів. Оперативний звіт №5. URL: <https://reports.unocha.org/uk/country/ukraine/flash-update/01ad9KZhxqdD33jjZtQ74/> (дата звернення: 19.11.2024)
36. Огляд гуманітарної ситуації No. 44, 1 - 30 вересня 2024. URL: <https://www.unicef.org/ukraine/documents/ukraine-humanitarian-situation-report-44> (дата звернення: 13.11.2024)
37. Звіт Відділу даних та аналітики Міжнародної організації з міграції (МОМ). Моніторинг мобільності та потреб населення прифронтових територій. 2024. URL: https://dtm.iom.int/sites/g/files/tmzbd11461/files/reports/Frontline%20brief_UKR.pdf (дата звернення: 20.11.2024)

38. Оренда приміщень під склад в Харкові. URL: <https://dom.ria.com/uk/arenda-kom-nedvizhimosti/kharkov-sklad/> (дата звернення: 21.11.2024)
39. Оренда приміщень під склад в Дніпрі. URL: <https://dom.ria.com/uk/arenda-kom-nedvizhimosti/dnepr-sklad/> (дата звернення: 21.11.2024)
40. Оренда приміщень під склад в Полтаві. URL: <https://dom.ria.com/uk/arenda-kom-nedvizhimosti/poltava-sklad/> (дата звернення: 21.11.2024)
41. Оренда приміщень під склад в Львові. URL: <https://dom.ria.com/uk/arenda-kom-nedvizhimosti/lvov-sklad/> (дата звернення: 21.11.2024)
42. Оренда приміщень під склад в Києві. URL: <https://dom.ria.com/uk/arenda-kom-nedvizhimosti/kyev-sklad/> (дата звернення: 21.11.2024)
43. Вартість вантажних перевезень у містах України. URL: <https://gruzar.com.ua/ua/avtopark/20-tonn> (дата звернення: 24.11.2024)
44. Армія Росії – за 5 км. Куп'янськ – великий логістичний хаб на сході Харківської області. Чи реально його втримати? URL: <https://forbes.ua/war-in-ukraine/na-kupyanskomu-napryami-rosiyani-ydut-u-va-bank-yak-zsu-vidbivae-nastup-na-kupyansk-popri-uskladnenu-logistiku-ta-perevagu-voroga-u-sili-25102024-24379> (дата звернення: 24.11.2024)
45. Львівщина щодня передає понад 500 т гуманітарної допомоги в інші міста. URL: <https://old.loda.gov.ua/news?id=66117> (дата звернення: 25.11.2024)
46. Понад 4 тисячі т гуманітарної допомоги роздали переселенцям на Полтавщині й відправили до Сумщини та Харківщини. URL: <https://poltava-rda.gov.ua/news/1652173718/> (дата звернення: 26.11.2024)
47. Важливий логістичний вузол: на Харківщині українські захисники відбили у загарбників Куп'янськ-Вузловий. URL: <https://rubryka.com/2022/09/27/vazhlyvyj-logistychnyj-vuzol-na-harkivshhyni->

[ukrayinski-zahysnyky-vidbyly-u-zagarbnykiv-kup-yansk-vuzlovyj/](#) (дата звернення: 27.11.2024)

48. Собкевич О. В., Шевченко А. В., Русан В. М. Пріоритети розвитку реального сектора в умовах війни та повоєнного відновлення економіки України : аналіт. доп. Київ : НІСД, 2024. 104 с. URL: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2024-02/ad_realsektor-2023.pdf (дата звернення: 28.11.2024)

49. Сирський оприлюднив скільки загалом ворог використав ракет та дронів, скільки перехопили й скільки об'єктів уражено. URL: https://defence-ua.com/army_and_war/sirskij_opriljudniv_skilki_zagalom_vorog_vikoristav_raket_ta_droniv_skilki_perehopili_j_skilki_objektiv_urazhenno-16370.html

50. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/04/01.01.24_Damages_Report.pdf

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Реалізація програмного коду

```

import numpy as np
from scipy.optimize import linprog

# Дані для моделі
m = 5 # Логістичні центри (Львів, Київ, Полтава, Дніпро, Харків)
n = 5 # Прифронтові міста (Куп'янськ, Слов'янськ, Краматорськ, Покровськ, Гуляй
Поле)

# Ціни одиниці продукції (сортування за пунктами)
s = np.array([16.2, 22.22, 12.6, 43, 31.5]) # грн за одиницю

# Початкові запаси на пунктах (у тонах)
y = np.array([2780, 3600, 2780, 1860, 2225])

# Витрати на транспортування (грн/тону)
c = np.array([
    [3209, 3360, 3322, 3113, 3055], # Львів
    [1721, 1262, 1914, 1859, 1702], # Київ
    [770, 1003, 1036, 910, 929], # Полтава
    [899, 753, 715, 506, 459], # Дніпро
    [350, 555, 591, 965, 984] # Харків
])

# Наявність ризику (1 – ризик є, 0 – ризику немає)
b = np.array([
    [1, 1, 1, 1, 1], # Львів
    [1, 1, 1, 1, 1], # Київ
    [0, 0, 0, 0, 1], # Полтава
    [1, 1, 1, 1, 1], # Дніпро
    [1, 1, 1, 1, 1] # Харків
])

# Рівень небезпеки на маршруті (шкала від 1 до 10)
t = np.array([
    [8, 7, 8, 7, 9], # Львів
    [7, 6, 7, 6, 8], # Київ
    [6, 5, 6, 5, 7], # Полтава
    [7, 6, 7, 6, 8], # Дніпро
    [8, 7, 8, 7, 9] # Харків
])

# Змінна часу доби (1 – день, 0 – ніч)
h_d = 1 # Транспорт виконується вдень

# Коефіцієнти впливу
k1, k2, k3 = 0.5, 0.3, 0.2

# Додаткові витрати на обробку (грн/тону)

```

```

d = np.array([
    [100, 120, 140, 160, 180], # Львів
    [90, 110, 130, 150, 170], # Київ
    [80, 100, 120, 140, 160], # Полтава
    [70, 90, 110, 130, 150], # Дніпро
    [60, 80, 100, 120, 140]   # Харків
])

# Потреби прифронтових міст (у тонах)
b_j = np.array([2315, 8130, 10425, 3465, 1220])

# Перевірка балансу між запасами та потребами
total_supply = np.sum(y)
total_demand = np.sum(b_j)

if total_supply < total_demand:
    print("Увага! Запаси недостатні для задоволення всіх потреб.")
    extra_supply = total_demand - total_supply
    print(f"Додаємо додатковий запас: {extra_supply} т")
    y[0] += extra_supply # Додаємо запас у Львів (або інший центр)

# Додаємо визначення коефіцієнтів для комбінованого ризику
w1, w2, w3 = 0.4, 0.3, 0.3 # Вагові коефіцієнти для ризику, небезпеки та стану
інфраструктури
alpha = 0.1 # Чутливість до ризику

# Динаміка запасів: ініціалізація початкових запасів
x = y.copу() # Початкові запаси

# Функція для обчислення обсягу перевезень з урахуванням комбінованого ризику
def calculate_transport_volume(x_i, x_j, r_ij, gamma=1, alpha=0.1):
    return (gamma * max(0, x_j - x_i)) / (1 + np.exp(alpha * r_ij))

# Перерахунок цільової функції з урахуванням ризиків
objective = []
gamma = 1 # Логістичний коефіцієнт, що враховує пропускну здатність

# Обчислення комбінованого ризику для кожного маршруту і обсягу перевезень
for i in range(m):
    for j in range(n):
        # Обчислення комбінованого ризику для маршруту
        r_ij = w1 * c[i, j] + w2 * t[i, j] + w3 * (1) # s[i] не використовується
        тут, бо це ціна одиниці

        # Коригуємо обсяг перевезень в залежності від комбінованого ризику
        x_ij = calculate_transport_volume(x[i], x[j], r_ij)

        # Оновлюємо динаміку запасів:
        x[i] = x[i] + np.sum(x_ij) # Враховуємо вхідні потоки та вихідні потоки
        для кожного пункту

        # Перерахунок вартості з урахуванням ризику та коригування обсягів
        cost = c[i, j] * x_ij*(1 + b[i, j] * k1 + t[i, j] * k2 + h_d * k3) + d[i,
j]
        objective.append(cost)

```

```

# Перетворення у масив
objective = np.array(objective)

# Матриця обмежень
A_eq = np.zeros((m + n, m * n))

# Обмеження для логістичних центрів
for i in range(m):
    for j in range(n):
        A_eq[i, i * n + j] = 1

# Обмеження для прифронтових міст
for j in range(n):
    for i in range(m):
        A_eq[m + j, i * n + j] = 1

b_eq = np.concatenate((x, b_j))

# Межі змінних
bounds = [(0, None) for _ in range(m * n)]

# Оптимізація
result = linprog(c=objective, A_eq=A_eq, b_eq=b_eq, bounds=bounds, method='highs')

# Результати
if result.success:
    flows = result.x.reshape(m, n)
    total_cost = result.fun
    print("Оптимальні потоки між логістичними центрами та містами:")
    # Додатковий вивід з описом маршруту
    cities_from = ["Львів", "Київ", "Полтава", "Дніпро", "Харків"]
    cities_to = ["Куп'янськ", "Слов'янськ", "Краматорськ", "Покровськ", "Гуляй
Поле"]

    for i in range(m):
        for j in range(n):
            if flows[i, j] > 0:
                print(f"З {cities_from[i]} до {cities_to[j]}: {flows[i, j]:.2f} т")

    print(f"Загальна вартість: {total_cost:.2f} грн")

    # Виведення динаміки запасів після оптимізації
    print("\nДинаміка запасів на кожному логістичному пункті:")
    for i in range(m):
        print(f"Логістичний центр {cities_from[i]}: {x[i]:.2f} т")
else:
    print("Оптимізація не вдалася. Причина:")
    print(result.message)

```