

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ВАДИМА ГЕТЬМАНА**

**Навчально-науковий інститут «Інститут інформаційних технологій
в економіці»**

Кафедра системного аналізу та кібербезпеки

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ»

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність 124 «Системний аналіз»

Форма навчання: очна (денна)

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему «Застосування методів оптимізації до розв'язання логістичних
задач в контексті гуманітарної допомоги»

здобувача Остапенко Вероніки Олександрівни _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник кандидат фізико-математичних наук, доцент Гладка Ю. А.
(науковий ступінь, учене звання, ПІБ)

(підпис)

**Робота допущена до захисту перед екзаменаційною комісією з
атестації здобувачів вищої освіти (ЕК)**

Завідувач кафедри: д.ф.-м.н., проф. Джалладова І. А.

(підпис)

Київ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАДИМА
ГЕТЬМАНА

Навчально-науковий інститут
«Інститут інформаційних технологій в економіці»

Кафедра системного аналізу та кібербезпеки

ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ»
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 124 «СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ»

ПОГОДЖЕНО

Керівник проектної групи (гарант)
д.економ.н., проф. Галіцин Володимир
Костянтинович

(підпис)

2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
системного аналізу та кібербезпеки
Джалладова Ірада Агаверді-кизи

(підпис)

2024 р.

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

здобувача вищої освіти Остапенко Вероніки Олександрівни
очної (денної) форми навчання

на підготовку кваліфікаційної бакалаврської роботи
на тему «Застосування методів оптимізації до розв’язання логістичних задач в контексті
гуманітарної допомоги»

Тему затверджено наказом ректора Університету від « ____ » _____ 20__ р .№ ____

Кваліфікаційна бакалаврська робота виконується на матеріалах статистичних даних, звіти міжнародних та національних організацій, даних з відкритих джерел та спеціалізованих баз даних.

План кваліфікаційної бакалаврської роботи

Розділ 1	ОГЛЯД СУЧАСНОЇ ГУМАНІТАРНОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ
(назва розділу)	

Розділ 2	МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ
<i>(назва розділу)</i>	
Розділ 3	РЕАЛІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ЗАДАЧІ Й ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
<i>(назва розділу)</i>	
Об'єкт дослідження:	процеси гуманітарної логістики, які забезпечують доставку медичних товарів у прифронтові області України
Предмет дослідження:	оптимізація логістичних задач для підвищення ефективності гуманітарної допомоги
Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи:	розробка методики оптимізації логістичних процесів гуманітарної допомоги в прифронтових областях, в секторі здоров'я

Конкретні завдання, які здобувач повинен виконати для досягнення поставленої мети:

У розділі 1	Характеристика поняття логістичних систем та розглянути теоретичні аспекти таких методів дослідження та оптимізації як: системний аналіз; мова програмування Python; теорія прийняття рішень – метод аналізу ієрархій; метод дискретної математики – угорський алгоритм; метод лінійного програмування – симплексний метод.
У розділі 2	Провести аналіз та характеристику сучасного стану потреб в гуманітарній допомозі в Україні та описати гуманітарну логістичну систему, використовуючи визначенні методи в Розділі 1.
У розділі 3	Сформувати математичну модель логістичної задачі, розв'язати її методами лінійного програмування та оцінити результат оптимізації.

Завдання підготував науковий керівник

Ю. А. Гладка

(підпис)

«_____» _____ 2024 р.

Завдання одержав здобувач

В. О. Остапенко

(підпис)

«_____» _____ 2024 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Застосування методів оптимізації до розв’язання логістичних задач в контексті гуманітарної допомоги» складається з вступу, основної частини, що містить 3 розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 59 сторінок. Робота містить 14 рисунків. Робота містить 15 таблиць. Список використаних джерел включає 30 джерел. Робота містить 3 додатка.

Об’єктом дослідження є процеси гуманітарної логістики, які забезпечують доставку медичних товарів у прифронтові області України.

Предметом дослідження є оптимізація логістичних задач, зокрема, у секторі охорони здоров’я в прифронтових областях України для підвищення ефективності гуманітарної допомоги.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка методики оптимізації логістичних процесів гуманітарної допомоги в прифронтових областях, в секторі здоров’я. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести системний аналіз сучасного стану гуманітарної допомоги та потребу в ній в Україні.
2. Розробити модель логістичної системи гуманітарної допомоги.
3. Розробити та впровадити методи прийняття рішень та математичні моделі оптимізації логістичних процесів.
4. Визначити оптимальні маршрути доставки.
5. Оцінити ефективність запропонованих методів та розробити рекомендації для їх впровадження.

У дослідженні використовувалися *методи*:

1. Системний аналіз для моделювання логістичної системи та аналізу її структури.

2. Методи теорії прийняття рішень для обґрунтування вибору регіонів у дослідженні: було доведено обґрунтованість розгляду східного та південного регіонів України.
3. Методи дискретної математики для оптимізації логістичної мережі: угорським алгоритмом обрали найоптимальніші шляхи між елементами логістичної системи.
4. Мова програмування Python (бібліотеки pandas, numpy, matplotlib) для аналізу та візуалізації даних: досліджено набори великих даних для моніторингу та збору актуальної інформації про гуманітарні потреби, що забезпечило точність та актуальність прийнятих рішень.
5. Лінійне програмування для розв'язання задач оптимального вибору і для розробки моделей оптимізації: розроблено математичну модель та протестовано на реальних даних, мінімізувавши витрати.

Ключові слова: гуманітарна логістика, логістична система, оптимізація, системний аналіз.

ВІДГУК
на кваліфікаційну бакалаврську роботу
студентки Остапенко Вероніки Олександрівни
групи ІА-401 на тему: "Застосування методів оптимізації до розв'язання
логістичних задач в контексті гуманітарної допомоги"

Актуальність теми. Це дослідження є особливо актуальним для України, оскільки сприяє розвитку сучасних підходів до розв'язання логістичних задач в умовах воєнного стану. Забезпечення своєчасної доставки продовольчих наборів, медикаментів та інших предметів першої необхідності до потребуючих зон є надзвичайно важливим для збереження життя та здоров'я постраждалих. Саме розробці методики оптимізації логістичних процесів гуманітарної допомоги в прифронтових областях, зокрема, в секторі здоров'я присвячена ця робота.

Повнота розкриття теми. Зміст дипломної роботи відповідає темі. Усі питання розкриті в повній мірі на достатньому рівні.

Теоретичною основою дослідження є сучасні джерела інформації, що в повній мірі відображають всі необхідні визначення і поняття.

Практична значущість роботи: Розроблені моделі та алгоритми можуть бути успішно впроваджені у реальні умови для планування логістичних операцій в умовах війни та гуманітарної кризи. Це забезпечує ефективне використання обмежених ресурсів та покращення надійності логістичної системи. Робота виконана на сучасному рівні та показує, що автор добре орієнтується у даному питанні.

Самостійність виконання роботи: студент показав здатність самостійно працювати з науково-технічною літературою, роботу написано грамотною українською мовою, належно оформлено. Робота відповідає затвердженій темі, а всі етапи, затверджені календарним планом, були виконані у зазначений термін.

Якість оформлення, загальна та спеціальна грамотність. Оформлення роботи відповідає всім вимогам, що висуваються до кваліфікаційних бакалаврських робіт в КНЕУ ім. В. Гетьмана.

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ЕК: вважаю, що дипломна робота виконана на належному рівні, вона задовольняє усі вимоги до випускних кваліфікаційних робіт бакалавра і заслуговує на оцінку «відмінно», а її автор Остапенко Вероніка Олександрівна присвоєння ступіня бакалавра зі спеціальності «Системний аналіз».

Науковий керівник
канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри
системного аналізу та кібербезпеки ІІТЕ
Гладка Ю. А.
7 червня 2024 р.



РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу бакалавра

студентки групи ІА-401 Остапенко Вероніки Олександрівни

на тему: «Застосування методів оптимізації до розв'язання логістичних задач в контексті гуманітарної допомоги»

Актуальність теми. Тема дипломної роботи є актуальною в умовах поточної військової ситуації в Україні. Війна створила значні виклики для логістичних операцій, зокрема в доставці гуманітарної допомоги до постраждалих регіонів. Розробка та впровадження методів оптимізації логістичних процесів здатні значно підвищити ефективність та оперативність надання допомоги, що є важливим для населення. Актуальність теми підсилюється необхідністю раціонального використання обмежених ресурсів.

Позитивні сторони у роботі, які бажає підкреслити рецензент. Робота демонструє використання комплексного підходу до оптимізації логістичних процесів, включаючи системний аналіз, теорію прийняття рішень, дискретну математику та лінійне програмування. У роботі використано сучасні інструменти для аналізу та візуалізації даних, такі як Python, що підвищує точність аналізу. Використання реальних даних та практичних прикладів для підтвердження теоретичних висновків.

Недоліки або дискусійні питання у роботі. Було б доцільно детальніше розглянути альтернативні методи оптимізації та порівняти їх ефективність у контексті гуманітарної логістики. У роботі могли б бути більш детально розглянуті ризики, пов'язані з впровадженням запропонованих методів, та способи їх мінімізації.

Оцінка якості запропонованих студентом заходів і пропозицій, їх практична цінність. Запропоновані заходи та пропозиції мають високу практичну цінність. Розроблені моделі та алгоритми можуть бути впроваджені організаціями, що займаються гуманітарною допомогою, для

оптимізації маршрутів, зниження витрат та покращення своєчасності доставки медичних ресурсів до постраждалих регіонів. Використання сучасних методів аналізу та оптимізації забезпечує високий рівень точності та ефективності прийняття рішень у сфері гуманітарної логістики.

Загальна оцінка роботи та висновок щодо рекомендації до захисту в ЕК. Кваліфікаційна бакалаврська робота є науково обґрунтованою, добре структурованою та практично значущою. Робота демонструє високий рівень теоретичних знань і практичних навичок у сфері системного аналізу та оптимізації. Робота має важливе практичне значення та може бути використана для покращення гуманітарної логістики в Україні та оцінена на високу оцінку "відмінно", а її авторці присвоєння ступіня «бакалавр» зі спеціальності 124 «Системний аналіз».

Рецензент

Директор департаменту
ІТ ТОВ «Смарт Тренд»



Кулик А. В.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНОЇ ГУМАНІТАРНОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ.....	6
1.1 Загальна характеристика сучасних логістичної системи України	6
1.2 Системний аналіз у логістиці	8
1.3 Теорія прийняття рішень та її застосування в логістиці	12
1.4 Методи дискретної математики в логістичних завданнях	17
1.5 Мова програмування Python в аналізі даних. Бібліотеки pandas, numpy, matplotlib.....	19
1.6 Огляд основних методів оптимізації та оптимального програмування	21
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ	25
2.1 Аналіз сучасного стану гуманітарної допомоги в секторі здоров'я України	25
2.2 Метод аналізу ієрархії для обґрунтування вибору регіону.....	34
2.3 Виявлення структури логістичної системи.....	36
2.4 Збір додаткових даних про систему для проведення оптимізації	41
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ЗАДАЧІ Й ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЇ.....	44
3.1 Логістичне планування	44
3.2 Визначення цільової функції та обмежень системи	47
3.3 Лінійне програмування	49
3.4 Проведення аналізу та оцінка ефективності запропонованих методів	51
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

ВСТУП

Війна в Україні створила серйозні логістичні виклики для організацій, які надають гуманітарну допомогу. В умовах обмежених ресурсів та складної ситуації виникає необхідність у застосуванні методів оптимізації, що дозволяють підвищити ефективність гуманітарної логістики. Це дослідження є особливо актуальним для України, оскільки сприяє розвитку сучасних підходів до розв'язання логістичних задач в умовах кризи. Забезпечення своєчасної доставки продовольчих наборів, медикаментів та інших предметів першої необхідності до потребуючих зон є надзвичайно важливим для збереження життя та здоров'я постраждалих.

Питання логістики як такої, а також гуманітарної логістики та її оптимізації отримує значну увагу в теперішній час. Наприклад, Л. М. Івашко в своїй статті "Оптимізація управління логістичними процесами у торгівлі" [1] розглядає різні аспекти управління логістикою, включаючи використання економіко-математичних методів для оптимізації логістичних витрат. Робота Івашко підкреслює важливість застосування математичних моделей для вирішення задач логістики, що є ключовим аспектом для оптимізації гуманітарних логістичних систем. Стаття демонструє, як можна адаптувати математичні моделі для врахування сезонності та інших змінних факторів, що може бути критично важливим у контексті гуманітарної допомоги в зонах конфлікту. Стаття «Модель оптимізації розташування закладу для екстреної гуманітарної логістики» [2] зосереджена на розробці моделей оптимізації розташування об'єктів для екстреної гуманітарної логістики. У статті розглядається проблема оптимізації локацій для гуманітарної логістики під час надзвичайних ситуацій. Основні математичні підходи, що використовуються в статті, включають: модель для визначення оптимальних локацій для розміщення

гуманітарних складів; лінійне програмування; цілочисельне програмування. Дипломна робота включає більш комплексний підхід до оптимізації гуманітарної логістики. Було покращено моделювання реальних умов з урахуванням специфічних умов в Україні, що робить результати більш практичними та застосовними для реальних гуманітарних операцій. Дипломна робота значною мірою спирається на теоретичні основи та методології, запропоновані у розглянутих статтях, водночас значно розширюючи їхній внесок шляхом інтеграції та вдосконалення різних методів оптимізації, включаючи методи систематичного характеру, теорію графів та їх інтеграцію з методами оптимізації.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка методики оптимізації логістичних процесів гуманітарної допомоги в прифронтових областях, в секторі здоров'я. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести системний аналіз сучасного стану гуманітарної допомоги та її потребу в Україні.
2. Розробити модель логістичної системи гуманітарної допомоги.
3. Розробити та впровадити методи прийняття рішень та математичні моделі оптимізації логістичних процесів.
4. Визначити оптимальні маршрути доставки.
5. Оцінити ефективність запропонованих методів та розробити рекомендації для їх впровадження.

Об'єктом дослідження є процеси гуманітарної логістики, які забезпечують доставку медичних товарів у прифронтові області України.

Предметом дослідження є оптимізація логістичних задач, зокрема, у секторі охорони здоров'я в прифронтових областях України, для підвищення ефективності гуманітарної допомоги.

У дослідженні використовувалися наступні методи:

1. Системний аналіз для моделювання логістичних систем та аналізу їх структури.
2. Методи теорії прийняття рішень для обґрунтування вибору регіонів у дослідженні.
3. Методи дискретної математики для оптимізації логістичної мережі.
4. Мова програмування Python (бібліотеки pandas, numpy, matplotlib) для аналізу та візуалізації даних.
5. Лінійне програмування: для розв'язання задач оптимального вибору і для розробки моделей оптимізації.

Теоретичне значення роботи полягає у розвитку методології застосування оптимізаційних методів у гуманітарній логістиці. Розроблені підходи можуть бути використані для вирішення подібних логістичних задач у інших кризових ситуаціях. Практична значущість полягає у можливості безпосереднього застосування результатів дослідження для покращення ефективності гуманітарної допомоги в Україні. Розроблені моделі та алгоритми можуть бути впроваджені організаціями, які займаються розподілом гуманітарної допомоги, що дозволить оптимізувати маршрути, знизити витрати та покращити своєчасність доставки медичних ресурсів до постраждалих регіонів. Дипломна робота використовує реальні дані про гуманітарну допомогу в Україні, що дозволяє застосовувати розроблені моделі до конкретних практичних ситуацій.

Інформаційна база дослідження включає статистичні дані з офіційних джерел, звіти міжнародних та національних організацій, а також дані про поточний стан гуманітарної допомоги в Україні, отримані з відкритих джерел та спеціалізованих баз даних. Зокрема використовувалися дані Ukraine Humanitarian Fund (UHF) та Logistics Cluster.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНОЇ ГУМАНІТАРНОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

1.1 Загальна характеристика сучасних логістичної системи України

Логістика – це процес стратегічного управління постачанням, переміщенням і зберіганням матеріалів, елементів і готової продукції (і пов'язаних з ними інформаційних процесів) в організації та її торговельних каналах таким чином, щоб максимізувати поточну і майбутню прибутковість за рахунок економічно ефективного виконання замовлень. [3]

Логістична система – це сукупність взаємопов'язаних процесів і операцій, пов'язаних з плануванням, реалізацією та контролем переміщення товарів і продуктів від місця виробництва до місця використання. Основна мета логістичної системи – забезпечити доставку продукції в потрібний пункт, в потрібний час і в належному стані, мінімізуючи при цьому витрати і максимізуючи ефективність.

Хоча логістика переважно розглядається в контексті комерційних ланцюгів постачання, вона також є важливим інструментом в операціях з подолання наслідків надзвичайних ситуацій. Гуманітарна логістика – це галузь логістики, яка спеціалізується на організації доставки та зберігання вантажів під час стихійних лих або в умовах складних надзвичайних ситуацій для постраждалих районів і людей. Гуманітарна логістика — це галузь логістики, яка спеціалізується на організації доставки та складування запасів під час стихійних лих або складних надзвичайних ситуацій для постраждалого району та людей. Однак це визначення зосереджується лише на фізичному потоці товарів до кінцевих пунктів

призначення, а насправді гуманітарна логістика набагато складніша і включає прогнозування та оптимізацію ресурсів, управління запасами та обмін інформацією. Таким чином, ширшим визначенням гуманітарної логістики є: гуманітарна логістика — це процес планування, впровадження та контролю ефективного, економічно вигідного потоку та зберігання товарів і матеріалів, а також відповідної інформації від пункту походження до місця споживання з метою полегшення страждань вражених людей. [4]

Інфраструктура транспортної логістики в Україні є розвиненою та налагодженою і охоплює чотири основні види транспорту - повітряний, морський, наземний та залізничний. Після російського вторгнення 24 лютого 2022 року транспортна логістика була обмежена автомобільним та залізничним транспортом. Війна завдала пошкоджень усім видам української логістичної інфраструктури, що призвело до зупинки цілих галузей промисловості. Незважаючи на виклики, в Україні здійснюються постійні заходи з розвитку складської логістики. Ключові регіони, такі як Одеса, Дніпро та Київ, є лідерами в цьому секторі. Також особлива увага приділяється будівництву нових залізниць, розширенню пропускної спроможності автомобільних доріг та реконструкції Дунайських портів для сприяння експорту в Європу.

Таким чином, незважаючи на те, що логістичні системи України стикаються зі значними проблемами через війну, тривають скоординовані зусилля з відновлення та покращення логістичної інфраструктури, які підтримуються як внутрішніми ініціативами, так і міжнародною допомогою.

Логістичний кластер, який співпрацює з Всесвітньою продовольчою програмою (ВПП), розпочав свою роботу з метою зміцнення логістичних структур і кадрового забезпечення. Це включає надання загальної координації та логістичних послуг для забезпечення ефективної та своєчасної доставки гуманітарної допомоги. Кластер сприяє співпраці між організаціями ООН, громадськими організаціями та іншими партнерами на місцевому рівні.

Гуманітарні організації, завдяки таким ініціативам, як План гуманітарних потреб і реагування в Україні, прагнуть підтримати мільйони людей, які цього потребують. У 2023 році допомогу отримали близько 11 мільйонів людей, і в 2024 році продовжуються зусилля, спрямовані на надання допомоги тим, хто її нагально потребує, зосереджуючись на основних послугах, таких як охорона здоров'я, їжа та житло.

1.2 Системний аналіз у логістиці

Системний аналіз як метод включає вивчення об'єкта через його представлення як системи та її поступове дослідження.

Системність означає властивий взаємозв'язок і взаємозалежність компонентів у межах будь-якої системи. У логістиці цей принцип підкреслює необхідність розглядати логістичні операції не ізольовано, а як частини більшої, інтегрованої мережі, яка включає постачальників, виробників, транспортні системи, склади і клієнтів.

Система – це сукупність взаємопов'язаних компонентів, що працюють разом для досягнення спільної мети. У логістиці система може включати різні елементи, такі як транспортні мережі, складські приміщення, управління запасами та інформаційні системи. Логістика являє собою складну та обширну систему, всі її процеси та операції можна досліджувати та моделювати за допомогою інструментів загальної теорії систем. Логістична система – це динамічна та цілеспрямована система, тобто така, що має сталу мету, але еволюціонує з часом та може змінювати методи для досягнення початкової мети при зміні зовнішніх чи внутрішніх умов.

Алгоритм системного аналізу:

- Визначення проблеми: чітко вказується логістична проблема або виклик, який необхідно вирішити.
- Опис системи: розглядається логістична система, включаючи всі відповідні компоненти та їх взаємодію.
- Збір даних для підтримки аналізу.
- Аналіз: використовуючи модель та дані, аналізується продуктивність системи та визначення сфер для покращення.
- Моделювання: розробка математичної або імітаційної моделі для представлення системи та її поведінки.
- Розробка та впровадження рішень на основі аналізу.
- Моніторинг та коригування за необхідності.

Створення ефективної логістичної системи включає наступні кроки:

- визначення цілей створення системи;
- ідентифікація елементів та структури системи;
- опис функціонування системи та її взаємодії з середовищем;
- оцінка діяльності системи, шляхом порівняння результатів з визначеними цілями.

Ціль будь-якої логістичної системи є гарантування наявності необхідного продукту в потрібній кількості в потрібному місці для визначеного споживача за оптимальних витрат. Іншими словами, кінцевою метою будь-якої логістичної системи є задовольнити клієнтів.

Макрологістична система є великою логістичною системою управління потоковими процесами за участю декількох і більше незалежних суб'єктів господарювання, не обмежених у територіальному розташуванні. Виділяють такі макрологістичні системи: [5]

- регіональні;

- національні (міжрегіональні);
- міжнаціональні.

Логістична система гуманітарної допомоги включає різноманітні елементи, які взаємодіють для забезпечення ефективного постачання послуг до пунктів в умовах кризи. Головні елементи цієї системи можна розділити на кілька ключових категорій, як показано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Елементи логістичної системи

Елемент	Характеристика	Функція
Постачальники	Підприємства та організації, які надають медичні товари, продовольчі набори, воду та інші життєво важливі ресурси.	Забезпечення необхідними товарами та послугами, укладення договорів на постачання.
Центральні склади	Головні центри, розташовані у безпечних регіонах, де зберігаються великі обсяги товарів.	Зберігання, управління запасами, підготовка товарів до подальшої відправки.
Регіональні логістичні склади	Проміжні центри ближче до зони конфлікту, що використовуються для короткочасного зберігання та перерозподілу товарів.	Транспортування, розподіл товарів, забезпечення швидкого реагування на потреби.
Транспортні засоби	Вантажівки, поїзди, літаки та інші засоби транспортування.	Доставка товарів від постачальників до складів і від складів до кінцевих споживачів.
Пункти отримання гуманітарної допомоги	Лікарні, клініки, мобільні медичні пункти та інші місця, де надається допомога.	Прийом та розподіл гуманітарної допомоги серед населення.
Кінцеві споживачі	Суб'єкти, які постраждали від кризи та потребують допомоги.	Отримання та використання наданих товарів та послуг.

Джерело: складено автором

Отже, основні логістичні функції:

1. Планування логістики: визначення потреб у ресурсах; розробка планів постачання та розподілу товарів.
2. Управління запасами: контроль за рівнем запасів на складах; прогнозування потреб та поповнення запасів.
3. Транспортування: організація перевезень товарів; вибір оптимальних маршрутів та засобів транспорту.
4. Управління замовленнями: прийом та обробка замовлень від кінцевих споживачів; координація між постачальниками, складами та транспортними засобами.
5. Розподіл і доставка: розподіл товарів між регіональними логістичними центрами та пунктами отримання; доставка товарів до кінцевих споживачів.

Фактори впливу на формування логістичних систем:

1. Зовнішні фактори: політична та економічна ситуація; природні умови та катастрофи; інфраструктура та технологічний розвиток.
2. Внутрішні фактори: структура та організація логістичної системи; ресурси та можливості організації; кваліфікація персоналу та рівень управління.

Метод системного аналізу, який доцільно застосувати це продукційна модель подання знань в предметній області. Системний аналіз передбачає розгляд системи в цілому, враховуючи всі її компоненти та взаємозв'язки між ними. Продукційні моделі допомагають формалізувати ці взаємозв'язки та автоматизувати процеси прийняття рішень, що є важливою частиною системного аналізу.

Продукційна модель, або продукційна система правил, правила якої (продукції) складаються з двох частин: передумови (твердження "якщо") і дії

("тоді"). Якщо передумова продукції відповідає актуальному стану навколишнього середовища, то кажуть, що продукція спрацьовує. Якщо дія похідної виконується, кажуть, що вона спрацювала. Для випадку, коли спрацьовує одночасно декілька пропозицій, має бути визначена пріоритетність кожної. Продукційна система також включає базу знань, яку іноді називають робочою пам'яттю, що зберігає дані про фактичний стан або знання стосовно предметної області. Наприклад: якщо (факт 1): «дорога А заблокована», тоді (дія 1): «використовувати альтернативний маршрут В». Роботу продукційної моделі можна зобразити за допомогою графу відображення взаємозв'язку продукцій.

Продукційні моделі дозволяють формалізувати знання та правила, що керують процесами. Це відповідає одному з основних принципів системного аналізу – створення формальної моделі, яка описує поведінку системи. Автоматизація процесу прийняття рішень на основі чітко визначених правил (продукцій) дозволяє підвищити ефективність управління системою, враховувати множинні фактори одночасно, що є важливим аспектом системного аналізу. У складних системах, таких як гуманітарна логістика, необхідно враховувати багато параметрів, що можна ефективно реалізувати за допомогою продукційних моделей.

1.3 Теорія прийняття рішень та її застосування в логістиці

Теорія прийняття рішень — це наукова дисципліна, яка вивчає процеси вибору найкращих дій або стратегій з наявних альтернатив на основі певних критеріїв. Вона поєднує в собі математичні, психологічні, економічні та інші

підходи для аналізу і розв'язання проблем, що виникають у різних сферах діяльності, включаючи бізнес, інженерію, управління та логістику.

Логістика гуманітарної допомоги в умовах війни вимагає швидкого та ефективного прийняття рішень. Використання теорії прийняття рішень дозволяє систематично аналізувати альтернативи та вибирати оптимальні варіанти, базуючись на чітко визначених критеріях.

Метод аналізу ієрархій — це один з найпоширеніших методів прийняття рішень, який був розроблений Томасом Сааті. Метод дозволяє розбити складну задачу на ієрархічну структуру, де кожен рівень представляє критерії та підкритерії, що впливають на прийняття рішення, і допомагає оцінити та пріоритизувати різні варіанти рішень на основі заданих критеріїв. Перевага методу полягає в тому, що він використовує попарне порівняння для визначення відносної ваги різних критеріїв, а потім застосовує їх на кожному рівні критеріїв для обчислення загальної вагомості. На основі цього можна розрахувати об'єктивну оцінку для кожної альтернативи.

Метод аналізу ієрархій використовується для перетворення нематеріальних або психологічних факторів у порівнювані величини: особи, які приймають рішення, присвоюють кількісне значення нематеріальним або психологічним факторам.

Отже, метод складається з трьох основних етапів: визначення завдання, альтернатив та критеріїв, згідно з якими досягається бажаний результат.

Для початку, після визначення критеріїв, вони попарно порівнюються за рівнем важливості, іншими словами відповідаючи на питання: «Наскільки критерій А має більший вплив за критерій В?» . Фундаментальними для методу є співвідношення лінгвістичних та числових оцінок, наведене в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Оцінки методу аналізу ієрархій

Лінгвістична оцінка	Числова оцінка	Лінгвістична оцінка	Числова оцінка
Однаково важливо	1	Однаково важливо	1
Від однаково до помірно важливіше	2	Від однаково до помірно менш важливо	1/2
Помірно важливіше	3	Помірно менш важливо	1/3
Від помірно до значно важливіше	4	Від помірно до значно менш важливо	1/4
Значно важливіше	5	Значно менш важливо	1/5
Від значно до дуже сильно важливіше	6	Від значно до набагато менш важливої	1/6
Дуже сильно важливіше	7	Набагато менш важливо	1/7
Від дуже сильно до надзвичайно важливіше	8	Від набагато до надзвичайно менш важливо	1/8
Надзвичайно важливіше	9	Надзвичайно менш важливо	1/9

Джерело: складено автором

Оцінки a_{ij} вносяться в матрицю розміром $n \times n$, де n – кількість критеріїв. Наприклад, припустимо, що ми маємо два критерії А та В, тоді матриця попарного порівняння матиме наступний вигляд, як зображено на табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Матриця попарного порівняння критеріїв

Критерій	А	В
А	$a_{11} = 1$	a_{12}
В	a_{21}	$a_{22} = 1$

Джерело: складено автором

Після цього кроку відбувається обчислення вагових коефіцієнтів кожного з критеріїв – це називається вектор пріоритетів. Для цього проводиться ряд обчислень:

1. Розраховується сума значень кожного стовпця у матриці попарного порівняння.

2. Кожне значення стовпця розділяється на загальну суму відповідного стовпця, та отримуючи нове значення - a_{ij}^* . У результаті сума по стовпцях дорівнює приблизно 1.0. Це тому, що ваги тепер нормалізовані.
3. Обчислюється середнє значення кожного рядка. Це і є підсумкова вага для кожного критерію. Цей розрахований показник свідчить про вплив кожного критерію на остаточний результат. Табл. 1.4 відображає ці кроки.

Таблиця 1.4 – Розрахунок векторів пріоритетів для критеріїв

Критерій	A	B	Вектор пріоритетів
A	$a_{11}^* = a_{11} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{12}^* = a_{12} / (a_{12} + a_{22})$	$v_A = (a_{11}^* + a_{12}^*)/2$
B	$a_{21}^* = a_{21} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{22}^* = a_{22} / (a_{12} + a_{22})$	$v_B = (a_{21}^* + a_{22}^*)/2$
Сума	1	1	1

Джерело: складено автором

Наступним кроком є попарне порівняння кожної альтернативи на основі критеріїв найнижчого рівня у нашій ієрархії, повторюючи попередні кроки, та розраховуючи, яка альтернатива виграє за певним критерієм, (див. табл. 1.5). Наприклад, припускаємо, що є альтернатива A1 та A2, а $v_{a,k}$ – значення вектору пріоритетів для альтернативи – а, відповідно критерію - к. Матимемо наступні матриці попарного порівняння – табл. 1.6 і табл. 1.7

Таблиця 1.5 – Матриця попарного порівняння альтернатив

Критерій – A і B	A1	A2
A1	$a_{11} = 1$	a_{12}
A2	a_{21}	$a_{22} = 1$

Джерело: складено автором

Таблиця 1.6 – Розрахунок векторів пріоритетів для альтернатив по критерію А

Критерій – А	A1	A2	Вектор пріоритетів
A1	$a_{11}^* = a_{11} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{12}^* = a_{12} / (a_{12} + a_{22})$	$v_{A1,A} = (a_{11}^* + a_{12}^*)/2$
A2	$a_{21}^* = a_{21} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{22}^* = a_{22} / (a_{12} + a_{22})$	$v_{A2,A} = (a_{21}^* + a_{22}^*)/2$
Сума	1	1	1

Джерело: складено автором

Таблиця 1.7 – Розрахунок векторів пріоритетів для альтернатив по критерію В

Критерій – В	A1	A2	Вектор пріоритетів
A1	$a_{11}^* = a_{11} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{12}^* = a_{12} / (a_{12} + a_{22})$	$v_{A1,B} = (a_{11}^* + a_{12}^*)/2$
A2	$a_{21}^* = a_{21} / (a_{11} + a_{21})$	$a_{22}^* = a_{22} / (a_{12} + a_{22})$	$v_{A2,B} = (a_{21}^* + a_{22}^*)/2$
Сума	1	1	1

Джерело: складено автором

Останнім кроком перед прийняттям рішення, буде розрахунок фінальної оцінки. Для цього вектор пріоритетів кожного критерію множиться на оцінку кожної альтернативи, та додається по рядках щоб отримати фінальну оцінку - v_A (див. табл.1.8). Рішення приймається на користь тієї альтернативи, для якої значення є максимальним.

Таблиця 1.8 – Розрахунок остаточних векторів пріоритетів

	А	В	Остаточний вектор пріоритетів
A1	$v_{A1,A}$	$v_{A1,B}$	$v_{A1} = (v_{A1,A} * v_A + v_{A1,B} * v_B)$
A2	$v_{A2,A}$	$v_{A2,B}$	$v_{A2} = (v_{A2,A} * v_A + v_{A2,B} * v_B)$
	v_A	v_B	

Джерело: складено автором

1.4 Методи дискретної математики в логістичних завданнях

Логістика – це наука про організацію потоку інформації, товарів і послуг. Без дискретної математики логістики не існувало б. Це пов'язано з тим, що логістика активно використовує графи та теорію графів, підгалузь дискретної математики. Графи дозволяють представляти логістичні мережі у вигляді вузлів (вершин) та ребер (дуг), що з'єднують ці вузли. Це дозволяє моделювати транспортні мережі, де вузли можуть представляти міста, склади, центри розподілу чи пункти доставки, а ребра — маршрути між ними. Методи дискретної математики є невід'ємною частиною аналізу та оптимізації логістичних задач. Вони дозволяють моделювати та розв'язувати складні задачі, пов'язані з розподілом ресурсів, маршрутизацією, плануванням та управлінням запасами.

Граф G складається з множини вершин V та множини ребер E , де кожне ребро з'єднує дві вершини. Якщо ребра орієнтовані, такий граф називається орієнтованим.

Граф G називається двочастковим, якщо його вершини можна розбити на дві непересічні множини U і V так, що кожне ребро з'єднує вершину з U з вершиною з V , але жодне ребро не з'єднує вершини з однієї множини.

Зважений граф – граф, в якому кожному ребру присвоєна числова вага.

Іншим прикладом є угорський алгоритм для задачі призначення, також відомий як метод Кеніга, та є алгоритмом, призначеним для розв'язання задачі призначення. Задача призначення полягає в знаходженні оптимального розподілу n завдань на n агентів так, щоб мінімізувати загальну вартість (наприклад, відстань або час), тобто в знаходженні оптимального парування у двочастковому зваженому графі, яке мінімізує (або максимізує) суму ваг ребер у паруванні.

Матриця вартостей (вартісна матриця): задається матриця розміром $n \times n$, де елемент c_{ij} представляє вартість призначення завдання i агенту j .

Мінімальна вартість: потрібно знайти таке призначення, яке мінімізує суму витрат.

Угорський алгоритм базується на ідеї редукції матриці вартостей та побудові покриття для пошуку оптимального призначення.

Кроки алгоритму:

1. Редукція рядків: для кожного рядка матриці знайти мінімальне значення та відняти його від кожного елемента цього рядка.
2. Редукція стовпців: для кожного стовпця отриманої матриці знайти мінімальне значення та відняти його від кожного елемента цього стовпця.
3. Побудова покриття: накреслити мінімальну кількість ліній (горизонтальних чи вертикальних), щоб покрити всі нульові елементи в редукованій матриці.
4. Оптимальність покриття: якщо кількість ліній дорівнює n , то знайдено оптимальне призначення. Якщо ні, потрібно зробити додаткові редукції.
5. Редукція не покритих елементів: знайти найменше значення серед не покритих лініями елементів. Відняти це значення від усіх не покритих елементів і додати його до перетинів ліній. Повторити побудову покриття.
6. Повторення процесу: повторювати кроки 3-5, доки кількість ліній не стане рівною n .

1.5 Мова програмування Python в аналізі даних. Бібліотеки pandas, numpy, matplotlib

Мова програмування Python стала одним з найбільш популярних і актуальних інструментів для аналізу даних у багатьох галузях, включаючи логістику. Її популярність обумовлена кількома ключовими факторами, серед яких простота синтаксису, багатий набір бібліотек для обробки даних, а також активна спільнота користувачів і розробників. У контексті дослідження, спрямованого на оптимізацію логістичних процесів гуманітарної допомоги в Україні, Python забезпечує необхідні засоби для ефективного аналізу великих обсягів даних та їх візуалізації.

Масив (array) - структура даних, яка зберігає кілька значень одного типу під одним іменем. У numpy масиви можуть бути багатовимірними, що дозволяє зберігати дані у вигляді матриць та тензорів.

Функція – блок коду, який виконує певну дію і може бути викликаний у програмі кілька разів. Функції можуть приймати вхідні дані (параметри) і повертати результат.

Об'єкт – екземпляр класу, який включає дані (поля або атрибути) та функціональність (методи). Об'єктно-орієнтоване програмування базується на концепції об'єктів.

Клас – шаблон або зразок для створення об'єктів, який визначає набір атрибутів і методів, що будуть у цих об'єктів.

Метод – функція, яка визначена всередині класу і працює з об'єктами цього класу. Методи використовуються для визначення поведінки об'єктів.

Бібліотека – це набір готових функцій, класів та методів, які можуть бути використані програмістами для виконання певних задач без необхідності писати

код з нуля. Бібліотеки дозволяють спростити та пришвидшити процес розробки програм. В цій роботі для аналізу даних будуть застосовуватися три відомі бібліотеки, що наведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Опис бібліотек Python

Бібліотека	Опис	Застосування
Pandas	Бібліотека Python для маніпуляції та аналізу даних. Вона забезпечує зручні структури даних, такі як DataFrame, та численні функції для роботи з табличними даними.	Широко використовується для очищення, перетворення, агрегації та аналізу даних. У контексті гуманітарної логістики, pandas дозволяє легко обробляти дані про запаси, транспортні засоби, маршрути та інші логістичні показники.
Numpy	Бібліотека для наукових обчислень у Python. Вона забезпечує підтримку багатовимірних масивів та матриць, а також широкий набір математичних функцій для роботи з ними.	Використовується для чисельного моделювання та обчислень, що є важливим для оптимізації логістичних процесів та моделювання логістичних систем.
Matplotlib	Бібліотека для візуалізації даних у Python. Вона дозволяє створювати різноманітні графіки та діаграми, що допомагають зрозуміти та проаналізувати дані.	Matplotlib використовується для створення графічних візуалізацій, які допомагають у прийнятті рішень, базуючись на аналізі даних. У гуманітарній логістиці це може бути корисно для візуалізації маршрутів доставки, рівнів запасів та інших ключових показників.

Джерело: складено автором

1.6 Огляд основних методів оптимізації та оптимального програмування

Лінійне програмування або лінійна оптимізація – це напрям математичного програмування, який дозволяє знайти оптимальний розв'язок для заданої проблеми.

Цільова функція – це лінійна комбінація змінних рішень і параметрів, які необхідно максимізувати або мінімізувати. Розв'язання задачі здійснюється на основі обмежень для змінних або вихідних значень. Перетин всіх обмежень утворює область можливих рішень, в якій унікальна комбінація змінних дає оптимальне рішення. Необхідною умовою постановки завдання лінійного програмування є лінійні обмеження на наявність різного роду ресурсів. [6]

В умовах обмежених ресурсів необхідно оптимально використати їх, щоб досягти найкращого результату в конкретній задачі, наприклад, мінімальних витрат, максимального прибутку або мінімальних витрат часу. Завданням лінійного програмування є пошук найкращих значень змінних за умови дотримання обмежень.

Нижче наведено кроки для формулювання оптимізаційної задачі:

- Визначення набору змінних рішення – це альтернативи, між якими потрібно зробити вибір, щоб досягти оптимального рішення при різних обмеженнях на цей вибір.
- Визначення обмеження як ряд лінійних функцій для змінних прийняття рішень з параметрами, визначеними для представлення моделі системи.
- Визначення цільової функції як єдиної лінійної функції змінних рішення з відповідними параметрами.

Узагальнений вигляд задачі лінійного програмування:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

за умови, що:

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0; \quad (1.2)$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0. \quad (1.3)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_n$ – дійсні змінні, n – їх кількість, визначена в задачі; з них утворюється оптимальний план $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – цільова функція, $g(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – лінійна функція обмеження; $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$ – обмеження невід'ємності, що є стандартними для більшості задач лінійного програмування.

Одним з методів лінійного програмування є симплексний метод, що доцільно застосовувати до розв'язання задач з більше ніж двома змінними. Застосовується він шляхом здійснення ітерацій, поки не буде отримано оптимальний план, що задовольняє умови задачі. Алгоритм методу:

1. Визначається перший опорний план, шляхом зведення задачі до канонічного вигляду, тобто якщо присутні обмеження-нерівності, то їх перетворюють на обмеження-рівняння, додаючи до їх лівої частини додаткові, базисні, змінні: з додатнім знаком при обмеженнях типу « $\leq$ » та з від'ємним знаком при « $\geq$ ». У цільову функцію їх вводять з нульовим коефіцієнтом. Для утворення першого опорного плану задачу розв'язують відносно базисних змінних, прирівнюючи всі інші, вільні змінні, до нуля. Якщо задача містить обмеження типу « $\geq$ », то для забезпечення початкового базисного розв'язку вводять штучні змінні. Для штрафування за використання штучних змінних у цільовій функції додаються відповідні терміни з великим штрафним коефіцієнтом M . Це означає, що до цільової функції додаються додаткові члени виду Mx_i , де x_i – штучні змінні, і M – дуже велике число. Це змушує метод уникати використання штучних змінних в оптимальному розв'язку,

оскільки їх великі значення сильно збільшують значення цільової функції.

2. Розв'язок записується у вигляді симплексної таблиці: перший стовпець містить базисні змінні першого плану, зберігаючи їх послідовний порядок, як в обмеженнях задачі; другий стовпець містить коефіцієнти при базисних змінних; третій стовпець містить коефіцієнти при цих базисних змінних, відшуканих у процесі створення першого оптимального плану; решта стовпців, у кількості змінних задачі, містить коефіцієнти відповідних змінних у відповідному обмеженні.
3. Перевіряється на оптимальність перший опорний план. Для цього записується останній рядок – оцінюючий рядок. Оцінки в ньому розраховуються наступним чином: $\Delta_j = Z_j - C_j$ ($j = \overline{1, n}$), де Z_j це сума добутків коефіцієнтів базисних змінних та коефіцієнтів відповідних x_{ij} з обмежень, а C_j – відповідні коефіцієнти цільової функції. Опорний план $X^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$ вважається оптимальним, коли для всіх j ($j = \overline{1, n}$) виконується умова: $\Delta_j \geq 0$ – для max та $\Delta_j \leq 0$ – для min.
4. Якщо план не виявляється оптимальним, то відбувається перехід до іншого, шляхом зміною базису та перерозрахунку симплексної таблиці методом Жордана-Гаусса та правилом прямокутника. Для цього серед оцінок, які порушують умову оптимальності, рядка Δ_j обирають найбільшу за модулем, обираючи таким чином розв'язуючий стовпець. Розв'язуючий рядок визначається тим, що кожен елемент розв'язуючого стовпця ділиться на відповідні відшукані коефіцієнти при базисних змінних. Рядок, в якому знаходиться найменше значення, буде розв'язуючим, а відповідний елемент на перетині – розв'язуючий елемент. Тоді елементи розв'язуючого рядку діляться на розв'язуючий елемент та вносяться в нову таблицю. Розв'язуючий стовпець заповнюється нулями, а замість розв'язуючого елемента записується

одиниця. Решта елементів таблиці розраховується за правилом прямокутника: в чисельнику різниця добутків елементів, які лежать на діагоналях, а в знаменнику – розв’язуючий елемент.

5. Кроки 3 та 4 ітераційно повторюють, поки не буде досягнуто оптимального плану.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Аналіз сучасного стану гуманітарної допомоги в секторі здоров'я України

В сучасних реаліях Україна та її громадяни зіткнулися з рядом викликів. Війна суттєво вплинула на доступність та якість медичних послуг, що потребує втручання та оптимізації логістичних процесів для покращення ситуації.

Для дослідження будуть застосовуватися наступні інформаційні ресурси:

- ReliefWeb - Informing humanitarians worldwide – сервіс, створений органом «Управління ООН з координації гуманітарних справ» (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (ОСНА)), для моніторингу та збирання даних про гуманітарну інформацію. Основними джерелами інформації є гуманітарні компанії міжнародного та регіонального рівнів, уряди, дослідницькі та аналітичні установи. [7]
- World Health Organization (WHO) – Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) на своєму сайті розміщує широкий спектр даних, включаючи офіційні звіти, пов'язаних із світовим сектором здоров'я. [8]
- The Humanitarian Data Exchange (HDX) – є іншим сервісом, створеним ОСНА, та є платформою з відкритим доступом до гуманітарної інформації, зібраною спеціалізованими організаціями. Колекції даних включають статистичну інформацію про кількість постраждалих, їх потреби, оцінка завданої шкоди, дані про надану допомогу, тощо. [9]

- Cluster Coordination System – система координації гуманітарних кластерів була активована в Україні з грудня 2014 року, коли в середині 2014 року спалахнув збройний конфлікт у східних областях Донецької та Луганської областей. Сюди входять Кластер охорони здоров'я під керівництвом, що керується ВООЗ та координує свою роботу з урядовими партнерами на рівні Міністерства охорони здоров'я, Національної служби здоров'я та окремих медичних закладів, а також залучає громадські організації для кращого досягнення громад; та Логістичний кластер (активований у лютому 2022 року). Вони збирають дані про гуманітарні потреби та розміщують відповідні звіти у відкритому доступі. [10]
- The Logistics Cluster – веде список постачальників логістичних послуг, надає офіційну інформацію про стан логістики в різних регіонах та країнах, включаючи інформацію про розміщення складських площ для гуманітарних організацій. [11]

Для аналізу та висвітлення доцільності дослідження саме сектору здоров'я вивчалися офіційні звіти ВООЗ. Відповідно до звіту «БЮЛЕТЕНЬ КЛАСТЕРА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я №2», [12] що організація підготувала в березні 2024 року, відомо наступне: понад 14,1 мільйона людей постраждали від війни. Станом на 2024 рік, 7,8 мільйона людей потребують гуманітарної допомоги в секторі охорони здоров'я. Основні проблеми включають недоступність медичних послуг через атаки на заклади охорони здоров'я - 1 626 атак з початку війни; відсутність медичних товарів та недостатню кількість медичного персоналу. Документ чітко демонструє значущість сектора охорони здоров'я в контексті війни в Україні.

В звіті «Factsheet based on the data collected in frontline areas of Dnipro, Donetsk, Kharkiv, Kherson, Mykolayiv, Odesa, and Zaporizhzhya oblasts» [13], створеному у лютому 2024, зазначається інформація про загострення ситуації в системі охорони здоров'я в південних та східних регіонах. Збір даних проводився у трьох етапах: грудень 2022 - березень 2023, червень 2023, вересень 2023. За

даним звітом відомо наступне: висока вартість медичних послуг, недостатня кількість медичного персоналу та відсутність необхідних ліків і послуг вказують на необхідність ефективного розподілу ресурсів. У червні 2023 року 17% респондентів зверталися за екстреною допомогою, з них 22% мали значні проблеми з доступом до цих послуг. Значний відсоток населення має обмежений доступ до основних медичних послуг, що підкреслює важливість оптимізації логістики для поліпшення доступу до медичної допомоги.

Ці дані підкреслюють необхідність покращення гуманітарної логістики в секторі здоров'я для забезпечення своєчасної та ефективної медичної допомоги населенню, що постраждало від війни в Україні.

Для кращого та глибшого розуміння ситуації пропонується скористатися мовою програмування Python, аналізуючи набір даних зі статистичними даними на момент 2024 року про кількість людей, які потребують допомоги та серйозність цих потреб – датасет під назвою «ukr-2024-hnnp-pin-severity-targets-activities-20240119.xlsx». [14]

Розглядаючи датасет, було проаналізовано дані, що стосується сектору здоров'я, шляхом створення окремого файлу "People_in_Need_2024.xlsx", що містить 127 рядків та 6 стовпців, частина вмісту якого надана на рис. 2.1. Файл

	A	B	C	D	E
1	Oblast Name	Raion Name	Raion Pcode	People in Need (Individuals)	Severity of Needs
2				HE	HE
3	adm1_en	adm2_en	adm2_pcode	overall_pin_he	overall_sev_hi
14	Dnipropetrovska	Dniprovskiy	UA1202	329 921	2
15	Dnipropetrovska	Kamianskyi	UA1204	-	2
16	Dnipropetrovska	Kyryvorky	UA1206	-	3
17	Dnipropetrovska	Nikopol'skyi	UA1208	-	4
18	Dnipropetrovska	Novomoskovskiy	UA1210	-	3
19	Dnipropetrovska	Pavlohrad'skyi	UA1212	-	2
20	Dnipropetrovska	Synelnykiv'skyi	UA1214	-	2
21	Donetska	Bakhmut'skyi	UA1402	40 090	4
22	Donetska	Volnovaskiy	UA1404	28 452	4
23	Donetska	Horlivskiy	UA1406	22 658	3
24	Donetska	Donetsk'skyi	UA1408	54 298	2
25	Donetska	Kalmiushkyy	UA1410	1 959	3
26	Donetska	Kramatorskyy	UA1412	112 703	3
27	Donetska	Mariupol'skyi	UA1414	74 680	4
28	Donetska	Pokrovskiy	UA1416	77 595	3
39	Zaporizka	Berdianskyy	UA2302	52 702	4
40	Zaporizka	Vasylivskiy	UA2304	52 401	4
41	Zaporizka	Zaporizkyy	UA2306	421 276	3
42	Zaporizka	Melitopol'skyi	UA2308	78 647	4
43	Zaporizka	Polohivskiy	UA2310	61 283	3
77	Mykolaiv'ska	Bashtanskyi	UA4802	36 378	4
78	Mykolaiv'ska	Voznesenskyy	UA4804	28 792	2
79	Mykolaiv'ska	Mykolaivskyy	UA4806	234 765	5
80	Mykolaiv'ska	Pervomaiskyy	UA4808	30 622	3
81	Odeska	Berezivskyy	UA5102	13 254	3

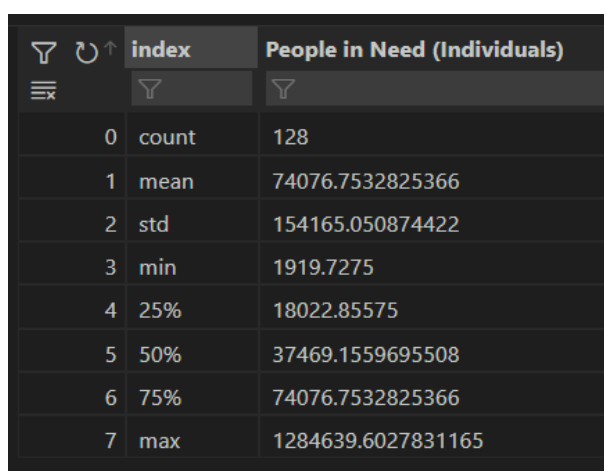
Рисунок 2.1 – Вміст файлу "People_in_Need_2024.xlsx"

Джерело: розроблено автором на основі [14]

містить наступні елементи: Oblast name – назви областей, Raion name – назви районів, Raion pcode – код району, People in Need (Individuals) – кількість людей, що потребують допомоги, Severity of Needs – серйозність цих потреб, HE – означає сектор здоров'я.

За допомогою програмного коду, що наданий в додатку А, було нормалізовано дані, розраховано частку пропусків в кожному стовпці та заповнено ці пропуски середніми значеннями для точного аналізу. Після чого проводились статистичний аналіз та візуалізація даних.

Використовувалися три бібліотеки, які описані в табл. 1.9: «pd.read_excel()» – метод для зчитування даних з Excel-файлу у DataFrame. «Replace()» – метод, що застосовувався для заміни значень. Застосування методу «pd.to_numeric» до стовпців зі списку non_numeric_columns дозволило провести перетворення значень на числовий тип. «fillna()» - метод для заповнення пропусків певним значенням. У цьому випадку пропуски заповнювалися середнім значенням відповідної колонки. «mean()» - метод для обчислення середнього значення. Було створено описову статистику для стовпця з інформацією про кількість потребуючих людей за допомогою методу describe та отримано результат, що зображено на рис. 2.2.



	index	People in Need (Individuals)
0	count	128
1	mean	74076.7532825366
2	std	154165.050874422
3	min	1919.7275
4	25%	18022.85575
5	50%	37469.1559695508
6	75%	74076.7532825366
7	max	1284639.6027831165

Рисунок 2.2 – Описова статистика People in Need

Джерело: розроблено автором

Метод `describe` в Python є частиною бібліотеки `Pandas`. Це корисний інструмент для швидкого огляду розподілу даних у наборі даних. Короткий опис основних показників, що надає `describe`:

- `count`: кількість ненульових значень.
- `mean`: середнє значення.
- `std`: стандартне відхилення.
- `min`: мінімальне значення.
- `25%`: перший кuartиль (нижня чверть).
- `50%`: медіана (другий кuartиль).
- `75%`: третій кuartиль (верхня чверть).
- `max`: максимальне значення.

Візуалізація створювалася за допомогою методів бібліотеки `matplotlib`: `plt.rcParams["font.family"] = "Times New Roman"` – встановлює шрифт для графіку. `plt.figure(figsize=(12, 8))` – створює фігуру (полотно) певного розміру. `file.groupby('Oblast Name')['People in Need (Individuals)'].sum().plot(kind='bar', color='green')` – групує дані за областями, підсумовує кількість людей, що потребують допомоги, і створює стовпчикову діаграму. `file.groupby('Oblast Name')['Severity of Needs'].mean().plot(kind='bar', color='orange')` – працює аналогічно, за виключенням, що обчислює середнє значення важкості потреб для кожної групи (області). `plt.title`, `plt.xlabel`, `plt.ylabel` – встановлюють заголовок та підписи осей. `plt.title`, `plt.xlabel`, `plt.ylabel`: встановлюють заголовок та підписи осей. `plt.xticks(rotation=45)` – повертає підписи осі `x` на 45 градусів для кращої читабельності. `plt.grid(axis='y')` – додає сітку до осі `y`. `plt.show()` – відображає графік.

Графік, що зображено на рис. 2.3, показує розподіл кількості потребуючих людей по всіх областях України. Було визначено, що максимальні значення досягаються в місті Київ, Харківській, Одеській та Дніпропетровській областях (значення від третього кuartилю до максимального). Середні значення мають

Донецька, Київська, Львівська та Запорізька області. Всі інші області мають значення, що не перевищують перший квартиль. Таким чином, було визначено, що, хоча крім прифронтових областей, області центрального та західного регіонів України також мають високу кількість потребувачих.

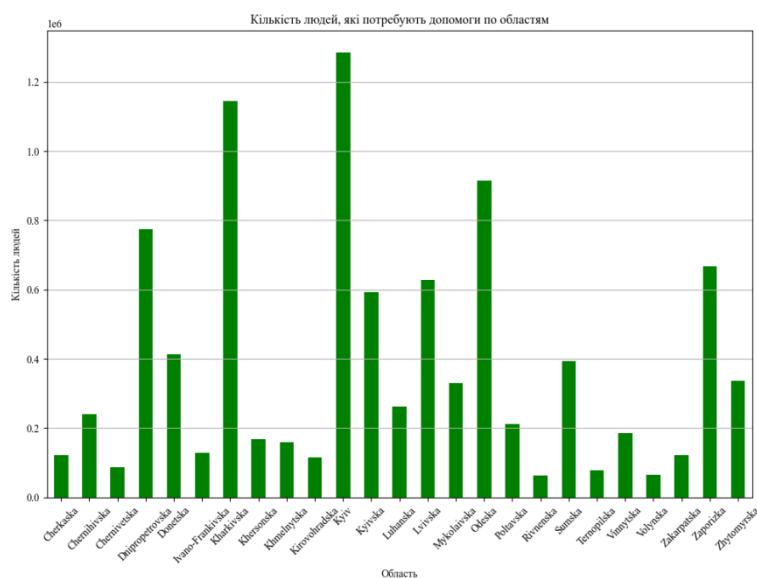


Рисунок 2.3 – Кількість людей, які потребують допомоги по областях

Джерело: розроблено автором

Після цього, використовуючи такий самий підхід, було проаналізовано параметр серйозності потреб та отримано результати, що зображено на рис. 2.4 та

	index	Severity of Needs
0	count	127
1	mean	2.6299212598
2	std	0.9155027208
3	min	1
4	25%	2
5	50%	3
6	75%	3
7	max	5

Рисунок 2.4 – Описова статистика Severity of Needs

Джерело: розроблено автором

рис. 2.5. Найвища серйозність потреб в Чернігівській, Донецькій, Херсонській, Миколаївській, Одеській, Сумській та Запорізькій областях. Середні значення мають всі інші області, за винятком Черкаської та Львівської областей, значення у яких потрапляють в перший кватиль.

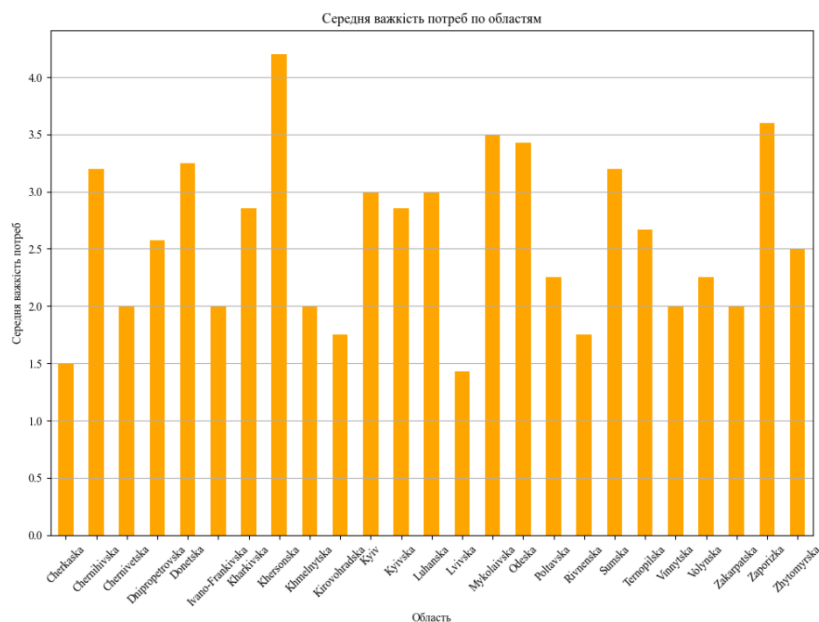


Рисунок 2.5 – Середня важкість потреб по областям

Джерело: розроблено автором

Наступним розглядався датасет «Health Request Planning and Response (HRPR) Weekly Digest Bulletin» - бюлетень з потребами та запитами у медичних

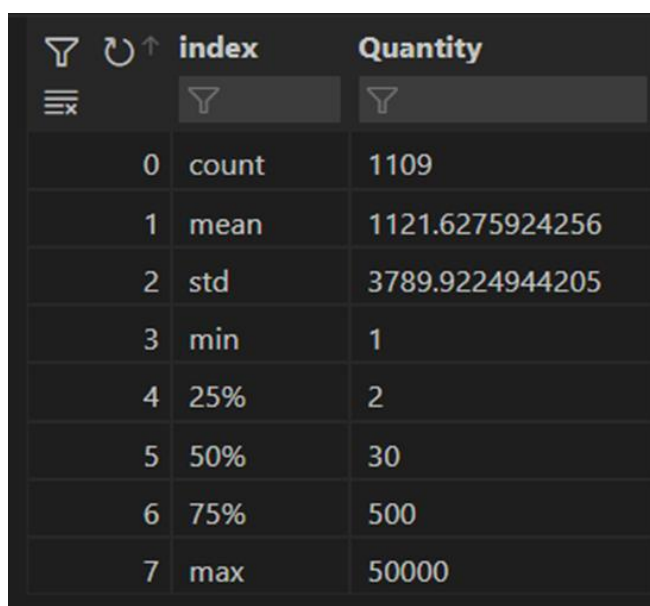
1	2	A	B	C
1		Oblast / Region	Type of products.	Quantity
3		Dnipropetrovska	Цефтріаксон, порошок для приготування розчину для ін'єкцій, 1 г (у вигляді натрієвої солі) у флаконі	1000
4		Dnipropetrovska	Гентаміцин, ін'єкції, 40 мг/мл (у вигляді сульфату) по 2 мл у флаконі	500
5		Dnipropetrovska	Глюкоза, розчин для ін'єкцій, 5 % (ізотонічний)	500
6		Dnipropetrovska	Галоперидол, ін'єкції, 5 мг/мл по 1 мл в ампулі	100
7		Dnipropetrovska	Метронідазол, ін'єкції, 500 мг по 100 мл у флаконі	500
8		Dnipropetrovska	ПОВ'ЯЗКА МАРЛЕВА, 10 x 10 см, стерильна	1000
9		Dnipropetrovska	КАНОЛЯ В/В, коротка, 20G, стер., одноразова	500
10		Dnipropetrovska	Пластини смужки для зведення країв ран, 1/4 дюйма x 4 дюйма (6 мм x 100 мм), Steri Strip	500
11		Dnipropetrovska	Пластир, для фіксації в/в канюлі, 6 см x 8 см	1000
12		Dnipropetrovska	ПЛАСТИР МЕДИЧНИЙ, 5 см x 10 м, на паперовій основі	1000
13		Dnipropetrovska	ДРЕНАЖНА ТРУБКА ДЛЯ ДРЕНУВАННЯ ЧЕРЕВНОЇ ПОРОЖНИНИ, SN27, 50 см, з 5 отворами, си.	1000
14		Dnipropetrovska	ГОЛКА, лuer, 21G, стерильна, одноразова	1000
15		Dnipropetrovska	ГОЛКА, СПІНАЛЬНА, G25, 0,5 x 75 мм, (для люмбальної пункції і субарахноїдальної анестезії)	500
16		Dnipropetrovska	Шовний матеріал, розсмоктувальний, 3-0 US/2 E (DEC2), 70 см, № 1/2, діаметр 21,8 мм	1000
17		Dnipropetrovska	Шовний матеріал, розсмоктувальний, 0 US/3,5 E, ЛІГАТУРА, 140 см	500
18		Dnipropetrovska	Креп-папір, для пакування для стерилізації, штука	5000
19		Dnipropetrovska	Катетер урологічний Фолея, SN18, стерильний, одноразового використання	500
20		Dnipropetrovska	Налоксон, ін'єкції, 400 мкг (гідрохлорид) по 1 мл в ампулах	500
21		Dnipropetrovska	Омепразол, порошок для приготування розчину для ін'єкцій, 40 мг у флаконах	500
22		Dnipropetrovska	Парацетамол, розчин для інфузій, 10 мг/мл по 100 мл	500
23		Dnipropetrovska	Повідон Йоду, розчин наскірний, 7,5 %	500
24		Dnipropetrovska	Натрію хлорид, розчин для ін'єкцій, 0,9 % ізотонічний (еквівалентно Na+ 154 ммоль/л та Cl-	1000
25		Dnipropetrovska	Натрію хлорид, розчин для ін'єкцій, 0,9 % ізотонічний (еквівалентно Na+ 154 ммоль/л та Cl-	1000
26		Dnipropetrovska	Контейнер, безлечний, для використаних шприців та голки, 5 літрів	1000
27		Dnipropetrovska	БАТА, нестерильна, 500 г	200
28		Dnipropetrovska	МИЙНИЙ ЗАСІБ/ЗАСІБ ДЛЯ ДЕЗІНФЕКЦІЇ, для інструментів та обладнання, 1 л	500
29		Dnipropetrovska	Рукавички, хірургічні, стерильні, 8	1000
30		Dnipropetrovska	Рукавички, хірургічні, стерильні, 7,5	1000
31		Dnipropetrovska	СИСТЕМА ДЛЯ ІНФУЗІЙ,	5000

Рисунок 2.6 – датасет «HRPR Weekly Digest Bulletin»

Джерело: розроблено автором на основі [19]

товарах відповідно певної області, отриманий з Кластеру охорони здоров'я.

Вміст файлу зображений на рис. 2.6. Він містить 1109 записів та 3 стовпці – назву області (Oblast / Region), тип продукту (Type of products) та потрібна кількість зазначеного продукту (Quantity). Текст програми наведено в додатку Б. Алгоритм роботи аналогічний до попереднього. Результат описової статистики, рис. 2.7, та графік, рис. 2.8, виявилися досить незручними для аналізу через екстремально високе значення в Дніпропетровській області, тому враховуючи цей результат, його було вилучено з аналізованих значень, щоб розглянути решту. На рис. 2.9 та рис. 2.10 бачимо, що крім Дніпропетровської, Харківська та Запорізька області також мають високі значення потреб. Вище середнього мають значення Одеська та Сумська області.



The image shows a software interface with a table of summary statistics. At the top, there are icons for filtering (funnel), refreshing (circular arrow), and sorting (up arrow). Below these are two columns: 'index' and 'Quantity'. The table contains 8 rows of data, indexed from 0 to 7. The 'index' column lists statistical measures: count, mean, std, min, 25%, 50%, 75%, and max. The 'Quantity' column shows the corresponding values for these measures.

	index	Quantity
0	count	1109
1	mean	1121.6275924256
2	std	3789.9224944205
3	min	1
4	25%	2
5	50%	30
6	75%	500
7	max	50000

Рисунок 2.7 – Описова статистика Quantity

Джерело: розроблено автором

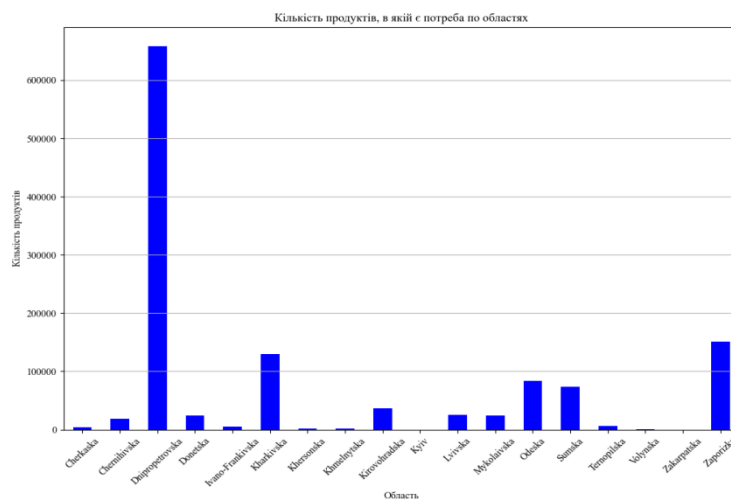


Рисунок 2.8 – Кількість продуктів, в яких є потреба по областях

Джерело: розроблено автором

	index	Quantity
0	count	821
1	mean	713.6881851401
2	std	2178.0355369493
3	min	1
4	25%	2
5	50%	22
6	75%	355
7	max	20000

Рисунок 2.9 – Описова статистика Quantity

Джерело: розроблено автором

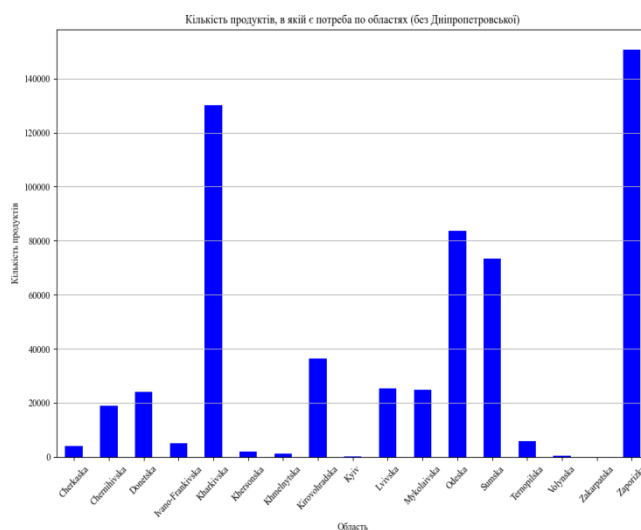


Рисунок 2.10 – Кількість продуктів, в яких є потреба по областях (без Дніпропетровської)

Джерело: розроблено автором

2.2 Метод аналізу ієрархії для обґрунтування вибору регіону

Для підбиття підсумків було проведено метод аналізу ієрархій. Для зручності, замість того щоб розглядати кожну область окремо, їх було розбито на чотири регіони, як наведено в табл. 2.1. Це наші чотири альтернативи.

Таблиця 2.1 – Розподіл областей по регіонах

Центр, область	Південь, область	Захід, область	Схід, область
Київська, Чернігівська, Сумська, Житомирська, Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Полтавська	Одеська, Миколаївська, Херсонська, Дніпропетровська, Запорізька	Рівненська, Волинська, Львівська, Закарпатська, Івано- Франківська, Чернігівська, Тернопільська, Хмельницька	Харківська, Донецька

Джерело: складено автором

В якості критеріїв було обрано: кількість людей, що потребують допомоги (ЛПД), серйозність потреб (СП) та кількість потрібних товарів (КПТ).

В табл. 2.2 наведено попарне порівняння критеріїв, алгоритм наведений в пункті 1.3. Відповідно до табл. 1.2 було прийнято вважати, що критерій ЛПД: від значно до набагато менш важливий за СП; від дуже сильно до надзвичайно важливіше за КПТ. Критерій СП: від значно до дуже сильно важливіше за ЛПД; помірно менш важливий за КПТ. Критерій КПТ: від набагато до надзвичайно менш важливий за ЛПД; помірно важливіший за СП. В табл. 2.3 наведено розрахунок вектору пріоритетів для критеріїв.

Таблиця 2.2 – Попарне порівняння критеріїв

	ЛПД	СП	КПТ
ЛПД	1,00	0,17	8,00

СП	6,00	1,00	0,33
КПТ	0,13	3,00	1,00
Сума	7,13	4,17	9,33

Джерело: складено автором

Таблиця 2.3 – Розрахунок вектору пріоритетів для критеріїв

	ЛПД	СП	КПТ	Вектор пріоритетів
ЛПД	0,14	0,04	0,86	0,35
СП	0,84	0,24	0,04	0,37
КПТ	0,02	0,72	0,11	0,28
Сума	1,00	1,00	1,00	1,00

Джерело: складено автором

На рис. 2.11 наведено попарне порівняння альтернатив на основі критеріїв та розрахунок векторів для них. Важливість певного регіону оцінювалась відповідно до того, які значення, та як часто, області цього регіону отримували під час аналізу в пункті 2.1.

ЛПД	Центр	Захід	Схід	Південь
Центр	1,00	2,00	0,17	0,13
Захід	0,50	1,00	0,13	0,11
Схід	6	8	1	0,33
Південь	8	9	3	1,00
Сума	15,50	20,00	4,29	1,57

ЛПД	Центр	Захід	Схід	Південь	Вектор пріоритетів
Центр	0,06	0,10	0,04	0,08	0,07
Захід	0,03	0,05	0,03	0,07	0,05
Схід	0,39	0,40	0,23	0,21	0,31
Південь	0,52	0,45	0,70	0,64	0,58
Сума	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

СП	Центр	Захід	Схід	Південь
Центр	1,00	2,00	0,50	0,14
Захід	0,50	1,00	0,14	0,13
Схід	2	7	1	0,25
Південь	7	8	4	1,00
Сума	10,50	18,00	5,64	1,52

СП	Центр	Захід	Схід	Південь	Вектор пріоритетів
Центр	0,10	0,11	0,09	0,09	0,10
Захід	0,05	0,06	0,03	0,08	0,05
Схід	0,19	0,39	0,18	0,16	0,23
Південь	0,67	0,44	0,71	0,66	0,62
Сума	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

КПТ	Центр	Захід	Схід	Південь
Центр	1,00	6,00	0,25	0,17
Захід	0,17	1,00	0,17	0,11
Схід	4	6	1,00	0,50
Південь	6	9	2,00	1,00
Сума	11,17	22,00	3,42	1,78

КПТ	Центр	Захід	Схід	Південь	Вектор пріоритетів
Центр	0,09	0,27	0,07	0,09	0,13
Захід	0,01	0,05	0,05	0,06	0,04
Схід	0,36	0,27	0,29	0,28	0,30
Південь	0,54	0,41	0,59	0,56	0,52
Сума	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Рисунок 2.11 – Попарне порівняння альтернатив на основі критеріїв та розрахунок векторів для них

Джерело: розроблено автором

В табл. 2.4 проводиться розрахунок остаточного вектору пріоритетів. Згідно з методом аналізу ієрархій, пріоритетним регіоном для надання допомоги є Південь з остаточним вектором пріоритетів 0.58. Цей регіон має найвищий пріоритет через велику кількість людей, що потребують допомоги, серйозність потреб, а також кількість потрібних товарів. На другому місці знаходиться Східний регіон з вектором пріоритетів 0.28. Центральний регіон має вектор пріоритетів 0.10, а Західний – найменший вектор пріоритетів 0.05.

Таблиця 2.4 – Розрахунок остаточного вектору пріоритетів для критеріїв

Альтернатива / Критерій	ЛПД	СП	КПТ	Остаточний вектор пріоритетів
Центр	0,07	0,10	0,13	0,10
Захід	0,05	0,05	0,04	0,05
Схід	0,31	0,23	0,30	0,28
Південь	0,58	0,62	0,52	0,58
	0,35	0,37	0,28	

Джерело: складено автором

Таким чином, на основі проведеного аналізу рекомендується спрямування ресурсів та допомоги в першу чергу на Південний регіон, а також приділяти увагу Східному регіону.

2.3 Виявлення структури логістичної системи

Для дослідження конкретні елементи системи будуть визначатися наступним чином:

- Логістичні центри: LOGIE (The Logistics Cluster) надає складські площі для гуманітарних організацій для зберігання вантажу. На

даний момент складські площі доступні в Дніпрі, Херсоні, Кропивницькому, Києві та Одесі, див. рис. 2.12.

- Пункти отримання: міста Донецьк, Запоріжжя, Харків, Дніпро, Херсон, Одеса, Миколаїв – для подальшого розподілу по областях.



Рисунок 2.12 – Логістичні центри [15]

- Транспорт: ТОВ «Нова пошта» проводить перевезення великогабаритних і малогабаритних вантажів по Україні.

Процес транспортування передбачає, що постачальники надають потрібні товари на складські площі в великих містах, звідки перевізник розвозить їх по потрібним пунктам області. Бачимо, що не у всіх областях є логістичні центри. Таким чином, постає потреба у вирішенні таких питань як вибір маршруту між центрами та містами, оптимізація вартості, відстані та часу доставки гуманітарної допомоги.

Будується продукційна модель подання знань в предметній області «Гуманітарна логістична система». Цільова дія: «Доставка медичних продуктів».

Проміжні дії: вибір типу транспорту, вибір логістичного центру, транспортування.

Розглянемо умови для дій. Вибір логістичного центру: вважається, що з кожного центру можлива доставка до кожного міста, але якщо у місті знаходиться

логістичний центр, то туди доставка постачальниками здійснюється безпосередньо та не потребує детального розгляду.

Введемо позначення для фактів (Ф), дій (Д) і пропозицій (П):

Факти:

(Ф1): Логістичний центр знаходиться в місті Київ.

(Ф2): Логістичний центр знаходиться в місті Кропивницький.

(Ф3): Логістичний центр знаходиться в місті Одеса.

(Ф4): Логістичний центр знаходиться в місті Херсон.

(Ф5): Логістичний центр знаходиться в місті Дніпро.

(Ф6): Логістичний центр не знаходиться в місті Донецьк.

(Ф7): Логістичний центр не знаходиться в місті Харків.

(Ф8): Логістичний центр не знаходиться в місті Запоріжжя.

(Ф9): Логістичний центр не знаходиться в місті Миколаїв.

(Ф10): Перевізник надає транспорт типу BDF-зчіпка.

(Ф11): Перевізник надає транспорт типу EURO.

Ф(12): Потреба є в області: Харківська.

Ф(13): Потреба є в області: Донецька.

Ф(14): Потреба є в області: Одеська.

Ф(15): Потреба є в області: Миколаївська.

Ф(16): Потреба є в області: Херсонська.

Ф(17): Потреба є в області: Дніпропетровська.

Ф(18): Потреба є в області: Запорізька.

Дії:

(Д1): Обирається тип транспорту.

(Д2): Товар доставляється постачальником в логістичний центр області.

(Д3): Товар розподіляється перевізником по пунктам області, які його потребують.

(Д4): Товар транспортується з логістичного центру іншої області.

(Д5): Проводиться вибір центру за оптимальним маршрутом.

(Д6): Товар доставляється в найбільше місто області.

(Д7): Завершення.

Пропозиції:

(П1): Якщо (Ф10) і (Ф11), то (Д1).

(П2): Якщо (Ф14) або (Ф16) або (Ф17) та (Ф3) або (Ф4) або (Ф5), то (Д2).

(П3): Якщо (Д2), то (Д3).

(П4): Якщо (Ф12) або (Ф13) або (Ф15) або (Ф18) та (Ф1) або (Ф2) або (Ф3) або (Ф4) або (Ф5) або (Ф6) або (Ф7) або (Ф8) або (Ф9), то (Д4).

(П5): Якщо (Д4), то (Д5).

(П6): Якщо (Д5), то (Д6).

(П7): Якщо (Д6), то (Д3).

(П8): Якщо (Д3), то (Д7).

Для забезпечення ефективного транспортування та розподілу медичних продуктів, необхідно враховувати наявність логістичних центрів та пунктів отримання вантажів, а також типи транспортних засобів, що використовуються для перевезення. Вибір логістичного центру та оптимізація маршруту доставки є ключовими етапами, що дозволяють зменшити витрати, час і відстань доставки. Розроблена продукційна модель дозволяє систематизувати процес доставки гуманітарної допомоги та забезпечити його ефективне розуміння. На рис. 2.13 зображено граф логістичної мережі: червоним прямокутником логістичні центри, а блакитним кругом найбільші міста областей.

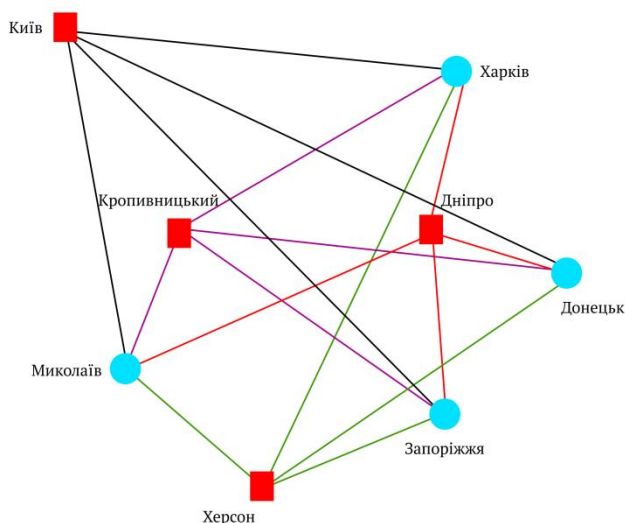


Рисунок 2.13 – Граф логістичної мережі

Джерело: розроблено автором

З рис. 2.13 можна зробити кілька важливих висновків щодо логістичної системи транспортування гуманітарної допомоги:

1. Маршрути транспортування:

Чорні лінії: Київ - Харків, Київ - Кропивницький, Київ - Дніпро, Київ - Херсон.

Зелені лінії: Кропивницький - Харків, Кропивницький - Дніпро, Кропивницький - Херсон, Кропивницький - Запоріжжя.

Фіолетові лінії: Херсон - Харків, Херсон - Донецьк.

Червоні лінії: Дніпро - Миколаїв, Дніпро - Донецьк, Дніпро - Запоріжжя.

2. Зв'язки між центрами та пунктами:

Малюнок показує, що логістичні центри не пов'язані між собою, так само як і пункти отримання вантажів, утворюючи мережу для транспортування гуманітарної допомоги пов'язану вершинами з двох незалежних множин.

3. Відсутність логістичних центрів:

Логістичні центри відсутні в таких містах як Миколаїв, Харків, Донецьк, Запоріжжя. Ці міста отримують вантажі з сусідніх логістичних центрів.

Ця інформація буде корисною для оптимізації маршрутів транспортування, та вибору відповідних транспортних засобів.

2.4 Збір додаткових даних про систему для проведення оптимізації

Для ефективнішого дослідження системи було зібрано додаткову інформацію. В табл. 2.5 наведено дані про відстані між містами, де знаходяться центри та містами, куди потрібно здійснити доставку.

Таблиця 2.5 – Відстані між містами та центрами

Км	Донецьк	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Київ	818	490	557	492
Кропивницький	492	380	302	184
Херсон	551	594	359	71
Дніпро	251	219	85	327

Джерело: складено автором на основі [16]

Користуючись даними з файлу «Health Request Planning and Response (HRPR) Weekly Digest Bulletin», було проведено дослідження та визначено сумарну ціну та вагу товарів, які потребуються в певній області. Отримали наступний результат:

- в Донецькій області загальна вага становить близько 4.65903 тони, а вартість продуктів – 18 214 930 гривень;
- в Миколаївській області загальна вага становить близько 1.72364 тони, , а вартість продуктів – 4 017 900 гривень;
- в Харківській області загальна вага становить близько 27.49503 тон, , а вартість продуктів – 41 466 234 гривень;
- в Запорізькій області загальна вага становить близько 7.76780 тон, а вартість продуктів – 8 830 200 гривень.

За допомогою цих даних буде розраховано вартість доставки для оптимальних маршрутів двома типами транспорту, що надає перевізник. Приклад розрахунку з офіційного ресурсу [17] зображено на рис. 2.14.

НОВА ПОШТА

Про послугу Як це працює Переваги Розрахувати вартість Контакти Документи Відповіді на поширені питання [вхід](#)

Розрахуйте вартість вантажних перевезень

У вартість послуги включено:

- Прийом заявок
- Контроль завантаження та вивантаження
- Доставка вантажу на склад
- Відслідковування доставки та підтримка 24/7
- Перевірка документів на вантаж
- Контроль графіків завантаження та вивантаження

У разі підписання договору можливе надання індивідуальних умов ціноутворення. Детальна інформація про тарифи на вантажні перевезення за [посиланням](#).

Дніпро

Харків

251

18214930

BDF-зчіпка (20т/33плт/96м3)

Квітень-вересень

Через день та більше

До 1 авто/місяць

Розрахувати вартість

Рисунок 2.14 – Приклад розрахунку вартості доставки

Джерело: розроблено автором

The Financial Tracking System (FTS) [18] – ресурс створений ОСНА надає інформацію що на логістичний сектор було надано 708 008 \$, або 28 320 320 гривень.

Суть проблеми, що розглядається в цій роботі, полягає в оптимізації гуманітарної логістичної система з надання продуктів медичного застосування в прифронтові міста. В цьому розділі було:

- досліджено звіти великих гуманітарних організацій, висвітлюючи обґрунтованість дослідження сектору здоров'я;
- проаналізовано базу даних з інформацією про актуальні гуманітарні потреби в Україні та визначено області з найвищими значеннями;
- проведено вибір областей для дослідження, порівнюючи альтернативи та критерії;
- визначено структуру та елементи логістичної системи;
- зібрано необхідні дані для проведення подальшої оптимізації процесів.

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОЇ ЗАДАЧІ Й ЇЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

3.1 Логістичне планування

Оберемо найоптимальніший маршрут, формуючи задачу про призначення, враховуючи відстані та обмеження. Скористаємося наступними позначеннями:

n – кількість логістичних центрів та міст, $n = 4$.

C_{ij} – вартість призначення логістичного центру i до міста j . Вартість представлена у вигляді відстані.

x_{ij} – двійкова змінна, яка приймає значення 1, якщо логістичний центр i призначений до міста j , і 0 в іншому випадку.

Обмеження (3.1) - (3.5) щодо логістичних центрів. Кожен логістичний центр повинен бути призначений до одного міста:

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 1; \quad (3.1)$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 1; \quad (3.2)$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 1; \quad (3.3)$$

$$x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} = 1; \quad (3.4)$$

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (3.5)$$

Обмеження (3.6) - (3.10) щодо міст. Кожне місто повинно прийняти продукти від одного логістичного центру:

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} + x_{41} = 1; \quad (3.6)$$

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} + x_{42} = 1; \quad (3.7)$$

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} + x_{43} = 1; \quad (3.8)$$

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} + x_{44} = 1; \quad (3.9)$$

$$\forall j \in \{1, 2, \dots, n\}. \quad (3.10)$$

Обмеження 3.11, що $x_{ij} \in \{0, 1\}$ є двійковою змінною:

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, 2, \dots, 4\}. \quad (3.11)$$

Цільова функція: $818 \cdot x_{11} + 490 \cdot x_{12} + 557 \cdot x_{13} + 492 \cdot x_{14} + 492 \cdot x_{21} + 380 \cdot x_{22} + 302 \cdot x_{23} + 184 \cdot x_{24} + 551 \cdot x_{31} + 594 \cdot x_{32} + 359 \cdot x_{33} + 71 \cdot x_{34} + 251 \cdot x_{41} + 219 \cdot x_{42} + 85 \cdot x_{43} + 327 \cdot x_{44} \rightarrow \min$

1. Проводимо редукцію рядків та стовпців.

Км	Донецьк	Харків	Запоріжжя	Миколаїв	min
Київ	162	0	67	2	490
Кропивницький	142	196	118	0	184
Херсон	314	523	288	0	71
Дніпро	0	134	0	242	85
min	166	0	0	0	

2. Фіксуємо нульове значення у клітині (1,2). Фіксуємо нульове значення у клітині (2,4). Інші нулі у рядку 2 та стовпці 4 викреслюємо. Викреслюємо всі рядки та стовпці з нульовими елементами.

Км	Донецьк	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Київ	162	0	67	2
Кропивницький	142	196	118	0
Херсон	314	523	288	0
Дніпро	0	134	0	242

Оскільки кількість ліній 3, що не відповідає n , отже рішення неоптимальне.

3. Проводимо модифікацію матриці. Отримуємо скорочену матрицю, шляхом знаходження найменшого значення серед не викреслених елементів – 118, та відніманням цього значення від усіх інших елементів та додаванням його до перетинів ліній.

Км	Донецьк	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Київ	162	0	67	120
Кропивницький	24	78	0	0
Херсон	196	405	170	0
Дніпро	0	134	0	360

Повторюючи крок 2, визначаємо що кількість ліній, потрібна для того, щоб викреслити всі нульові елементи становить 4 і відповідає значенню n , отже рішення оптимальне.

Км	Донецьк	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Київ	162	0	67	120
Кропивницький	24	78	0	0
Херсон	196	405	170	0
Дніпро	0	134	0	360

Фіксуємо нульове значення у клітині (1,2). Фіксуємо нульове значення у клітині (2,3). Інші нулі у рядку 2 та стовпці 3 викреслюємо. Фіксуємо нульове значення у клітині (3,4). Фіксуємо нульове значення у клітині (4,1).

Отже, маємо наступний результат: $x_{12} = 1$, $x_{23} = 1$, $x_{34} = 1$, $x_{41} = 1$, а всі інші $x_{ij} = 0$, що задовольняє обмеження.

Отримна матриця призначення дозволяє за аналогічно розташованим елементам вихідної матриці обчислити мінімальну вартість призначення.

Цільова функція: $818*0+490*1+557*0+492*0+492*0+380*0+302*1+184*0+551*0+594*0+359*0+71*1+251*1+219*0+85*0+327*0 = 1114$ км.

Оптимальні маршрути зменшують загальну відстань перевезень до 1114 км, що є найкращим показником з можливих. Впровадження цієї методики може значно покращити ефективність логістичних операцій та забезпечити своєчасне надання допомоги в найбільш постраждалих регіонах.

3.2 Визначення цільової функції та обмежень системи

Розробимо математичну модель оптимізації для кожного маршруту R_j , позначаючи:

- R_1 – (Київ – Харків), R_2 – (Кропивницький – Запоріжжя), R_3 – (Херсон – Миколаїв), R_4 – (Дніпро – Донецьк);
- A_1 – перший тип автомобіля, A_2 – другий тип автомобіля;
- C_{ij} — вартість руху автомобіля A_i по маршруту R_j , де $i \in \{1,2\}$ та $j \in \{1,2,3,4\}$;
- W_1 – вантажопідйомність автомобіля A_1 , W_2 – вантажопідйомність автомобіля A_2 ;
- D_j – вага вантажу, який треба доставити за маршрутом R_j ;
- B – загальний бюджет;
- x_{ij} – кількість автомобілів A_i , які використовуються для перевезення по маршруту R_j .

Модель для маршруту R_1 :

$$\min Z_1 = C_{11} * x_{11} + C_{21} * x_{21}, \quad (3.12)$$

за умови, що:

$$W_1 * x_{11} + W_2 * x_{21} \geq D_1; \quad (3.13)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3.14)$$

Модель для маршруту R2:

$$\min Z_2 = C_{12} * x_{12} + C_{22} * x_{22}, \quad (3.15)$$

за умови, що:

$$W_1 * x_{12} + W_2 * x_{22} \geq D_2; \quad (3.16)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3.17)$$

Модель для маршруту R3:

$$\min Z_3 = C_{13} * x_{13} + C_{23} * x_{23}, \quad (3.18)$$

за умови, що:

$$W_1 * x_{13} + W_2 * x_{23} \geq D_3; \quad (3.19)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3.20)$$

Модель для маршруту R4:

$$\min Z_4 = C_{14} * x_{14} + C_{24} * x_{24}, \quad (3.21)$$

за умови, що:

$$W_1 * x_{14} + W_2 * x_{24} \geq D_4; \quad (3.22)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3.23)$$

Об'єднаємо все в одну модель.

$$\min Z = \sum_{j=1}^4 (C_{1j} * x_{1j} + C_{2j} * x_{2j}), \quad (3.24)$$

за умови, що:

$$\sum_{j=1}^4 (C_{1j} * x_{1j} + C_{2j} * x_{2j}) \leq B, \quad (3.25)$$

$$W_1 * x_{1j} + W_2 * x_{2j} \geq D_j, \quad \forall j \in \{1,2,3,4\}; \quad (3.26)$$

$$x_{ij} \geq 0; \quad (3.27)$$

$$\forall j \in \{1,2,3,4\}, \forall i \in \{1,2\}. \quad (3.28)$$

Значення параметрів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення параметрів моделі

Rj	Cij		Dj	B	W1	W2
	A1	A2				
R1	133857,9	138038,1	27,49503	28320320	20	22
R2	62759,3	65335,7	7,7678	-	-	-
R3	24464,3	25070	1,72364	-	-	-
R4	106540,5	108681,8	4,65903	-	-	-

Джерело: складено автором на основі [17], [18]

3.3 Лінійне програмування

Виходячи з формул (3.24) – (3.28), маємо наступну математичну модель:

$$Z = 133857.9 * x_{11} + 138038.1 * x_{21} + 62759.3 * x_{12} + 65335.7 * x_{22} + 24464.3 * x_{13} + 25070 * x_{23} + 106540.5 * x_{14} + 108681.8 * x_{24} \rightarrow \min \quad (3.29)$$

за умови, що:

$$133857.9 * x_{11} + 138038.1 * x_{21} + 62759.3 * x_{12} + 65335.7 * x_{22} + 24464.3 * x_{13} + 25070 * x_{23} + 106540.5 * x_{14} + 108681.8 * x_{24} \leq 28320320; \quad (3.30)$$

$$20 * x_{11} + 22 * x_{21} \geq 27.49503; \quad (3.31)$$

$$20 * x_{12} + 22 * x_{22} \geq 7.7678; \quad (3.32)$$

$$20 * x_{13} + 22 * x_{23} \geq 1.72364; \quad (3.33)$$

$$20 * x_{14} + 22 * x_{24} \geq 4.65903. \quad (3.34)$$

Для розв'язання цієї задачі, всі нерівності повинні бути перетворені в рівності. Це досягається шляхом введення додаткових змінних та використання великого штрафного коефіцієнта M . Розглянемо кроки:

1. Перетворення загального обмеження (3.30). Додаємо змінну x_1 , щоб перетворити нерівність на рівність:

$$\begin{aligned} &133857.9 * x_{11} + 138038.1 * x_{21} + 62759.3 * x_{12} + 65335.7 * x_{22} + 24464.3 \\ &\quad * x_{13} + 25070 * x_{23} + 106540.5 * x_{14} + 108681.8 * x_{24} + x_1 \\ &= 28320320 \end{aligned} \quad (3.35)$$

2. Перетворення обмежень типу нерівностей (3.31)-(3.34). Додаємо змінні x_2, x_3, x_4, x_5 з від'ємним знаком для кожного обмеження, змінні x_6, x_7, x_8, x_9 – штучні змінні:

$$20 * x_{11} + 22 * x_{21} - x_2 + x_6 = 27.49503; \quad (3.36)$$

$$20 * x_{12} + 22 * x_{22} - x_3 + x_7 = 7.7678; \quad (3.37)$$

$$20 * x_{13} + 22 * x_{23} - x_4 + x_8 = 1.72364; \quad (3.38)$$

$$20 * x_{14} + 22 * x_{24} - x_5 + x_9 = 4.65903; \quad (3.39)$$

3. Цільова функція:

$$\begin{aligned} Z = &133857.9 * x_{11} + 138038.1 * x_{21} + 62759.3 * x_{12} + 65335.7 * x_{22} \\ &+ 24464.3 * x_{13} + 25070 * x_{23} + 106540.5 * x_{14} + 108681.8 \\ &* x_{24} + 0 * x_1 + 0 * x_2 + 0 * x_3 + 0 * x_4 + 0 * x_5 + M * x_6 + M \\ &* x_7 + M * x_8 + M * x_9 \rightarrow \min \end{aligned} \quad (3.40)$$

де M — дуже велике число, яке штрафує за використання штучних змінних x_6, x_7, x_8, x_9 , забезпечуючи тим самим, що ці змінні прагнуть до нуля у оптимальному рішенні.

Розрахунок симплексних таблиць наведено у додатку В. Цільова функція набуває значення $Z = 220565.44$, а оптимальний план $X^* = (0; 1.25; 0; 0.35; 0; 0.08; 0; 0.21)$

Аналіз результатів:

- Маршрут R1 (Київ — Харків): використовується 1.25 автомобілів типу A2. Забезпечує достатню вантажопідйомність для перевезення 27.49503 тонн вантажу.
- Маршрут R2 (Кропивницький — Запоріжжя): використовується 0.35 автомобілів типу A2. Забезпечує достатню вантажопідйомність для перевезення 7.7678 тонн вантажу.
- Маршрут R3 (Херсон — Миколаїв): використовується 0.08 автомобілів типу A2. Забезпечує достатню вантажопідйомність для перевезення 1.72364 тонн вантажу.
- Маршрут R4 (Дніпро — Донецьк): використовується 0.21 автомобілів типу A2. Забезпечує достатню вантажопідйомність для перевезення 4.65903 тонн вантажу.

Отримане оптимальне рішення мінімізує загальну вартість перевезень до 220565.44 грн, при цьому забезпечуючи перевезення необхідних обсягів вантажу по всіх маршрутах із дотриманням заданих обмежень по вантажопідйомності та бюджету. Це підтверджує ефективність використання даної математичної моделі для планування логістичних операцій, оптимізуючи витрати на перевезення.

3.4 Проведення аналізу та оцінка ефективності запропонованих методів

- Економічна ефективність

Оптимізація логістичних операцій призводить до значного зменшення витрат. Мінімізація загальної вартості перевезень дозволяє ефективніше

використовувати обмежені фінансові ресурси, що особливо важливо в умовах гуманітарної кризи.

- Операційна ефективність

Завдяки оптимізаційним методам вдається точно визначити необхідну кількість транспортних засобів для кожного маршруту, що знижує ризики перевантаження чи недовантаження. Це дозволяє оптимально використовувати вантажопідйомність автомобілів, забезпечуючи своєчасну доставку вантажів.

- Гнучкість та адаптивність

Запропонована модель оптимізації дозволяє швидко адаптуватися до змін у вимогах та умовах перевезень. Вона враховує різні обмеження та дозволяє масштабувати рішення для різних сценаріїв логістичних задач. Це забезпечує високу гнучкість та адаптивність системи, що є критично важливим у динамічних умовах гуманітарних криз.

Запропоновані підходи можуть бути успішно застосовані у реальних умовах для планування логістичних операцій, оптимізуючи витрати на перевезення та забезпечуючи своєчасне надання допомоги. Використання методів оптимізації в логістичних задачах дозволяє підвищити ефективність та надійність системи, що є ключовим фактором у контексті гуманітарних криз.

Було визначено, що ефективне логістичне планування є ключовим фактором у забезпеченні своєчасної та належної доставки гуманітарної допомоги. Це включає вибір оптимальних маршрутів, врахування відстаней, вантажопідйомності транспортних засобів та бюджетних обмежень. Використовуючи лінійне програмування, було створено модель для оптимізації перевезень, яка мінімізує загальну вартість перевезень при дотриманні всіх заданих обмежень. Застосування симплексного методу дозволило знайти оптимальні значення змінних, що забезпечують мінімальні витрати.

Пропонована математична модель лінійного програмування була успішно застосована для визначення оптимальних маршрутів та кількості транспортних засобів, необхідних для забезпечення необхідного обсягу вантажоперевезень з мінімізацією загальних витрат.

Аналіз результатів показав, що запропонована модель дозволяє ефективно використовувати обмежені фінансові ресурси, забезпечуючи своєчасну доставку продуктів медичного застосування в найбільш постраждалих регіони. Мінімізація вартості перевезень, а також точне визначення кількості транспортних засобів для кожного маршруту дозволяють уникнути перевантаження чи недовантаження, що є критично важливим у контексті гуманітарних криз.

Отже, використання методів оптимізації у логістичних задачах гуманітарного характеру є ключовим фактором у підвищенні ефективності та надійності системи постачання. Впровадження цих підходів може значно покращити логістичні операції та забезпечити своєчасне надання допомоги в найбільш постраждалих регіони.

ВИСНОВКИ

У цій роботі було проведено детальне дослідження та розробку методів оптимізації логістичної системи для надання гуманітарної допомоги в умовах війни в Україні. Основні результати дослідження та рекомендації можна викласти наступним чином:

1. Аналіз сучасного стану гуманітарної допомоги в секторі здоров'я України:

- Вивчено та проаналізовано звіти великих гуманітарних організацій, таких як WHO, ОСНА, HDX та інші, що підтверджують значущість та актуальність дослідження.
- Виявлено, що понад 14,1 мільйона людей постраждали від війни, з яких 7,8 мільйона потребують гуманітарної допомоги в секторі охорони здоров'я.
- Проведено детальний аналіз потреб у медичній допомозі в різних регіонах України, що дозволило визначити області з найвищими значеннями потребуючих допомоги.

2. Методи та засоби аналізу для реалізації ефективної оптимізації логістичної системи:

- Проведено аналіз сучасних методів оптимізації та обрано найбільш підходящі для гуманітарної логістики.
- Використано метод аналізу ієрархій для обґрунтування вибору пріоритетних регіонів для надання допомоги, що дозволило виділити Південний та Східний регіони як найбільш потребуючі.
- Розроблено продукційну модель для систематизації процесу доставки гуманітарної допомоги, що включає вибір типу транспорту, логістичного центру та маршруту доставки.

3. Реалізація логістичної задачі й її оптимізації:

- Побудовано математичну модель для оптимізації маршрутів доставки, враховуючи відстані між логістичними центрами та містами, вантажопідйомність транспортних засобів та бюджетні обмеження.
- Застосовано лінійне програмування для мінімізації загальної вартості перевезень, що дозволило знайти оптимальні значення змінних для забезпечення мінімальних витрат.
- Проведено детальний аналіз результатів, що підтвердив економічну та операційну ефективність запропонованих методів.

Запропоновані методи можуть бути успішно впроваджені у реальні умови для планування логістичних операцій в умовах гуманітарної кризи. Це забезпечує ефективне використання обмежених ресурсів та покращення надійності логістичної системи.

Рекомендується використовувати розроблену модель для оптимізації логістичних процесів у секторі охорони здоров'я, зокрема для планування маршрутів та розподілу ресурсів.

Доцільно впровадити запропоновані підходи у систему управління гуманітарними операціями, що дозволить підвищити ефективність та оперативність надання допомоги в умовах кризи.

Пропонується продовжити дослідження у напрямку вдосконалення методів оптимізації логістичних процесів, зокрема розробки адаптивних моделей, що враховують динамічні зміни умов та потреб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Івашко, Л.М. 2023. ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ У ТОРГІВЛІ. *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*. 2023. Т. 21, № 3(52). С. 360-384. URL: [https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3\(52\).275817](https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3(52).275817) (дата звернення: 20.03.2024).
2. Boonmee C., Arimura M., Asada T. Facility location optimization model for emergency humanitarian logistics. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2017. Vol. 24. P. 485–498. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.01.017> (date of access: 09.06.2024).
3. Christopher M. Logistics and supply chain management: Creating value-adding networks. 4th ed. Harlow, England : Financial Times Prentice Hall, 2011. URL: https://www.ascdegrecollege.ac.in/wp-content/uploads/2020/12/Logistics_and_Supply_Chain_Management.pdf (date of access: 09.06.2024).
4. Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг: кол. моногр. / І-62 В.М. Самсонкін, І.В. Ніколаєнко, Ю.В. Булгакова та ін.; за ред. В.М. Самсонкіна та І.В. Ніколаєнко. — Київ : Талком, 2021. — 312 с. (ст 210) ISBN 978-617-8016-10-4.
5. Чернега І., Хахалін М. ЛОГІСТИЧНІ СИСТЕМИ ТА ЇХ РОЛЬ У ЛАНЦЮГАХ ВАРТОСТІ. Актуальні питання у сучасній науці. 2024. № 4(22). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4\(22\)-253-264](https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-4(22)-253-264) (дата звернення: 20.03.2024).
6. Задорожня Т., Шибко О. ВИКОРИСТАННЯ ЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ. *Grail of Science*. 2023. № 26. С. 244–248. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.14.04.2023.043> (дата звернення: 25.03.2024).

7. ReliefWeb - Informing humanitarians worldwide. *ReliefWeb*. URL: <https://reliefweb.int/> (date of access: 25.03.2024).
8. World Health Organization (WHO). *World Health Organization (WHO)*. URL: <https://www.who.int/> (date of access: 20.03.2024).
9. Welcome - Humanitarian Data Exchange. *Welcome - Humanitarian Data Exchange*. URL: <https://data.humdata.org/> (date of access: 20.03.2024)
10. Ukraine: Inter-cluster Coordination | ReliefWeb Response. *ReliefWeb Response*. URL: <https://response.reliefweb.int/ukraine/inter-cluster-coordination> (date of access: 25.03.2024).
11. Logcluster. *Logcluster*. URL: <https://logcluster.org/en> (date of access: 30.03.2024).
12. Health Cluster, WHO. Ukraine: Health Cluster Bulletin #2 (February 2024). 2024. 12 p. URL: https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-health-cluster-bulletin-2-february-2024-enuk?_gl=1*a38exy*_ga*NjMxNTA3ODUyLjE3MTYzOTg2MTg.*_ga_E60ZN_X2F68*MTcxNjQwMTc2MC4yLjAuMTcxNjQwMTc2MC42MC4wLjA (date of access: 03.04.2024).
13. WHO. Frontline oblast needs assessment. 2024. 52 p. URL: <https://www.who.int/andorra/publications/m/item/factsheet-based-on-the-data-collected-in-frontline-areas-of-dnipro-donetsk-kharkiv-kherson-mykolayiv-odesa-and-zaporizhzhya-oblasts> (date of access: 09.04.2024).
14. Ukraine: Humanitarian Needs and Response Targets - Humanitarian Data Exchange. *Welcome - Humanitarian Data Exchange*. URL: <https://data.humdata.org/dataset/ukraine-hno> (date of access: 09.04.2024).
15. LogIE. *LogIE*. URL: <https://logie.logcluster.org/?op=ukr-22-a> (date of access: 30.03.2024).
16. Drive Times Between Major Cities - MapAction. *Welcome - MapAction*. URL: <https://maps.mapaction.org/dataset/2022-ukr-001-ma037-v1> (date of access: 15.04.2024).

17. Нова пошта. Вантажні перевезення від 10 до 20 тон по Україні. *Розрахуйте вартість вантажних перевезень.*
URL: https://novaposhta.ua/biznes_klientam/vantazhni_perevezennya/#calculate
(дата звернення: 30.04.2024).
18. Ukraine 2024 | Financial Tracking Service. *Home | Financial Tracking Service.*
URL: <https://fts.unocha.org/countries/234/summary/2024> (date of access: 05.05.2024).
19. Ukraine: Health Logistics & Supply Task Team | ReliefWeb Response. *ReliefWeb Response.*
URL: <https://response.reliefweb.int/ukraine/health/ukraine-health-logistics-supply-technical-working-group> (date of access: 05.05.2024).
20. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М. Л 69
Логістика: Теорія та практика: Навч. посіб. – К: Центр учбової літератури, 2010. – 360 с.
21. Morelli M., Casagrande M., Forte G. Decision Making: a Theoretical Review. *Integrative Psychological and Behavioral Science.* 2021.
URL: <https://doi.org/10.1007/s12124-021-09669-x> (date of access: 10.05.2024).
22. Лемеш І.О. Сутність логістичної системи та її функціональна значущість на підприємстві в системі прийняття управлінських рішень / І.О. Лемеш // Управління розвитком. - 2013. - №1 (141) . - 96-98.
23. Новотарський М. А. Дискретна математика: навчальний посібник для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», спеціалізації «Комп'ютерні системи та мережі» / М. А. Новотарський; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 278 с.. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37806>
24. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрік та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с. ISBN 978-966-657-730-9
25. Czopik J. An Application of the Hungarian Algorithm to Solve Traveling Salesman Problem. *American Journal of Computational Mathematics.* 2019.

- Vol. 09, no. 02. P. 61–67. URL: <https://doi.org/10.4236/ajcm.2019.92005> (date of access: 20.04.2024).
26. Linear Programming. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/linear-programming/>. (date of access: 28.04.2024).
27. Rahman, S. A., Mawengkang, H. ., & Sutarman, S. (2023). Mathematical Modelling In Logistics Transportation Problems with The Direct Search. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(3), 1528-1535. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i3.12601>
28. What is the Analytic Hierarchy Process (AHP)? URL: <https://www.1000minds.com/decision-making/analytic-hierarchy-process-ahp>. (date of access: 20.04.2024).
29. What is the Analytic Hierarchy Process? URL: <https://www.passagetechology.com/what-is-the-analytic-hierarchy-process> (date of access: 20.04.2024).
30. Кігель В.Р. Оптимізація логістичних рішень: Навчальний посібник для студентів спеціальності "Логістика". – К.: Університет економіки та права "КРОК", 2007. – 136 с.

ДОДАТОК А. Аналіз файлу "People_in_Need_2024.xlsx". Текст програми.

```
import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

file = pd.read_excel("People_in_Need_2024.xlsx")

# Змінення у таблиці значення "—" на значення NaN

file.replace("—", np.nan, inplace=True)

# Зміна типів нечислових колонок на числові

non_numeric_columns = file.columns.difference(['Oblast Name', 'Raion Name', 'Raion
Pcode'])

file[non_numeric_columns] = file[non_numeric_columns].apply(pd.to_numeric,
errors='coerce')

# Частка пропусків, що міститься в кожній колонці (методи isnull та sum)

missing = (file.isnull().sum() / len(file)) * 100

print(missing)

# Зміна відсутніх даних у стовпцях на середні значення

file.fillna(file['People in Need (Individuals)'].mean(), inplace=True)

file.fillna(file['Severity of Needs'].mean(), inplace=True)

file.fillna(file['People Targeted (Individuals)'].mean(), inplace=True)

# Описова статистика за допомогою методу describe

stats = file['Severity of Needs'].describe()

stats = file['People in Need (Individuals)'].describe()

# Візуалізація

plt.rcParams["font.family"] = "Times New Roman"
```

```
plt.figure(figsize=(12, 8))

file.groupby('Oblast Name')['People in Need (Individuals)'].sum().plot(kind='bar',
color='green')

plt.title('Кількість людей, які потребують допомоги по областях')

plt.xlabel('Область')

plt.ylabel('Кількість людей')

plt.xticks(rotation=45)

plt.grid(axis='y')

plt.show()

# Візуалізація

plt.rcParams["font.family"] = "Times New Roman"

plt.figure(figsize=(12, 8))

file.groupby('Oblast Name')['Severity of Needs'].mean().plot(kind='bar', color='orange')

plt.title('Середня важкість потреб по областях')

plt.xlabel('Область')

plt.ylabel('Середня важкість потреб')

plt.xticks(rotation=45)

plt.grid(axis='y')

plt.show()
```

ДОДАТОК Б. Аналіз файлу "HRPR Weekly Digest Bulletin.xlsx". Текст програми.

```
import pandas as pd

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

file = pd.read_excel("HRPR Weekly Digest Bulletin.xlsx")

# Описова статистика за допомогою методу describe

stats = file['Quantity'].describe()

plt.rcParams["font.family"] = "Times New Roman"

plt.figure(figsize=(12, 8))

file.groupby('Oblast / Region')['Quantity'].sum().plot(kind='bar', color='blue')

plt.title('Кількість продуктів, в якій є потреба по областях')

plt.xlabel('Область')

plt.ylabel('Кількість продуктів')

plt.xticks(rotation=45)

plt.grid(axis='y')

plt.show()

oblasts = [

    'Donetska', 'Zaporizka',

    'Mykolaivska', 'Odeska', 'Sumska', 'Zakarpatska', 'Volynska', 'Khmelnyska', 'Ivano-

Frankivska', 'Ternopilska', 'Chernihivska', 'Cherkaska', 'Kharkivska',

'Khersonska', 'Kirovohradska', 'Lvivska', 'Kyiv',

]

data = file[file['Oblast / Region'].isin(oblasts)]

# Описова статистика за допомогою методу describe
```

```
stats = data['Quantity'].describe()

plt.rcParams["font.family"] = "Times New Roman"

plt.figure(figsize=(12, 8))

data.groupby('Oblast / Region')['Quantity'].sum().plot(kind='bar', color='blue')

plt.title('Кількість продуктів, в якій є потреба по областях (без  
Дніпропетровської)')

plt.xlabel('Область')

plt.ylabel('Кількість продуктів')

plt.xticks(rotation=45)

plt.grid(axis='y')

plt.show()
```

ДОДАТОК В. Розрахунок симплексних таблиць.

B	Cb	P	x11	x21	x12	x22	x13	x23	x14	x24	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Q
			133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	0	0	0	0	1	M	M	M	M	
x1	0,0	28320320	133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1129,65
x6	M	27,5	20	22	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	0	0	0	∞
x7	M	7,8	0	0	20	22	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	0	∞
x8	M	1,7	0	0	0	0	20	22	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0,08
x9	M	4,7	0	0	0	0	0	0	20	22	0	0	0	0	1	0	0	0	1	∞
min		41.65M	20M-133857.9	22M-138038.1	20M-62759.3	22M-65335.7	20M-24464.3	22M-25070	20M-106540.5	22M-108681.8	0	-M	-M	-M	-M	0	0	0	0	

B	Cb	P	x11	x21	x12	x22	x13	x23	x14	x24	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Q
			133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	0	0	0	0	1	M	M	M	M	
x1	0,0	28318355,8	133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	1673,4	0,0	106540,5	108681,8	1	0	0	1140	1141	0	0	-1139,55	0	433,43
x6	M	27,5	20	22	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	0	0	0	∞
x7	M	7,8	0	0	20	22	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	0	1	0	0	0,35
x23	25070	0,1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,05	0	∞
x9	M	4,7	0	0	0	0	0	0	20	22	0	0	0	0	1	0	0	0	1	∞
min		39.92M+1964.17	20M-133857.9	22M-138038.1	20M-62759.3	22M-65335.7	-1673,4	0,0	20M-106540.5	22M-108681.8	0	-M	-M	-1140	-1139	0	0	-M+1139,55	0	

B	Cb	P	x11	x21	x12	x22	x13	x23	x14	x24	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Q
			133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	0	0	0	0	1	M	M	M	M	
x1	0,0	28295286,99	133857,9	138038,1	3363,21	0,0	1673,39	0,0	106540,5	108681,8	1	0	2969,8	1139,55	1139,56	0	-2969,8	-1139,55	0	260,35
x6	M	45439,0	20	22	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	1	1	0	0	0	∞
x22	65335,7	0,35	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	0	-0,05	0	1	0	0,05	0	0	∞
x23	25070,0	0,08	0	0	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	-0,05	-0,06	0	0	0,05	0	∞
x9	M	24198,0	0	0	0	0	0	0	20	22	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0,21
min		32.15M+25033.01	20M-133857.9	22M-138038.1	-3363,21	0,0	-1673,39	0,0	20M-106540.5	22M-108681.8	0	-M	-2969,8	-1139,55	-1139,56	0	-M+2969,8	-M+1139,55	0	

B	Cb	P	x11	x21	x12	x22	x13	x23	x14	x24	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Q
			133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	M	M	M	M	
x1	0	28272271,0	133857,9	138038,1	3363,21	0	1673,39	0,0	7738,86	0,0	1	0	2969,8	1139,55	4940,08	0,0	-2969,8	-1139,55	-4940,08	204,81
x6	M	45439,0	20	22	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	45658,0
x22	65335,7	0,35	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	0	0	∞
x23	25070,0	0,08	0	0	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	0	∞
x24	108681,8	0,21	0	0	0	0	0	0	0,91	1	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	∞
min		27.5M+48049	20M-133857.9	22M-138038.1	-3363,21	0	-1673,39	0	-7738,86	0	0	-M	-2969,8	-1139,55	-4940,08	0,0	-M+2969,8	-M+1139,55	-M+4940,08	

B	Cb	P	x11	x21	x12	x22	x13	x23	x14	x24	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	Q
			133857,9	138038,1	62759,3	65335,7	24464,3	25070,0	106540,5	108681,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	M	M	M	M	
x1	0,0	28099754,56	8368,72	0	3363,21	0	1673,39	0	7738,86	0	1	6274,46	2969,8	1139,55	4940,08	-6274,46	-2969,8	-1139,55	-4940,08	
x21	138038,1	45658,0	0,91	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	0	0	0	
x22	65335,7	0,35	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	0	0	
x23	25070,0	0,08	0	0	0	0	0,91	1	0	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	0	
x24	108681,8	0,21	0	0	0	0	0	0	0,91	1	0	0	0	0	-0,05	0	0	0	0,05	
min		220565,44	-8368,72	0	-3363,21	0	-1673,39	0	-7738,86	0	0	-6274,46	-2969,8	-1139,55	-4940,08	-M+6274,46	-M+2969,8	-M+1139,55	-M+4940,08	

Рисунок В.1 – Розрахунок симплекс-таблиць

Джерело: розроблено автором

Ім'я користувача:
Комп'ютерної математики та інформаційної безпеки...

ID перевірки:
1016338245

Дата перевірки:
09.06.2024 15:38:34 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
09.06.2024 21:06:02 EEST

ID користувача:
100005746

Назва документа: Диплом_Остапенко Вероніка

Кількість сторінок: 52 Кількість слів: 9111 Кількість символів: 66473 Розмір файлу: 3.39 MB ID файлу: 1016139373

4.57% Схожість

Найбільша схожість: 0.4% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1001001566)

3.19% Джерела з Інтернету 206 Сторінка 54

3.08% Джерела з Бібліотеки 215 Сторінка 55

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 24