

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
(повна назва)Кафедра Інформатики
(повна назва)Рівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійнаОсвітня програма Інформатика
(повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУстудентові Яську Олегу Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Дослідження методів оптимізації логістики вантажів в умовах воєнного стану

затверджена наказом по університету від 25 листопада 2024 року № 1246Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 28 грудня 2024 р.3. Вихідні дані до роботи джерела інформації, що описують основну частину теоретичних досліджень, документація системи моделювання AnyLogic.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Провести порівняльний аналіз ефективності існуючих методів оптимізації логістики вантажів.

2. Математичне обґрунтування доцільності використання обраного методу.

3. Розробити агентну імітаційну модель транспортування цивільних вантажів.

4. Проведення експериментів.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) процеси транспортної логістики, оптимізація логістики вантажів, динамічність подій, ціль та задачі дослідження, агентна та дискретно-подійна моделі, модель в системі AnyLogic.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	25.11.2024	
2	Аналіз завдання, підбір літератури	26.11.24-28.11.24	
3	Аналіз літератури з досліджуваної проблеми	29.11.24-06.12.24	
4	Аналіз методів оптимізації	07.12.24-09.12.24	
5	Дослідження методів оптимізації	10.12.24-12.12.24	
6	Програмна реалізація	13.12.24-25.12.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	26.12.24-28.12.24	
8	Перевірка на плагіат	29.12.2024	
9	Рецензування	30.12.2024	
10	Підготовка презентації та доповіді	02.01.2025	
11	Занесення роботи в електронний архів	03.01.2025	
12	Попередній захист кваліфікаційної роботи	07.01.2025	

Дата видачі завдання 25 листопада 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

_____ доц. Любченко В.А.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ/ABSTRACT

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 77 с., 7 табл., 30 рис., 41 джерело.

ЛОГІСТИКА, ЦИВІЛЬНІ ВАНТАЖІ, МАРШРУТИ, ВАНТАЖІВКІ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АГЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

Об'єктом дослідження є процеси транспортної логістики.

Метою дослідження є методи та засоби моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів.

Використано методи агентного імітаційного моделювання. Проведено аналіз особливостей моделювання процесів транспортування цивільних вантажів. Розроблено агентну імітаційну модель транспортування цивільних вантажів. Описані механізми моделювання логістичних процесів. Проведені експериментальні дослідження.

У результаті дослідження здійснена програмна реалізація системи для моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів з метою підвищення якості прийняття рішень щодо управління транспортною логістикою.

LOGISTICS, CIVIL CARGO, ROUTES, TRUCKS, TRANSPORTATION, SIMULATION, AGENT SIMULATION.

The object of research is the processes of transport logistics.

The purpose of the research is to investigate methods and tools for modelling logistics processes of civilian cargo transportation.

The methods of agent-based simulation modelling are used. The peculiarities of modelling the processes of civilian cargo transportation are analysed. An agent-based simulation model of civilian cargo transportation is developed. The mechanisms of modelling logistics processes are described. Experimental studies have been carried out.

As a result of the research, a software implementation of the system for modelling logistics processes of civilian cargo transportation was carried out in order to improve the quality of decision-making on transport logistics management.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	7
Вступ	8
1 Аналіз особливостей та проблем логістики цивільних вантажів	9
1.1 Логістика цивільних вантажів, як основа ефективних дій в умовах воєнного стану	9
1.2 Особливості логістики цивільних вантажів	11
1.3 Основні логістичні проблеми у гуманітарній сфері	16
1.4 Методи імітаційного моделювання логістичних систем	22
1.5 Постановка задачі дослідження	24
2 Моделі оптимізації логістики вантажів	26
2.1 Транспортна модель ланцюга постачання	26
2.1.1 Математичне обґрунтування задачі	26
2.1.2 Переваги та недоліки моделі	28
2.2 Модель прогнозування попиту та пропозиції	29
2.2.1 Математичне обґрунтування задачі	29
2.2.2 Переваги та недоліки моделі	32
2.3 Модель управління запасами	33
2.3.1 Стратегії управління запасами	33
2.3.2 Математичне обґрунтування задачі	35
2.3.3 Переваги та недоліки моделі	37
2.4 Порівняльна характеристика трьох розглянутих моделей	38
3 Розробка логіки імітаційної моделі логістики гуманітарних вантажів	44
3.1 Обґрунтування вибору середовища програмної реалізації	44
3.1.1 Програмне середовище Arena	44
3.1.2 Програмне середовище Simul8	45
3.1.3 Програмне середовище AnyLogic	45
3.1.4 Підсумок порівняння середовищ	46
3.2 Програмна реалізація	47

	6
3.3 Інструкція користувача	49
3.4 Тестування розробленої моделі	50
Висновки.....	72
Перелік джерел посилання	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

EOQ – Economic Order Quantity (оптимальний розмір замовлення)

ROP – Reorder Point (точка замовлення)

GPSS – General Purpose Simulation System (система моделювання загального призначення)

НАТО – Організація Північноатлантичного договору

ООН – Організація Об'єднаних Націй

CERF – Central Emergency Response Fund (центральний фонд реагування на надзвичайні ситуації)

JOA – Joint Operations Area (об'єднана операційна зона)

ППП – повітряний порт посадки

МПП – морський порт посадки

ВСТУП

Робота передбачає моделювання процесів постачання товарів в зону підвищеної небезпеки під час воєнного стану. Гострота вирішення цих питань викликана сучасними реаліями ситуації в Україні, ускладненням вирішення питань ефективного матеріально-технічного забезпечення цивільного населення в умовах великої протяжності зони ризику, збільшення постачань медикаментів і продовольства від країн-партнерів з урахуванням цивільних логістичних вимог ООН, підвищення успішності логістичних дій держави. Моделювання дозволить досягти скорочення часу, що є дуже критичним в умовах активних подій, приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення якості матеріально-технічного забезпечення населення, що дозволить в свою чергу зменшити рівень загрози для працівників компаній-постачальників, зменшити кількість порушень при підготовці.

Актуальність роботи пояснюється необхідністю адаптації транспортних систем до динамічних змін середовища та покращення ефективності використання ресурсів. У періоди кризи цивільні вантажі потребують оперативної доставки з мінімальними затримками. Це вимагає створення науково обґрунтованих методів аналізу й оптимізації логістичних процесів.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПРОБЛЕМ ЛОГІСТИКИ ЦИВІЛЬНИХ ВАНТАЖІВ

1.1 Логістика цивільних вантажів, як основа ефективних дій в умовах воєнного стану

Постачання вантажів у зони підвищеної небезпеки потребує застосування різних видів транспорту та спеціалізованого обладнання від різних постачальників. Це створює значні труднощі в забезпеченні ефективного використання ресурсів та координації доставки допомоги (рис. 1.1).

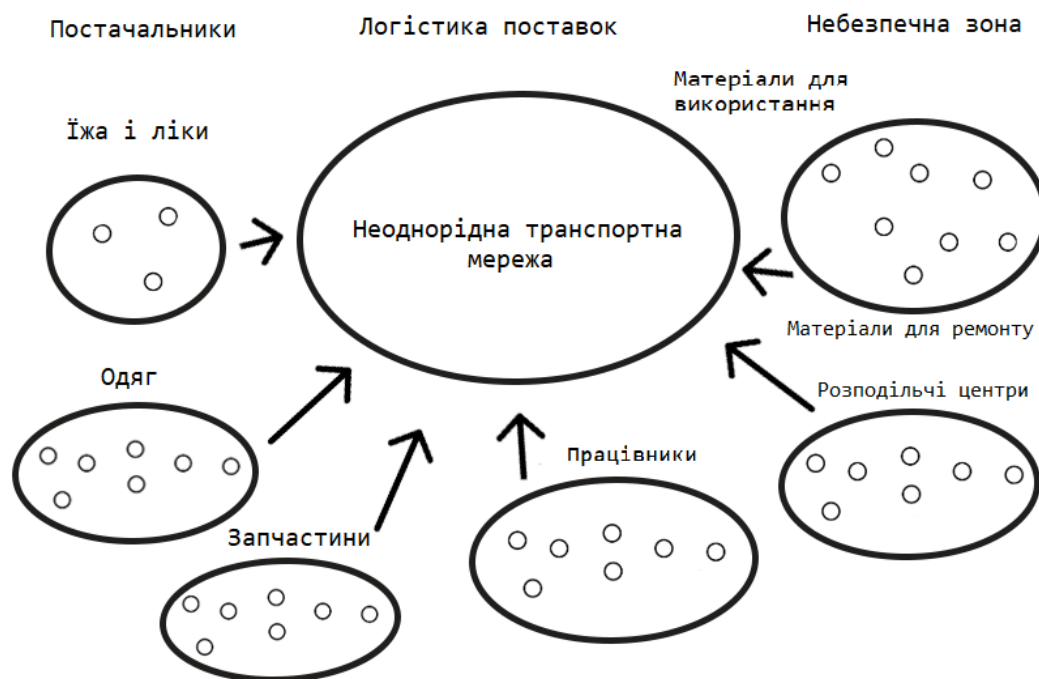


Рисунок 1.1 – Логістика продовольства, медикаментів та робітників в зоні підвищеної небезпеки

У ситуаціях, коли рівень загрози збільшується, цивільне населення стикається з нестачею продовольства, ліків та інших життєво важливих засобів, що потребує безперервного постачання гуманітарних вантажів для

підтримки [1, 2]. Різні загрози, як природні, так і техногенні, є одними з чинників таких перешкод [3]. Відсутність необхідної кількості запасів може призвести до серйозних наслідків, таких як перебої в роботі життєво важливих систем, порушення інфраструктури, і неможливість забезпечення своєчасної допомоги постраждалому населенню [4]. Актуальність теми даного дослідження полягає в необхідності вирішення проблеми ефективного накопичення ресурсів в умовах сучасних криз, коли важливу роль відіграють сучасні технології та стратегії, спрямовані на захист і збереження резервів (управління матеріально-технічними ресурсами і резервами).

Проблеми, пов'язані з накопиченням та управлінням гуманітарними ресурсами, висвітлені в існуючих публікаціях.

Велика кількість постачальників, які можуть постачати гуманітарні вантажі невеликими партіями, ускладнюють управління матеріально-технічним забезпеченням допомоги. Існуючі дослідження розглядають матеріальне постачання в умовах мирного часу, коли потреби є прогнозованими, але не враховують специфіки кризових ситуацій, де необхідно оперативно реагувати на непередбачувані виклики [5].

При постачанні гуманітарних вантажів у небезпечні зони часто виникають довгі логістичні ланцюги через віддаленість від місць зберігання, що потребує значного часу для накопичення і доставки. В існуючих публікаціях планування та накопичення часто розглядаються з точки зору стабільних умов постачання, але не враховують труднощі доставки в зони з обмеженим доступом [6, 7].

Довгі логістичні ланцюги постачання створюють вразливості, особливо в небезпечних регіонах, де існують ризики затримок або втрат вантажів через природні або техногенні загрози. Існуючі публікації здебільшого стосуються логістичної вразливості в стабільних умовах, без належної уваги до ризиків, що виникають під час надзвичайного стану [8].

В умовах кризової ситуації виникає багато додаткових ризиків постачання через непередбачувані події, що можуть суттєво вплинути на час

доставки та обсяги гуманітарних запасів, доступних для постраждалого населення. Ризики, пов'язані з надзвичайними ситуаціями, потребують уваги та вивчення, оскільки їх вплив на логістичні процеси є суттєвим і часто не враховується в плануванні [9, 10].

Перевалка гуманітарних вантажів у зонах небезпечних територій також часто призводить до затримок і збільшення термінів постачання. Існуючі публікації не завжди враховують вплив таких перевалок на швидкість та ефективність логістичних процесів, особливо в умовах, коли доступ до регіонів постачання є обмеженим [11, 12].

Резервне накопичення в мирний час значно відрізняється від накопичення гуманітарних запасів в умовах воєнного стану, коли необхідно швидко реагувати на змінні обставини та потреби населення. Існуючі публікації здебільшого стосуються планового формування запасів, але недостатньо уваги приділяють швидким змінам у потребах під час кризових ситуацій [13, 14].

1.2 Особливості логістики цивільних вантажів

На сьогоднішній день найважливішими факторами, які викликають активність глобального ринку і мають великий вплив на логістичні процеси, є: глобалізація та швидкий розвиток нових технологій. У такому середовищі логістика гуманітарних вантажів безперервно працює разом із постачанням товарів під час війни, миру та кризових ситуацій [15].

Ця логістика зосереджена на пошуку рішень, щоб бути більш ефективними та економічно прибутковими. Через це логісти намагаються зменшити витрати та швидше постачати товар, а також намагаються забезпечити належну якість та сервіс. Сучасні виклики гуманітарного матеріально-технічного забезпечення змінилися. Найбільший виклик для всіх логістичних процесів полягає в тому, щоб надавати послуги відповідно до

формули 7П (правильний час, правильний продукт, правильна кількість, правильний стан, правильне місце, правильний клієнт і правильна ціна) (рис. 1.2). Керування логістикою важливе для кожної операційної місії.

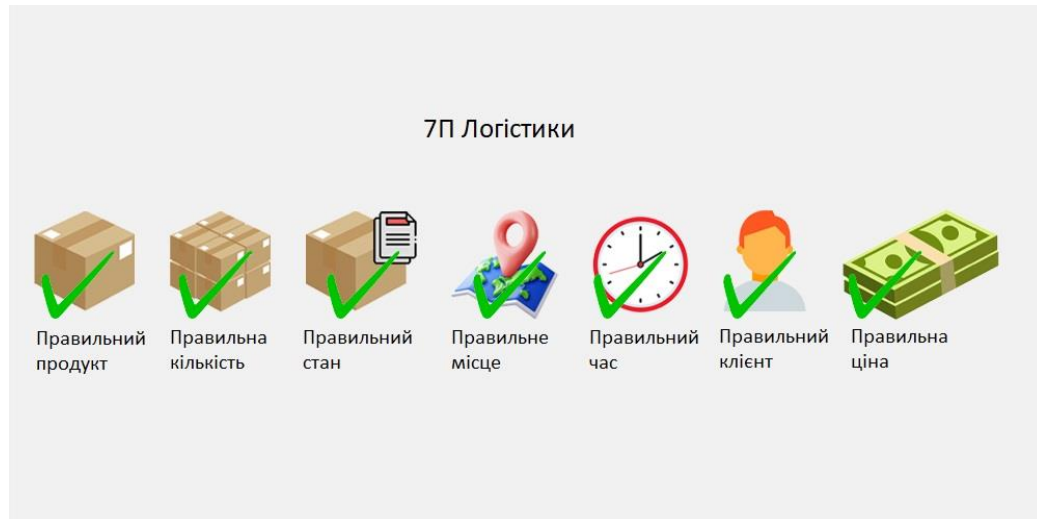


Рисунок 1.2 – Керування логістикою за формулою 7П

Світ постійно змінюється. Ідеї, які кілька років тому здавалися неможливими, сьогодні стали реальністю. Розвиток нових технологій, знань, послуг тощо надає нові можливості, але також породжує нові потреби, які потрібно задовольнити. Такі ж зміни зазнають матеріально-технічне забезпечення у гуманітарних організаціях. Логістика походить від давньогрецького логотипу, що означає «співвідношення, слово, обчислення, розум, мова та орація».

Для відображення того, що тематика цієї роботи має перехрестя в інших сферах зі схожою специфікою, можна розглянути слова адмірала Генрі Еклза, який визначив логістику як міст між військовими операціями та національною економікою [16]. Ця комбінація представлена в національних ресурсах, процесах і системах, які використовуються для створення матеріальних засобів і персоналу. Відповідно до затвердженого визначення НАТО, військова логістика – це наука про планування та здійснення переміщення та обслуговування сил.

Логістика включає інтереси в наступних сферах:

- проєктування та розробка, придбання, зберігання, транспортування, розподіл, обслуговування, евакуація та утилізація матеріальних засобів;
- транспортування персоналу;
- придбання, будівництво, утримання, експлуатація та розпорядження об'єктами;
- придбання та надання послуг;
- медичне забезпечення.

Вищезазначені сфери інтересів відображають багатовимірність військової логістики. Загалом за принципами НАТО усі ці послуги та зобов'язання поділяються на три групи:

- виробнича логістика;
- внутрішньо експлуатаційне матеріально-технічне забезпечення;
- споживча логістика.

Виробнича логістика в гуманітарній сфері тісно пов'язана з промисловою сферою. Основні процеси, реалізовані в цьому секторі, включають: планування, організацію та проєктування, а також закупівлю обладнання [17]. Усі ці завдання підтримують стандартизацію, яка допомагає людям у всьому світі робити потік товарів швидшим, кращим і безпомилковим. Крім того, він стосується аналізу надійності та ремонтпридатності, сумісності, стандартів безпеки для обладнання, забезпечення якості, придбання запчастин, специфікацій і виробничих процесів, випробувань, кодифікації, документації та контролю конфігурації. Кожна країна несе відповідальність за забезпечення обладнанням і утримання своїх працівників. Гуманітарне співробітництво між усіма країнами координується ООН в багатьох сферах. Основний обов'язок логістики, що працює, – заповнити розрив між виробничою та споживчою логістикою. Це пов'язано з основними функціями, якими є: отримання, заготівля, зберігання, розподіл і забезпечення матеріалами, необхідними для забезпечення підтримки. Це також пов'язано із забезпеченням гуманітарного обладнання (перевірка наявності необхідного обладнання та його придатності до

використання). Споживча логістика, яку також називають оперативною логістикою, стосується функцій постачання та підтримки гуманітарних місій.

Це вимагає збору вихідного продукту, зберігання, транспортування, обслуговування, експлуатації та утилізації матеріальних засобів. Як наслідок, споживча логістика охоплює контроль запасів, забезпечення та будівництво об'єктів, переміщення та контроль. Крім того, логістика в цьому аспекті стосується надійності та звітності про дефекти, стандартів безпеки для зберігання, транспортування та обробки та відповідного навчання [18].

Логістика цивільних вантажів стосується всіх процесів і систем, залучених до створення, транспортування та передислокації або перерозподілу матеріальних засобів і персоналу (рис. 1.3). Причому вимоги до підтримки рівня зони спільних операцій (JOA) застосовуються до всіх функціональних областей матеріально-технічного забезпечення, зокрема до постачання та технічного обслуговування (підтримка та стійкість) [19, 20]. Ефективність підтримки від конкретної країни залежить від здатності виконувати вищезазначені функції. Чим ефективніші ці логістичні операції, тим більш стратегічною та гнучкою є країна.

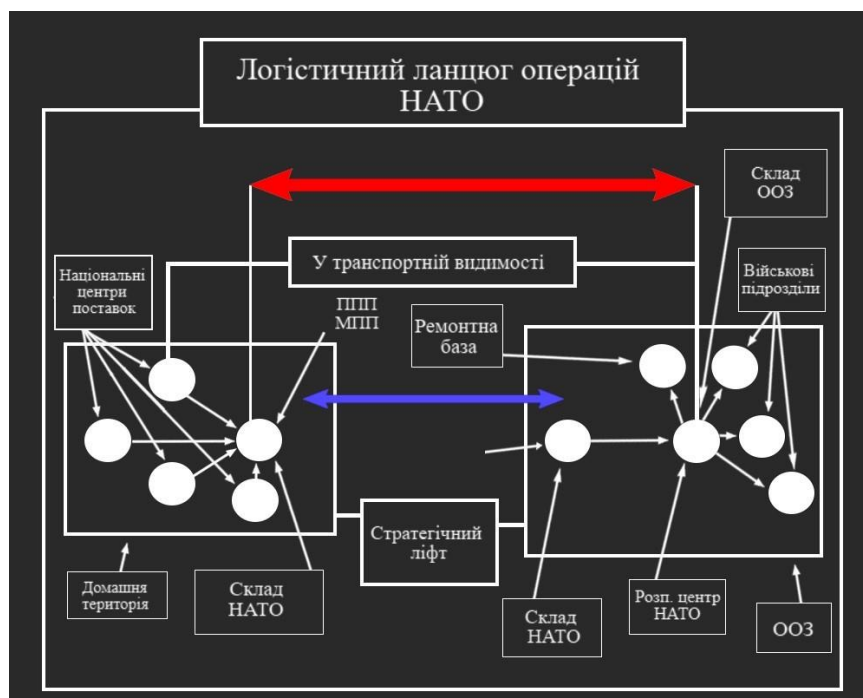


Рисунок 1.3 – Логістичний менеджмент військових операцій НАТО

Крім того, їх реалізація включає спільну, міжвідомчу, міжурядову та багатонаціональну сфери. Основою логістики гуманітарних вантажів є виробництво та постачання ліків, продовольства та матеріальних благ. Це безпосередньо впливає на реакцію, яка також може підняти дух населення. Також це впливає на те як довго конкретна країна може витримувати стан підвищеної небезпеки. Логістична підтримка може покращити місію; однак вона також може її знищити. Всі логістичні процеси повинні бути готові до будь-якої ситуації, особливо коли виникає конфлікт, який раніше не планувався.

Транспортування – це розширений процес, який включає переміщення працівників та матеріальних засобів від місця відправлення до зони подій.

Щоб виконати цю функцію, повинні бути забезпечені відповідні ресурси на кожному рівні загрози, розташовуючи бази, лінії зв'язку та захищаючи їх [21]. Інфраструктура потенційних зони подій стане основою дій і стане випробуванням на міцність для логістів, коли вони намагатимуться налагодити постачання та розподільні мережі.

Забезпечення – розглядає всі процеси, завдання та системи, пов'язані з постачанням, розподілом, складуванням і обслуговуванням персоналу чи обладнання.

Основними завданнями організаторів є ефективні та інтегровані організації забезпечення та керівництво для розміщення групи працівників та матеріальних засобів, які були зібрані та переміщені на зони подій. Передислокація та перерозподіл дуже близькі до «зворотної логістики» цивільної промисловості та відбуваються на кількох рівнях [22, 23]. У логістиці цивільних вантажів ці аспекти містять здатність організаторів евакуювати персонал або матеріальні засоби. Метою цієї функції є медичне обслуговування, підтримка та відновлення.

Найважливіше для населення з загрозою для здоров'я – це гарантувати їм належну медичну допомогу. Вищеописані функції існують на кожному рівні гуманітарної місії.

Найважливішими аспектами логістики є об'єднання всіх процесів для надання правильних послуг в зоні операцій. Найбільший виклик для всіх країн – реагувати на мінливі ситуації, щоб досягти успіху конкретні місії. Чим гнучкіша певна країна, тим вона ефективніша.

Логістика є життєво важливою для будь-якої гуманітарної операції. Без цього операції не можна було б проводити та підтримувати, особливо у випадку операцій за межами району.

1.3 Основні логістичні проблеми у гуманітарній сфері

Найкращий спосіб представити основні виклики в галузі логістики – це пояснити формулу 4D, яка включає: попит, відстань, пункт призначення та тривалість. Ці детермінанти описують умови кожної операції. Крім того, ці аспекти визначають планування та організацію певної місії. Вищезазначені параметри повинні бути скориговані до різних операційних середовищ і до конфліктів у матеріально-технічному ланцюгу постачання. Напруженість може виникнути через різноманітність суб'єктів, що діють на місцевому, національному чи міжнародному рівнях (різні представники уряду, міжнародні партнерські організації, контактні організації та інституції) [24]. Відстані та пункти призначення – це аспекти, які можна просто оцінити. Ці аспекти пов'язані у процеси логістичного планування. Однак ці два моменти також можуть створити серйозні проблеми: деякі місця розміщення недоступні, не мають доступу до базової інфраструктури або знаходяться в центрі операційної. Крім того, перевезення працівників, обладнання та послуг на великі відстані є важким і дорогим. Важливим питанням є попит і тривалість місій.

Вони встановлюються в мандаті місії. Можливе продовження повноважень в залежності від ситуації. З точки зору логістики, це дійсно складна ситуація, тому що всі раніше організовані плани повинні бути

скориговані до поточних вимог. Ще одне складне питання – попит. Складно оцінити всі необхідні матеріали та обладнання. Ситуації на місці можуть бути непередбачуваними, тому команда логістики має бути готова до раптових проблем і миттєво реагувати. Основними проблемами логістики для гуманітарних операцій є: вартість логістики, транспорту та аутсорсингу логістики [25, 26].

Транспорт, який також називають стратегічним і тактичним підйомом, необхідний для будь-якої місії.

Стратегічний ліфт – це процес, який починається на місці початку і закінчується в місці, розташованому поблизу зони подій. Тактичний підйом – це процес, який здійснюється поблизу зони небезпеки, тому потребує більшого захисту та інших вимог. Цей вид транспорту відноситься до дрібних одиниць перевезень.

Сьогодні важливо забезпечити ефективні та адекватні стратегічні та тактичні ліфти в короткі терміни. У цьому контексті важко стверджувати про належні транспортні потужності через час і доступність. Швидка реакція є головним викликом. У цій концепції зазначається, що він має бути в регіоні дії протягом десяти днів після прийняття офіційного рішення.

Найважливішим аспектом є достатній повітряний транспорт для того, щоб діяти на віддаленій і широкій зоні критичної ситуації. Фахівців хвилює вартість тактичного та стратегічного транспорту. Морський підйомник дешевший, ніж повітряний транспорт, але, на жаль, займає більше часу [27]. З метою зниження витрат все більше використовують комбіновані перевезення. Повітряний підйомник – найшвидший і найдорожчий вид транспорту. Найбільшою перевагою цього виду транспорту є те, що він допомагає швидко розміщувати групи працівників за короткий проміжок часу. Цей аспект корисний, коли він стосується реагування на надзвичайні ситуації, щоб запропонувати робітникам швидке місце подалі від місця походження за короткий термін. У минулому доступ до деяких місць був настільки складним, що єдиним способом пересування було повітря. Наприклад, більшість членів

ЄС віддають перевагу підтримці лізингу та координації ініціаторів, оскільки транспортний процес дорогий і рідкісний. Ця ідея більш реалістична з економічної точки зору.

Логістичні процеси залежать від наявності можливостей і від вартості цих операцій. У цивільній логістиці найбільшою проблемою для всіх відділів логістики є скорочення витрат і підвищення ефективності процесів. Така ж проблема виникає у логістиці цивільних вантажей. У 2005 році Організація Об'єднаних Націй започаткувала механізм Центральний фонд реагування на надзвичайні ситуації (CERF) для допомоги членам ООН шляхом фінансування гуманітарних операцій. Основна ідея програми полягає в організації та адміністративні витрати на проведення гуманітарних операцій, якими є: паливо, проживання та інші [28].

У всіх випадках ці витрати включають: впровадження та експлуатацію місця проживання, включаючи витрати на подорожі, ІТ-системи, адміністрування, публічну інформацію, місцевий персонал, інфраструктури, медичних послуг (у зоні подій), медичної евакуації, ідентифікації, збору інформації (супутникові зображення); відшкодування таким організаціям як ООН.

Країни, включені до програми, повинні робити внески відповідно до свого доходу (валового національного доходу). CERF також може попередньо профінансувати інші витрати, пов'язані з операцією, зокрема у сфері підтримки в реальному житті. Усі конкретні процеси та правила фінансових операцій визначаються спеціальними нормативними актами.

У наш час транспортні процеси, допоміжні послуги та розміщення роблять експлуатаційні витрати високими. У результаті країни намагаються мінімізувати витрати, передаючи частину їх субпідрядникам. Стало помітним збільшення використання приватних субпідрядників. Країни-члени ООН більш охоче використовують приватні компанії, які надають аутсорсинг. Це рішення має багато економічних переваг, але також і деякі недоліки [29, 30]. Це може знизити загальну вартість операцій і допомогти підвищити якість

процесу. Найбільшим недоліком є те, що гуманітарні операції покладаються на зовнішніх партнерів, які орієнтовані на бізнес-ринок. Також можуть виникнути певні труднощі з офіційною угодою між партнерами (урядом і приватними компаніями). Приватні джерела можуть бути більш небезпечними для гуманітарних операцій з точки зору безпеки процесів постачання. У разі кризи в Європі виїзні компанії зазнають підвищених витрат, тому що вони не розпоряджаючись власними потужностями і змушені запасатися на світовому ринку.

Зовнішнє забезпечення гарантує успіх цивільних операцій. Найважливішим фактором для кожної операції є команда людей, відповідальних за оцінку всіх детермінант. Гуманітарні операції часто непередбачувані, а це означає, що треба вміти реагувати логічно, відповідально та швидко. Моделювання та побудова цифрових двійників в логістиці може сприяти подальшому прийняттю ефективних рішень та потенційно привести до успіху гуманітарні операції [31].

Ланцюги поставок стосуються всіх процесів, необхідних для збору, доставки та надання послуг, таких як: транспорт, медичне обслуговування, зв'язок, ремонт, житло тощо. Логістична діяльність зосереджена на наданні підтримки для забезпечення готовності.

Основне завдання ланцюгів цивільного постачання – забезпечити ефективний потік продуктів (медикаментів, продуктів харчування, тощо) до частин розподілення у мирний або воєнний час.

Логістика у небезпечній зоні повинна бути готова до різних ситуацій, щоб досягти плавності процесів. Логістичні ланцюги гуманітарних вантажів містять показані види діяльності (рис. 1.4).

Основна мета відділу логістики – відповідати за забезпечення відповідних товарів [32, 33].

Існують також деякі вимоги, яким повинні відповідати логістичні ланцюги. Фундаментальна роль логістичних ланцюгів полягає в тому, щоб

вони були сумісні зі стратегією. Усі процеси мають бути підпорядковані головному баченню роботи.



Рисунок 1.4 – Основна діяльність логістичного ланцюга гуманітарних вантажів

Крім того, вони повинні бути функціональними, щоб відповідати умовам інформації, забезпечувати ефективну систему, яка показує кількість запасів, і дозволяють швидко розміщувати замовлення на відсутні матеріали. Крім того, логістика в організаціях має бути динамічною та гнучкою, оскільки всі ланцюжки поставок повинні адаптуватися до мінливих умов.

Відділ логістики повинен усвідомлювати раціональність використання кожного елемента ланцюга поставок та правильну експлуатацію інфраструктури (правильний спосіб зберігання їжі, медикаментів та одягу).

Показано основні та функціональні можливості логістики гуманітарних вантажів (рис. 1.5).

З точки зору матеріально-технічного забезпечення, найважливішим фактором є підготовка працівників до виконання своїх обов'язків. Надання логістичних послуг стосується наступних аспектів:

- оцінка кількості та виду матеріалів;
- забезпечення усім необхідним обладнанням (автомобілями тощо) для поточних умов у районі місії;
- заміна рідин, герметиків, шин, точна перевірка обладнання;

- забезпечення працівників, які беруть участь у місії, необхідним спорядженням (протигазами, бронезжилетами, шоломами тощо);
- проведення медичних тестів та захист ін'єкцій;
- упаковка всього зібраного обладнання та персоналу для транспортування контейнерів і підготовка їх до транспортування;
- оформлення правильних транспортних та митних документів;
- планування та організація руху;
- оформлення фінансових асигнувань на весь зібраний товар.



Рисунок 1.5 – Основні та функціональні логістичні можливості

Було б гарною ідеєю мати повну групу логістів з людьми, які добре підготовлені до своїх обов'язків. Ці люди будуть відповідати за управління матеріалами, технічним персоналом і складським господарством. Немає представлення ідеальної команди логістики – усі місії мають різні вимоги та різні способи надання послуг [34, 35]. Найважливіше – помітити ці характеристики та надати відповідні послуги, які їм відповідають. Навіть якщо логістична команда має ідеальний стратегічний план без належного забезпечення (житло, спорядження, харчування), його неможливо виконати.

Для кожної логістичної місії потрібен керівник логістики, здатний швидко реагувати в різних ситуаціях. Чим гнучкіша логістична команда, тим ефективнішими є певні операції. Важливо створити логістичну команду, яка включає фахівців у різних сферах, пов'язаних з матеріально-технічним забезпеченням. Некваліфіковані люди можуть зробити деякі помилки, які можуть бути небезпечними для поставлених задач.

1.4 Методи імітаційного моделювання логістичних систем

Метод, в контексті імітаційного моделювання, означає загальну основу для відображення реальної системи до своєї моделі. Метод пропонує тип мови, або «терміни і умови» для побудови моделі. У сучасному імітаційному моделюванні для складних логістичних систем існує три основні методи, кожен з яких обслуговує певний рівень абстракції (рис. 1.6).

Системна динаміка – це найдавніший підхід до моделювання, коріння якого – у роботі, що виконана професором Массачусетського технологічного інституту Джеєм Форестером в 1950-ті. З самого початку системна динаміка залишалася зосередженою на управлінському та організаційному рівнях бізнесу.

Цей підхід діє на високому рівні абстракції і в основному використовується для стратегічного моделювання [36]. Основним елементом є діаграма запасів і потоків. Рівень – це цифрове представлення чогось, що моделюється, наприклад, числа людей, набору вимог або ряду продуктів. Будь-який процес в системній динаміці моделюється як потік проміж запасів. Цей метод найчастіше використовується для моделювання стратегічного управління, маркетингу та макроекономічних проблем, екологічних та соціальних систем. Системна динаміка активно використовує поняття зворотного зв'язку і заснована на диференціальному рівнянні: при кожному моменті часу, потоки визначають проходження визначеної величини змінної

від одного запасу до іншого.

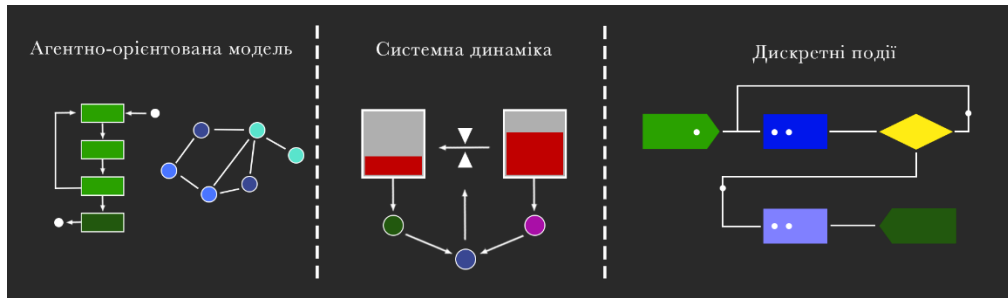


Рисунок 1.6 – Парадигми імітаційного моделювання

Дискретно-подійний метод базується на підході, орієнтованому на процес, таким чином підтримуючи середній та середньо-низький рівень абстракції. У жовтні 1961 р. інженер IBM Джеффри Гордон представив першу версію GPSS (General Purpose Simulation System, originally Gordon's Programmable Simulation System), що вважається першою програмною реалізацією дискретно-подійного моделювання.

Хоча моделювання дискретних подій майже так само старе, як і системна динаміка, але навіть у наші дні моделювання дискретних подій підтримується багатьма програмними засобами. Основною ідеєю дискретно-подійного моделювання є розглядання системи як процесу, тобто, коли послідовність операцій виконується між сутностями [37, 38]. Модель вказується графічно як блок-схема процесу, де блоки представляють операції. Блок-схема зазвичай починається з «вихідних» блоків, які генерують сутності та вводять їх у процес, і закінчується блоками «зливу», які вилучають сутності з моделі. Цей тип діаграм відомий для ділового світу як діаграма процесу і є широко використовуваним для опису бізнес-процесів. Імітаційне дискретно-подійне моделювання широко використовується у виробництві, системах обслуговування та галузі охорони здоров'я.

Моделювання на основі агентів є відносно новим з основних методів моделювання. У 1990-2000 рр. агентне моделювання залишалося суто академічною темою, але ХХІ століття, з його бумом серед можливостей

обробки комп'ютерів, зробило агентне моделювання комерційно придатним для вирішення масштабних ділових завдань. Більш того, порівняно з іншими підходами до моделювання, воно зараз демонструє найшвидший ріст використання.

Агентне моделювання використовує підхід знизу вгору, де система описується як взаємодіючі об'єкти з власною поведінкою. Поведінка системи постає як підсумок індивідуальних дій агентів. Моделі, засновані на агентах, можуть варіюватися від самого детального, де агенти представляють фізичні об'єкти, до дуже абстрактних, де агенти є конкуруючими проектами або активами.

1.5 Постановка задачі дослідження

Дослідження передбачає моделювання процесів постачання вантажів в зону підвищеної небезпеки в умовах загроз, які виникають з особливостей воєнного стану, що сприяє підвищенню рівня готовності гуманітарних організацій до тактичних та оперативних дій у зоні подій.

Гострота вирішення цих питань викликана сучасними реаліями в Україні, ускладненням вирішення питань ефективного матеріально-технічного забезпечення працівників в умовах великої протяжності критичної зони та довготривалих небезпечних подій, збільшення постачань їжі та медикаментів від країн-партнерів з урахуванням логістичних вимог ООН, підвищення успішності логістичних дій держави.

Моделювання дозволить скоротити час реагування, що є надзвичайно важливим у кризових ситуаціях, приймати обґрунтовані рішення щодо підвищення якості матеріально-технічного забезпечення працівників, забезпечити належний рівень гуманітарної підтримки, що, в свою чергу, сприятиме зменшенню втрат серед цивільного населення та пошкодження інфраструктури, знизити кількість помилок під час організації тимчасових

житлових споруд і покращити координацію дій з надання допомоги постраждалим.

Метою дослідження є методи та засоби моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів.

Для досягнення мети необхідно виконати наступні завдання:

Крок 1. Провести аналіз особливостей моделювання процесів транспортування цивільних вантажів.

Крок 2. Розробити агентну імітаційну модель транспортування цивільних вантажів.

Крок 3. Описати механізми моделювання логістичних процесів.

Крок 4. Здійснити програмну реалізацію моделі та провести експериментальні дослідження.

Об'єкт дослідження – процеси транспортної логістики.

Предмет дослідження – методи та засоби моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів.

Основним результатом роботи стане програмне забезпечення для моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів в умовах загроз з метою підвищення якості прийняття рішень щодо процесу доставки цивільних вантажів, можливістю оперувати різними ресурсами цивільного устаткування тощо.

Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у гуманітарних організаціях дозволить підвищити якість прийняття рішень щодо процесу доставки цивільних вантажів, оперувати різними ресурсами цивільного устаткування, проводити налаштування вантажопідйомності для кожного транспортного засобу. Перевагою системи буде стохастичність, що в свою чергу наближає моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів до реальних значень. Деталізація процесів дозволяє проводити більш адекватне відображення станів та дій, які відбуваються у реальній системі.

2 МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ ВАНТАЖІВ

2.1 Транспортна модель ланцюга постачання

Транспортна модель ланцюга постачання фокусується на оптимізації маршрутів перевезення і використанні ресурсів. Вона є важливою для забезпечення ефективного розподілу вантажів і зменшення часу доставки. Ця модель часто передбачає аналіз транспортних вузлів, логістичних коридорів та їх доступності в різних умовах, що є важливим, розглядаючи логістику вантажів під час воєнного стану [39, 40].

Для деталізації транспортної моделі ланцюга постачання математично розглянемо основні концепції та формули, які використовуються для її оптимізації. Така модель ґрунтується на класичних підходах, які включають лінійне програмування та інші оптимізаційні методи.

Для побудови транспортної моделі нам потрібні такі основні елементи:

- пункти відправлення, якими є склади або виробничі підприємства, де зберігається або виробляється вантаж;
- пункти призначення, якими є кінцеві точки доставки вантажу;
- вартість перевезення одиниці вантажу;
- кількість одиниць вантажу, що транспортується.

2.1.1 Математичне обґрунтування задачі

Мета транспортної моделі – мінімізувати загальні витрати на транспортування, які залежать від вартості перевезення та кількості вантажу:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (2.1)$$

де Z – загальні витрати на транспортування;

m і n – кількість пунктів відправлення і призначення відповідно;

i – пункти відправлення;

j – пункти призначення;

c_{ij} – вартість транспортування;

x_{ij} – обсяг вантажу.

Для забезпечення того, щоб перевезення відповідали доступним запасам і задовольняли попит, вводяться такі обмеження:

– обмеження на постачання:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i; \quad \forall i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.2)$$

де S_i – пункт із загальним запасом;

– обмеження на попит:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j; \quad \forall j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.3)$$

де D_j – пункт із потребою;

– невід’ємність:

$$x_{ij} \geq 0; \quad \forall i, j. \quad (2.4)$$

Припустимо, що мається три пункти відправлення A, B, C із запасами S_i та три пункти призначення з попитом. Ілюстрація витрат на транспортування між пунктами показана у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Витрати на транспортування

	Пункт 1 ($D_1 = 30$)	Пункт 2 ($D_2 = 20$)	Пункт 3 ($D_3 = 25$)	Запас (S_i)
A	$C_{A_1} = 8$	$C_{A_2} = 6$	$C_{A_3} = 10$	$S_A = 40$
B	$C_{B_1} = 9$	$C_{B_2} = 12$	$C_{B_3} = 7$	$S_B = 35$
C	$C_{C_1} = 14$	$C_{C_2} = 9$	$C_{C_3} = 8$	$S_C = 30$

2.1.2 Переваги та недоліки моделі

Переваги:

– транспортна модель дає змогу оптимізувати маршрути з урахуванням різних факторів, таких як відстань, затори, ризики, витрати на паливо і час доставки, дозволяючи знизити витрати та підвищити ефективність логістичних операцій, що особливо важливо в умовах нестабільної ситуації та обмеженого доступу до ресурсів;

– модель адаптується до динамічних умов і змінюється в разі блокувань доріг, пошкодження інфраструктури чи інших непередбачуваних обставин, що створює множину альтернативних рішень;

– завдяки оптимізації маршрутів і ефективному управлінню ресурсами, модель дозволяє досягти високої надійності поставок, що важливо для забезпечення постійного потоку критичних ресурсів (продовольства, медикаментів, одягу тощо) до визначених місць;

– модель визначає оптимальну кількість транспортних одиниць і зменшує потребу в додаткових ресурсах, таких як паливо, персонал та інші логістичні витрати;

– може бути адаптована для роботи з різними обсягами вантажів та масштабами ланцюга постачання, що збільшує можливості як для локальної доставки, так і для забезпечення великих регіональних ланцюгів.

Недоліки:

- модель не дозволяє оновлювати дані навколишніх обставин оперативно, що створює невизначеність, яка може призводити до порушень у ланцюгу постачання;
- модель потребує значні витрати для використання різноманітних технологій, зокрема штучного інтелекту, а також утримання персоналу, що, в окремих випадках, робить її не вигідною для використання.

2.2 Модель прогнозування попиту та пропозиції

Модель прогнозування попиту та пропозиції застосовується, коли потрібно точно оцінити кількість ресурсів, необхідних на різних етапах логістики, щоб уникнути дефіциту або надлишку в умовах нестабільного попиту.

В умовах воєнного стану може різко змінитися потреба в продовольчих або медичних постачаннях у певному регіоні. Модель прогнозування дозволяє оцінити ці коливання та забезпечити надійне постачання критичних ресурсів. Прогнози попиту можуть формуватися на основі поточних даних про споживання, демографічні зміни та евакуацію населення.

2.2.1 Математичне обґрунтування задачі

Одними із найпоширеніших підходів для математичного обґрунтування прогнозування попиту та пропозиції є моделі часових рядів і регресійні моделі, які можуть враховувати сезонність, тренди та випадкові коливання в попиті.

Прогнозування попиту може базуватися на таких компонентах:

- трендова складова, яка показує загальну тенденцію зростання або зниження попиту;
- сезонна складова, яка враховує сезонні коливання в даних;

- випадкова складова враховує неочікувані відхилення, які неможливо передбачити;
- циклічна складова є довгостроковими циклами, які можуть впливати на попит.

Цю модель попиту представляють у вигляді мультиплікативної або адитивної комбінації цих компонентів.

Адитивна модель:

$$D_t = T_t + S_t + C_t + E_t. \quad (2.5)$$

Мультиплікативна модель:

$$D_t = T_t \times S_t \times C_t \times E_t, \quad (2.6)$$

де T_t – трендова складова;

S_t – сезонна складова, яка розраховується на основі історичних даних;

C_t – циклічна складова;

E_t – випадкова складова;

D_t – попит в момент часу t .

Для згладжування сезонних і випадкових коливань можна використовувати метод ковзного середнього. Середнє значення попиту за період розраховується за формулою:

$$MA_t = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} D_{t-i}, \quad (2.7)$$

де MA_t – ковзне середнє в момент часу t ;

N – кількість періодів.

Метод експоненційного згладжування враховує минулі значення попиту, надаючи більшу вагу недавнім даним.

$$F_t = \alpha D_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}, \quad (2.8)$$

де F_t – прогнозований попит у момент t ;

D_{t-1} – попит у попередній момент часу;

α – коефіцієнт згладжування (значення $0 < \alpha < 1$).

Для оцінки тренду можна використовувати лінійну регресію. Попит D_t у момент часу t можна виразити як:

$$D_t = a + bt, \quad (2.9)$$

де a – перехоплення, яке відповідає прогнозованому значенню попиту при $t = 0$;

b – коефіцієнт нахилу (швидкість зростання або зниження попиту).

Коефіцієнти a і b знаходяться за допомогою методу найменших квадратів.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})(D_i - \bar{D})}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}, \quad (2.10)$$

$$a = \bar{D} - b \times \bar{t}, \quad (2.11)$$

де \bar{t} і \bar{D} – середні значення часу та попиту відповідно.

Як працює модель прогнозування показано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані про попит у певному регіоні

Рік	Квартал	Фактичний попит D_t	Тренд T_t	Сезонність S_t	Прогноз $F_t = T_t \times S_t$
2023	Q1	100	90	1,2	108
2023	Q2	110	95	1,1	104,5
2023	Q3	95	88	0,9	79,2
2023	Q4	85	80	0,85	68

2.2.2 Переваги та недоліки моделі

Переваги:

- модель дозволяє передбачити, скільки ресурсів знадобиться для забезпечення попиту на конкретний період, мінімізуючи ризик недостачі або надлишку, що допомагає ефективно управляти запасами та забезпечити своєчасне постачання;

- завдяки обробці історичних даних і тенденцій, модель дозволяє створювати точні прогнози, які покращують планування операцій, що знижує випадки раптових замовлень або збоїв у ланцюзі постачання через непередбачені потреби;

- модель дозволяє оперативно коригувати прогнози у разі зміни обставин, таких як підвищений попит на критичні ресурси, що показує її адаптивність.

Недоліки:

- надійність прогнозів значно залежить від точності вихідних даних, оскільки неповні або неточні дані можуть призвести до помилкових прогнозів, що викликає збої у постачанні та неправильне використання ресурсів;

- розробка і підтримка надійної моделі прогнозування потребують інвестицій у технології, дані та кваліфікований персонал, що може створювати додаткове фінансове навантаження на організацію, особливо, якщо зміни у попиті є нестабільними;

- організації можуть покладатися на модель як на єдине джерело планування, що призводить до ризику надмірної залежності від прогнозів, тому відсутність альтернативних сценаріїв для різних варіантів попиту може зробити систему менш стійкою до відхилень.

2.3 Модель управління запасами

Для моделі управління запасами найголовнішим пріоритетом є слідкування за стабільною наявністю товарів і ресурсів у логістичному ланцюзі, враховуючи оптимальний рівень запасів та поповнення, щоб уникнути як дефіциту, так і надлишку.

2.3.1 Стратегії управління запасами

Перша стратегія – це стратегія мінімального та максимального рівнів запасів (Min-Max Policy). Відстежується показники запасів, а коли їх значення досягає мінімуму, здійснюється поповнення до максимального рівня. Це дозволяє автоматизувати процес поповнення, забезпечуючи ефективний контроль обсягу резервів.

Друга стратегія – це замовлення з фіксованим інтервалом часу (Periodic Review). На відміну від першого способу, запаси переглядаються через регулярні проміжки часу, наприклад, щотижня або щомісяця та поповнюються до певного рівня, визначеного на основі прогнозу попиту. Цей метод корисний у випадках, коли неможливо постійно контролювати рівень резервів.

Третя стратегія – це система із фіксованою кількістю замовлення (Fixed Order). У цій системі кожного разу, при досягненні точки замовлення, розміщується фіксоване замовлення визначеного розміру. Це підходить для товарів із передбачуваним попитом, забезпечуючи регулярні поставки та знижуючи коливання рівня запасів.

Порівняльна характеристика розглянутих стратегій управління запасами показана у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння трьох ключових стратегій

Характеристика	Min-Max Policy	Periodic Review System	Fixed Order Quantity
Принцип роботи	Замовлення при досягненні мінімуму резервів	Замовлення на поповнення через фіксовані інтервали часу	Замовлення фіксованого обсягу при досягненні точки замовлення
Періодичність поповнення	Нерегулярна, залежить від досягнення мінімального рівня	Регулярна, наприклад, щотижня або щомісяця	Нерегулярна, залежить від попиту та споживання
Розмір замовлення	Змінний, залежно від обсягу, потрібного для досягнення максимального рівня	Змінний, визначається потребами в момент огляду	Фіксований, заздалегідь визначений
Рівень запасів	Контроль у межах мінімуму і максимуму	Контроль у межах середнього рівня з урахуванням варіацій попиту	Підтримується в межах точки замовлення
Затрати на управління	Середні – потребує налаштування мінімальних і максимальних значень	Низькі, особливо коли запаси не критичні	Високі – потребує точного обліку точки замовлення та безпечного запасу
Ризик дефіциту	Середній – залежить від встановлених мінімальних рівнів	Середній – може бути високим у випадках непередбачуваного попиту між оглядами	Низький – за рахунок регулярного поповнення після досягнення точки замовлення

Продовження таблиці 2.3

Вимоги до моніторингу	Середній за регулярністю облік запасів	Низькі – лише на момент огляду	Високі – потребує постійного контролю точки замовлення
Застосування	Товари з передбачуваним рівнем споживання та відносно стабільним попитом	Товари з помірною чутливістю до попиту та регулярною потребою	Високочутливі товари з передбачуваним і стабільним попитом
Переваги	Гнучкість у підтримці потрібного рівня запасів; економія ресурсів на замовлення	Простота управління, особливо для низькочутливих товарів	Забезпечення стабільності запасів при високому рівні надійності
Недоліки	Можливий надлишок або дефіцит запасів; вимагає ретельного налаштування	Може призвести до дефіциту між оглядами в умовах нестабільного попиту	Високі витрати на управління, складність для товарів зі змінним попитом

2.3.2 Математичне обґрунтування задачі

Рівень запасів, при якому запускається процес поповнення обчислюється на основі часу доставки та середнього споживання. Формула точки замовлення виглядає так:

$$ROP = d \times L, \quad (2.12)$$

де ROP – точка замовлення;

d – середнє щоденне споживання;

L – час виконання замовлення в днях.

Оптимальний розмір замовлення використовується для визначення його обсягу, який забезпечує баланс між витратами на замовлення та витратами на зберігання:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}, \quad (2.13)$$

де EOQ – оптимальний розмір замовлення;

D – річний попит;

S – витрати на замовлення за одну партію;

H – витрати на зберігання одиниці товару на рік.

Безпечний або буферний запас покликаний покривати коливання у попиті та затримки постачання. Розраховується для забезпечення надійності ланцюга поставок і зниження ризику дефіциту.

$$SS = Z \times \sigma_L, \quad (2.14)$$

де SS – безпечний запас;

Z – обране значення рівня сервісу;

σ_L – стандартне відхилення попиту під час часу виконання замовлення.

Загальні витрати управління запасами включають витрати на замовлення і витрати на зберігання. Формула загальних витрат виглядає так:

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H, \quad (2.15)$$

де TC – загальні річні витрати на управління запасами;

Q – обсяг одного замовлення;

$\frac{D}{Q}$ – кількість замовлень на рік.

Для ефективного управління запасами важливо вести облік рівнів запасів, часу виконання та обсягів замовлень, що показано у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Контроль запасів

Товар	Річний попит (D)	Оптимальний розмір замовлення (EOQ)	Точка замовлення (ROP)	Безпечний запас (SS)	Витрати на зберігання (H)	Витрати на замовлення (S)
Товар А	5000	200	150	50	\$5	\$100
Товар В	3000	150	100	30	\$4	\$80

2.3.3 Переваги та недоліки моделі

Переваги:

- знижує витрати на зберігання та замовлення, допомагає уникнути надлишкових запасів;
- забезпечує постійне постачання без перебоїв;
- безпечний запас знижує ймовірність дефіциту у разі затримок.

Недоліки:

- при непередбачуваних змінах у попиті, може підвищитись складність прогнозування;
- потребує регулярного моніторингу та обліку, що вимагає ресурсів;
- висока залежність від стабільного виконання замовлень постачальниками.

2.4 Порівняльна характеристика трьох розглянутих моделей

Для порівняння трьох розглянутих моделей логістики треба звернути увагу на ключові аспекти: цілі, ефективність, витрати, гнучкість і практичне застосування. Це дозволить вибрати найоптимальнішу модель для задач логістики в умовах воєнного стану. Порівняння зображено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняльна характеристика моделей логістики

Характеристика	Транспортна модель ланцюга постачання	Модель прогнозування попиту та пропозиції	Модель управління запасами
Основна мета	Оптимізація маршрутів і мінімізація витрат на транспортування	Прогнозування попиту та коригування обсягів пропозиції для відповідності потребам	Забезпечення наявності запасів для уникнення дефіциту та надлишку
Використані ресурси	Транспортні засоби, маршрути, витрати на транспортування	Дані про попит, алгоритми прогнозування, ресурси для оцінки впливу факторів	Складські площі, витрати на зберігання, дані про попит і час доставки
Ключові змінні	Обсяги вантажів, відстані, час доставки, витрати	Історичний попит, фактори сезонності, рівень запасів, динаміка постачань	Рівень запасів, точка замовлення, безпечний запас, обсяг замовлення (<i>EOQ</i>)
Формули для розрахунку	Лінійні або нелінійні рівняння для мінімізації витрат і часу на маршрутах	Прогнозні моделі (лінійна регресія, <i>ARIMA</i>) для аналізу змінних попиту	<i>EOQ</i> , <i>ROP</i> та <i>SS</i> для визначення оптимального рівня запасів

Продовження таблиці 2.5

Тип прийняття рішень	Базується на статичних і динамічних моделях, які враховують зміни маршрутів і попиту	Базується на аналізі даних і прогнозах для попиту, що дозволяє налаштувати виробництво та постачання	Орієнтоване на визначення обсягу та моменту поповнення запасів
Ефективність у кризових умовах	Середній рівень оптимізації витрат на маршрути, але обмежена у випадках блокування маршрутів	Високий рівень передбачення зміни в попиті й підготовка до неї	Високий рівень підтримки кількості запасів у ситуаціях нестабільних поставок
Ключовий інструмент	Математичні моделі оптимізації транспортних витрат	Методи прогнозування, такі як лінійна регресія або машинне навчання	Моделі для обчислення <i>EOQ</i> , <i>ROP</i> , <i>SS</i>
Переваги	Мінімізація витрат на транспортування, часу доставки та оптимізація використання ресурсів	Зменшує ризик дефіциту або надлишку запасів та підтримує планування виробництва та постачання	Оптимізує рівень запасів і витрати на їх утримання та запобігає дефіциту запасів
Недоліки	Складність врахування змін у маршрутах та у непередбачуваних обставинах. Потребує значних витрат для розробки точних моделей попиту	Вимагає постійного моніторингу рівня запасів і витрат. Залежність від точності прогнозів	Автономність роботи

Різницю витрат, які вимагають моделі показано у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняння витрат

Вид витрат	Транспортна модель	Модель прогнозування	Модель управління запасами
Витрати на транспортування	Мінімізація витрат через оптимізацію маршрутів	Мінімальні, якщо попит точний і стабільний	Залежить від рівня запасів
Витрати на зберігання	Високі	Мінімальні, залежить від попиту	Низькі
Витрати на прогнозування	Високі	Високі	Середні
Витрати на управління запасами	Високі	Середні	Високі

Провівши дослідження трьох моделей логістики, можна дійти висновку, що оптимальною для умов воєнного стану є модель управління запасами. Це обумовлено її високою здатністю забезпечувати надійний рівень запасів і запобігати дефіциту в умовах нестабільності постачань. При ефективному використанні безпечного запасу, оптимального розміру замовлення (EOQ) і точки замовлення (ROP) ця модель допомагає утримувати необхідні запаси для задоволення раптово змінених потреб. На відміну від моделей транспортного ланцюга та прогнозування попиту, модель управління запасами здатна швидше реагувати на раптові зміни постачань і критичні затримки.

У даній роботі буде моделюватися ланцюг поставок гуманітарних вантажів для цивільного населення. Логістичний ланцюг постачання буде складатись з одного або декількох дистриб'юторських центрів на західній Україні, кількох складів в містах країни, де є потрібність в доставленні цивільних вантажів та кінцевих споживачів біля зони підвищеної небезпеки. Склади замовляють доставку вантажів, а дистриб'ютор надсилає до складів. Робітники служб замовляють доставку вантажів, а транспортні засоби доставляють необхідні товари робітникам: продукти харчування, медикаменти, одяг.

Структура агентної імітаційної моделі в поєднанні з моделлю управління запасами (рис. 2.1).

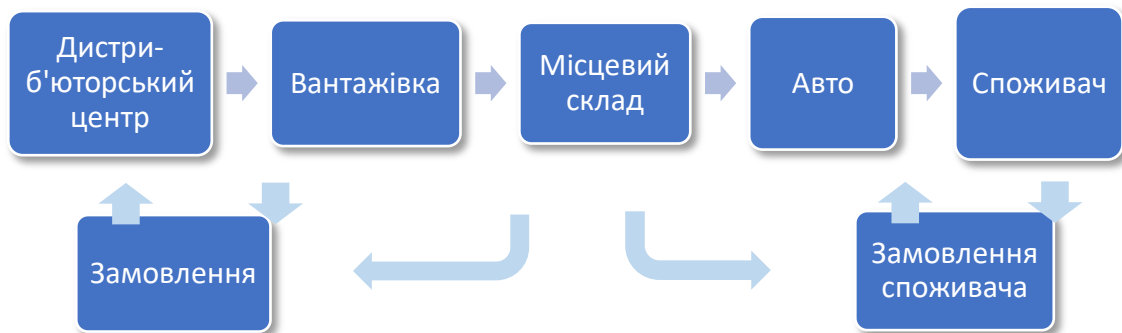


Рисунок 2.1 – Структура агентної імітаційної моделі

Агенти будуть розміщені на ГІС-карті. Вона забезпечує реалістичне відображення дистриб'юторських центрів, складів, зон підвищеної небезпеки та ключових маршрутів, які використовуються для доставки. Це дозволяє аналітикам чітко бачити мережу постачання, швидко оцінювати місцезнаходження ресурсів і коригувати шляхи при зміні умов. Завдяки ГІС-карті можна отримувати інформацію про реальні дороги, включаючи їх ширину, тип покриття.

Коли склад або команда працівників запитує товар, розподільний центр або локальний склад починає його обробку та відправляє транспорт для доставки вантажів, якщо на складі в наявності товар у необхідній кількості. Потім ця вантажівка повинна повернутися на своє базове місце. По дорогах реальної транспортної інфраструктури на карті рухаються вантажівки. Кожен транспортний засіб має GPS-трекери, що дозволяє моніторити його місцезнаходження в реальному часі. Усі дані про виконані рейси, пройдений кілометраж, витрати пального та час у дорозі записуються в систему, що дозволяє відслідковувати ефективність використання ресурсів і планувати майбутні рейси з урахуванням накопиченого досвіду.

Для моделювання використовується агентний та дискретно-подійний підходи, які досить часто використовуються у моделюванні транспортних

систем. Їх застосування дозволяє створювати реалістичну симуляцію поведінки різних учасників логістичного процесу. Агентний підхід моделює кожен компонент системи як незалежного агента зі своїми параметрами, цілями та правилами поведінки. Це дозволяє деталізувати взаємодію між транспортними засобами, складами, розподільними центрами та споживачами. З іншого боку, дискретно-подійний підхід дозволяє моделювати ключові події, такі як надходження замовлення, початок завантаження товарів або відправлення транспорту, у вигляді послідовних дій. Це особливо корисно для управління часом, розрахунку затримок та обчислення продуктивності на кожному етапі ланцюга постачання. Об'єднання цих підходів дозволяє створити інтегровану систему, яка не лише моделює загальний процес, але й враховує індивідуальні характеристики кожного елемента.

У моделі буде передбачено автоматичний розрахунок кількох альтернативних маршрутів для доставки вантажів. Це важливо, оскільки в умовах воєнного стану деякі маршрути можуть стати недоступними. Вибір маршруту здійснюватиметься на основі трьох критеріїв: час доставки, витрати на транспортування та рівень безпеки, оцінений для кожного маршруту.

Для забезпечення безперервності процесу постачання створено механізм динамічного перерозподілу транспортних засобів залежно від поточних потреб. У моделі кожен склад і дистриб'юторський центр має доступ до спільного пулу транспортних ресурсів, які можуть бути оперативно спрямовані до місця з найбільшою потребою (рис. 2.2).

З метою уникнення дефіциту на складах запроваджується концепція «резервних запасів», що включають критично важливі товари, такі як ліки та харчові продукти з тривалим терміном зберігання. Резервні запаси будуть контролюватися через спеціальну систему моніторингу, яка сигналізує про необхідність поповнення запасів у разі різкого зростання запитів від кінцевих споживачів.

Окрім ГІС-системи, що використовується для візуалізації, у модель інтегровано аналітичний модуль на базі прогностичної аналітики. Цей модуль

дозволяє оцінити можливі сценарії зміни попиту залежно від геополітичних факторів і, відповідно, коригувати ланцюг постачання. Це допоможе попередньо підготувати запаси та маршрути для найбільш вірогідних сценаріїв розвитку подій. Сучасні алгоритми машинного навчання дозволяють системі навчатися на історичних даних та швидко коригувати свої прогнози. Наприклад, застосування моделей на основі випадкових лісів або нейронних мереж допомагає враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між змінними. Це забезпечує гнучкість і точність у прогнозах, навіть у випадках, коли існують різкі зміни в потребах або порушення в інфраструктурі.

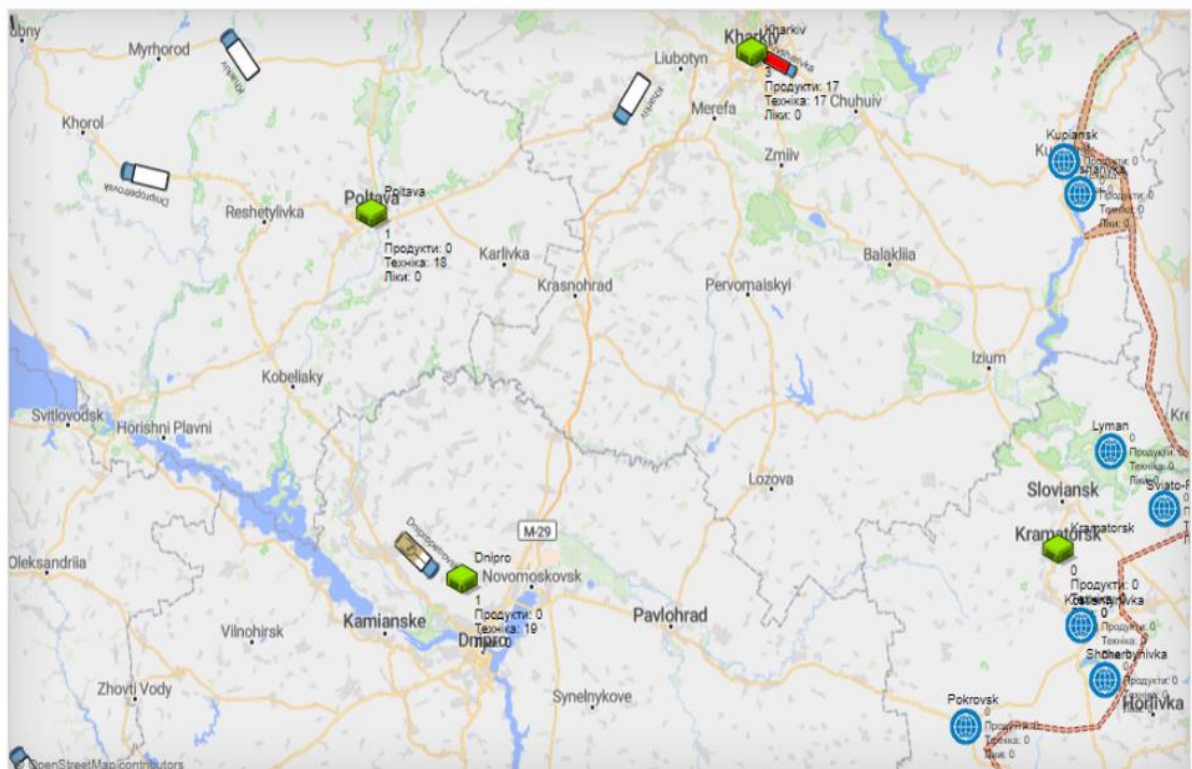


Рисунок 2.2 – Моделювання ланцюгу постачання вантажів
в умовах воєнного стану

3 РОЗРОБКА ЛОГІКИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЛОГІСТИКИ ГУМАНІТАРНИХ ВАНТАЖІВ

3.1 Обґрунтування вибору середовища програмної реалізації

В даній роботі проєкт буде розроблятися в середовищі для імітаційного моделювання, який має назву AnyLogic. Вибір було зроблено після дослідження аналогічних систем, таких як: Arena та Simul8

3.1.1 Програмне середовище Arena

Arena – це потужне середовище для імітаційного моделювання, яке використовується для моделювання бізнес-процесів, виробництва, логістики та інших систем. Arena орієнтована на дискретно-подійне моделювання, що робить її особливо ефективною для аналізу подій у виробничих та логістичних процесах.

Переваги використання:

- має простий у використанні графічний інтерфейс, що дозволяє швидко будувати моделі;
- пропонує велику кількість готових блоків для моделювання стандартних процесів, що значно полегшує створення складних моделей;
- підтримує імпорт та експорт даних з інших систем, що спрощує роботу з великими обсягами інформації.

Недоліки використання:

- основний акцент зроблено на дискретно-подійному моделюванні, що робить її менш підходящою для складних агентних моделей;
- дорогий продукт, що може бути обмежуючим фактором для малих організацій або дослідницьких проєктів з обмеженим бюджетом;

– не забезпечує такого гнучкого та реалістичного відображення моделей, що може бути критичним у випадках, де важлива деталізація.

3.1.2 Програмне середовище Simul8

Simul8 – це інше програмне середовище для імітаційного моделювання, яке підходить для моделювання операційних та логістичних процесів.

Переваги використання:

- має простий інтерфейс, що дозволяє швидко будувати моделі навіть новачкам у моделюванні;
- добре підходить для швидкого моделювання процесів і аналізу, особливо в межах обмежених логістичних та виробничих операцій;
- є доступним за ціною, що робить його привабливим варіантом для малого бізнесу або академічного використання.

Недоліки використання:

- орієнтований переважно на дискретно-подійне моделювання і має обмежені можливості для агентних моделей;
- має меншу гнучкість при інтеграції з іншими програмами та системами даних;
- погано підходить для завдань, де важлива просторово-географічна прив'язка об'єктів, таких як логістика з ГІС-картами.

3.1.3 Програмне середовище AnyLogic

AnyLogic – це універсальне середовище, що дає можливість поєднувати різні методи моделювання.

Переваги:

- підтримує агентне, дискретно-подійне та системно-динамічне моделювання, що дозволяє застосовувати кілька підходів в одній моделі і є особливо корисним для складних логістичних систем;
- забезпечує ефективну роботу з геоінформаційними системами, що дозволяє використовувати реальні карти та інфраструктуру для моделювання руху транспорту;
- можна створювати різні типи агентів зі своїми унікальними параметрами та поведінкою, що забезпечує високу деталізацію моделі;
- забезпечує гнучке та реалістичне візуальне представлення моделей, що дозволяє побачити всі етапи роботи логістичного ланцюга, оцінити маршрути та інфраструктуру.

Недоліки:

- моделі, створені в AnyLogic часто вимагають значних обчислювальних ресурсів;
- для інтеграції з великими корпоративними системами можуть знадобитися додаткові налаштування, що може ускладнити використання моделі в реальних умовах або під час оперативного оновлення даних.

AnyLogic пропонує універсальні інструменти для моделювання, однак у ньому може не вистачати спеціалізованих шаблонів для конкретних галузей.

3.1.4 Підсумок порівняння середовищ

Головні аспекти, які вплинули на вибір програмного середовища показано у таблиці 3.1.

Висока гнучкість, потужна візуалізація, підтримка декількох методів моделювання та інтеграція з ГІС роблять AnyLogic найкращим варіантом для моделювання логістики в умовах воєнного стану, де важливо враховувати як складні маршрути, так і змінювані запити на доставку.

Таблиця 3.1 – Демонстрація та порівняння головних аспектів програмних середовищ

Характеристика	AnyLogic	Arena	Simul8
Підходи до моделювання	Агентне, дискр-подійне	Дискретно-подійне	Дискретно-подійне
Інтеграція з ГІС	Так	Ні	Обмежена
Візуалізація	Потужна, реалістична	Обмежена	Мінімальна
Ціна	Висока	Висока	Доступна
Сфера застосування	Логістика, транспорт, системи підтримки рішень	Виробництво, бізнес-процеси	Операційні процеси
Підтримка агентного моделювання	Так	Обмежена	Обмежена

3.2 Програмна реалізація

Для детального опису програмної логіки моделі в середовищі AnyLogic розглянемо послідовність дій і обробку взаємодії між агентами. Модель імітує ланцюг постачання гуманітарних вантажів, у якому ключові учасники, такі як дистриб'юторські центри, склади, транспортні засоби та кінцеві споживачі, мають свої ролі, алгоритми та взаємодії. Логіка моделі складається з таких основних етапів: прийняття запиту, обробка замовлення, визначення оптимального маршруту, доставка вантажу і оновлення запасів.

Споживачі, зокрема лікарні, волонтерські організації або місцеві склади в зонах підвищеної небезпеки, генерують запити на товари. Запит формується як подія, що активується залежно від поточних запасів, часу та рівня потреб у певному регіоні. Кожен запит включає такі параметри:

- тип вантажу;

- необхідний обсяг;
- адреса доставки.

Запит надходить до найближчого складу або дистриб'юторського центру. Якщо центр або склад має достатню кількість товарів, запит приймається на обробку, якщо ні – він перенаправляється на інший склад або формується заявка на поповнення запасів у дистриб'юторському центрі.

Далі задіюється дискретно-подійна логіка для управління обробкою запиту. Подія обробки активується після підтвердження запиту. На складі фіксується новий рівень запасів після резервування товарів для поточного замовлення, і система переходить до етапу вибору оптимального маршруту.

Одним із ключових аспектів моделі є оптимізація маршруту для доставки. Використовуючи інтеграцію з ГІС, транспортний агент вибирає найкоротший та найбезпечніший маршрут з урахуванням стану доріг і зон підвищеної небезпеки. ГІС дозволяє враховувати такі параметри:

- відстань між точками;
- доступність доріг;
- рівень ризику на маршруті.

При визначенні маршруту застосовується алгоритм пошуку найкоротшого шляху. У випадку, якщо маршрут стає недоступним у процесі доставки, система активує подію повторного розрахунку маршруту. Логіка доставки побудована на агентному підході, де кожен транспортний засіб є незалежним агентом зі своїми правилами поведінки. Коли агент транспорту досягає кінцевого пункту, автоматично активується подія розвантаження, а замовлення вважається завершеним.

Після завершення доставки логіка моделі передбачає оновлення запасів на складі і реєстрацію даних про успішно виконані замовлення. Відповідно до кількості відвантажених товарів, система зменшує запаси в дистриб'юторському центрі або на складі. Якщо рівень запасів падає до мінімального, автоматично генерується запит на поповнення. У цій частині застосовується дискретно-подійний підхід для реєстрації нових подій

поповнення запасів, а також оновлення даних у базі моделі. Інформація про доставку та залишки товарів автоматично записується в систему, що дозволяє здійснювати аналіз і виявляти можливі затримки в доставці.

Логіка моделі передбачає прогнозування попиту на вантажі з урахуванням історичних даних. Цей компонент дозволяє оцінювати тенденції та реагувати на потенційні коливання потреб. Наприклад, у випадку сезонного зростання попиту на харчові продукти або медикаменти система може заздалегідь підготувати запаси та забезпечити їх своєчасне поповнення.

Також система відслідковує обігу транспорту і підготовки до наступної доставки. Після повернення транспортний засіб відмічається як «доступний» для нових замовлень.

Після кожного циклу доставки система зберігає дані про виконані маршрути, витрати ресурсів та затримки. Ці дані аналізуються для виявлення слабких місць і підвищення ефективності моделі. Використовуючи статистичні функції в AnyLogic, система автоматично формує звіти.

3.3 Інструкція користувача

З даною моделлю можна працювати двома способами. Перший спосіб – це отримати доступ від розробника до проєкту в AnyLogic. Другий спосіб – отримати експортовану модель, яка буде працювати незалежно від програмного середовища, але можливості для експериментів дещо зменшаться.

Перелік значень та функцій, які можна задавати для моделювання множини альтернативних подій:

- початковий рівень запасів на складах і дистриб'юторських центрах;
- критичний рівень запасів, при якому генерується запит на поповнення;

- обсяг поповнення запасів, залежно від потреби або сезонних коливань;
- інтервали між запитами для кожного споживача;
- зміна частоти запитів залежно від кризових обставин або підвищеного попиту;
- категорії товарів, які потребують доставки.

Для початку моделювання необхідно ввести необхідні значення та натиснути клавішу «запуск оптимізації».

3.4 Тестування розробленої моделі

Для відображення завантаженості автопарку було створено часовий графік, який є ключовим інструментом для аналізу ефективності використання транспортних засобів у моделі (рис. 3.1). Він дозволяє візуально відстежувати зайнятість кожного транспортного агента протягом часу, оцінювати частоту виконання завдань, аналізувати періоди простою та визначати можливі вузькі місця в логістичному ланцюзі. Це допомагає оптимізувати використання автопарку, знижувати витрати та забезпечувати швидку та надійну доставку вантажів в умовах воєнного стану.

Далі додається діаграма, яка буде відображати динаміку товарів на центральному складі, враховуючи замовлення (рис. 3.2). Вона є важливим інструментом для моніторингу рівня запасів, аналізу попиту та прийняття рішень щодо поповнення резервів. Діаграма дозволяє візуально відстежувати коливання кількості товарів у центральному складі залежно від надходження замовлень і виконання поставок. Її аналіз також визначає пікові періоди попиту.

Крім того, відобразимо стовпчиковою діаграмою поточне значення відвантаження за кожною категорією товарів. Вона забезпечує наочне відображення обсягів відвантаження для кожної категорії товарів, що дає

можливість чіткіше оцінити попит на продукцію. Діаграма сприяє визначенню які товари користуються найбільшим попитом, а які мають стабільні продажі. Подібний аналіз є надзвичайно важливим в умовах обмежених ресурсів та постійних змін у запитах. На останок, діаграма допомагає більш точно контролювати товарні потоки та приймати інформовані рішення щодо управління запасами і логістичними процесами.

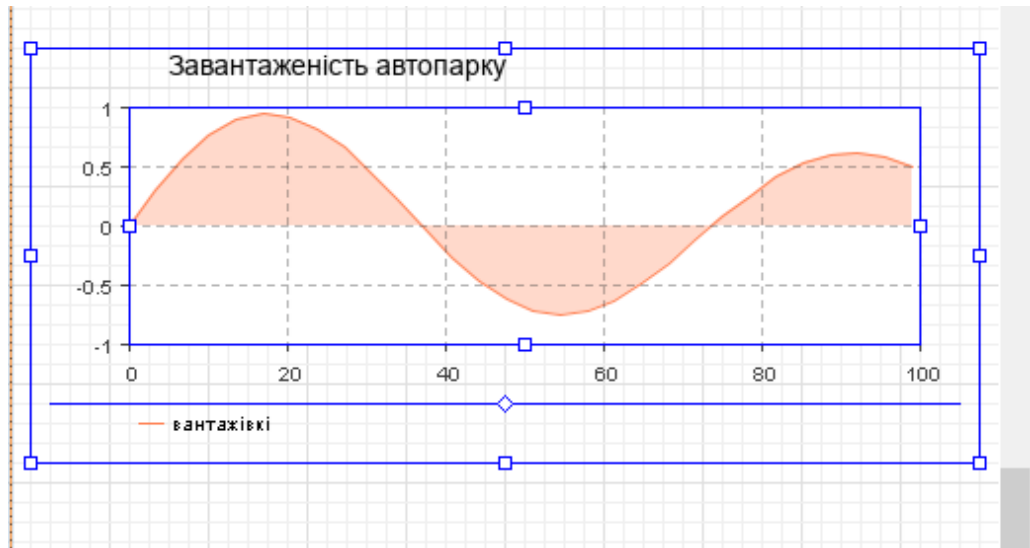


Рисунок 3.1 – Діаграма для відображення завантаженості автопарку

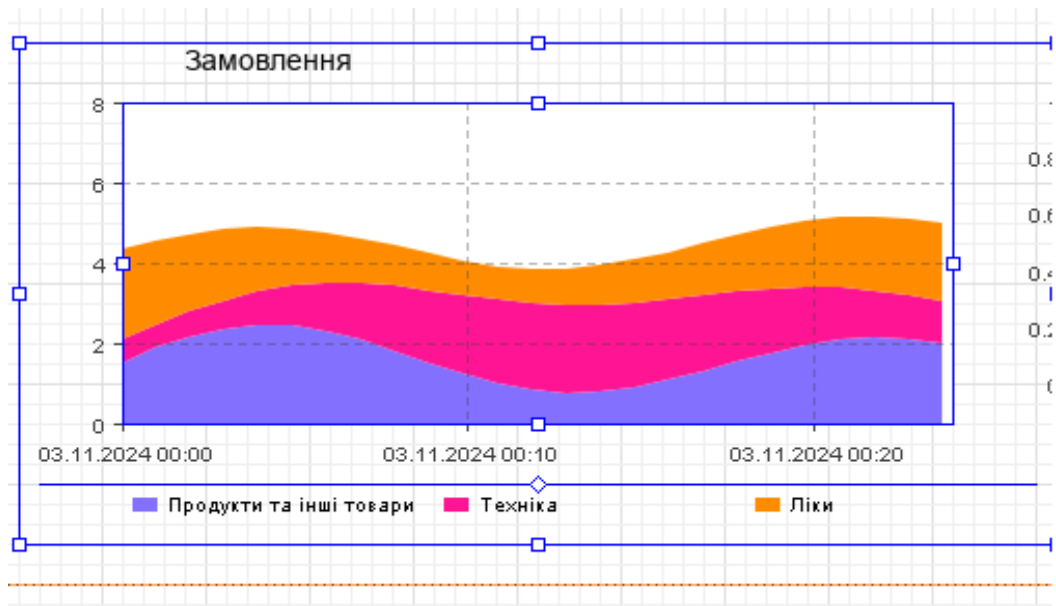


Рисунок 3.2 – Діаграма для відображення динаміки товарів в центральному складі

Для того, щоб динамічно формувати діаграму кількості рейсів до складів можна вручну ввести команду та відобразити стовпчикову діаграму (рис. 3.3). Однією з ключових її переваг є можливість використання в реальному часі протягом моделювання. Це дозволяє відстежувати як саме логістична система реагує на різкі зміни в області доставки, наприклад, у випадку блокування певних маршрутів або збільшення попиту в певному регіоні. Можна спостерігати як змінюється кількість рейсів до кожного складу в залежності від нових умов, що в результаті демонструє різні сценарії та передбачає наскільки ефективно логістична система здатна адаптуватися до змін (рис. 3.4).

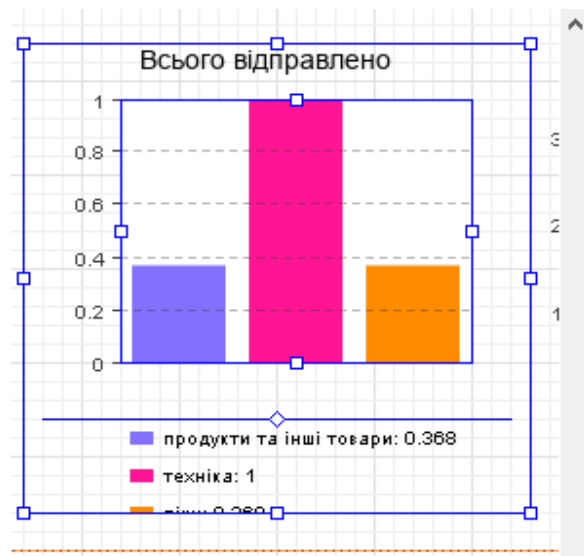


Рисунок 3.3 – Поточне значення відвантаження за кожною категорією товарів

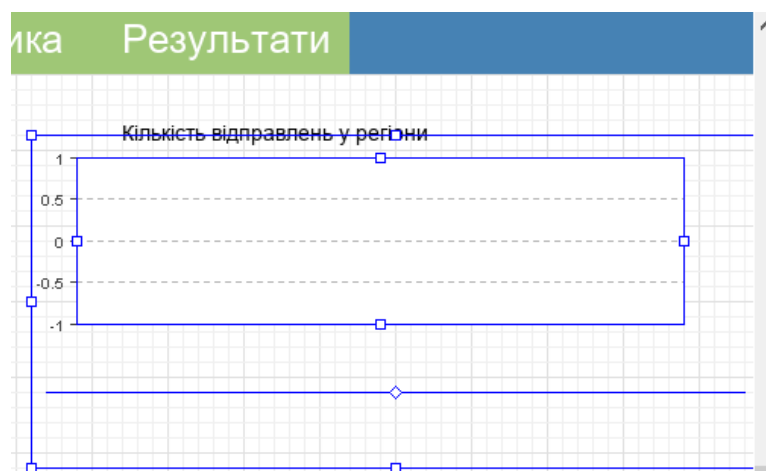


Рисунок 3.4 – Діаграма кількості поїздок до складів у регіони

Завдяки накопиченню необхідної інформації про виконання замовлень таких, як початок та фактичний час виконання, є можливість сформувати гістограму розподілу часу очікування замовлень кінцевими споживачами (рис. 3.5). Гістограма є важливим інструментом для аналізу ефективності логістичної моделі, оскільки дозволяє візуально оцінити скільки часу споживачі очікують на отримання замовлень. Вона допомагає виявити тенденції та проблеми у процесі доставки, а також оптимізувати роботу транспортних засобів та складів для зменшення часу очікування, що є критично важливим у кризових умовах. Висота кожного стовпчика на гістограмі відображає частоту випадків певного часу очікування.

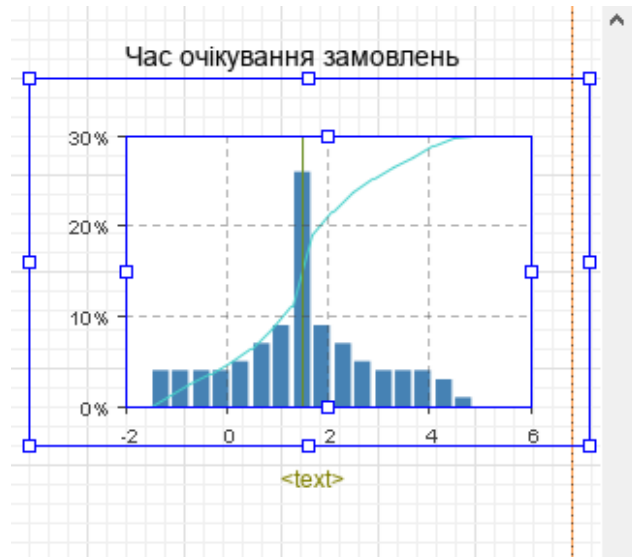


Рисунок 3.5 – Гістограма часу очікування замовлень

Далі розглянуто постачання трьох типів товарів: продукти, медикаменти та техніка і це демонструє кругова діаграма, що буде відображати кількість отриманих товарів кожного типу (рис. 3.6). Ця діаграма є наочним інструментом, який дозволяє швидко оцінити пропорційне співвідношення між різними категоріями товарів у загальному обсязі постачання. Вона допомагає аналізувати пріоритети постачання, виявляти домінуючі типи вантажів і приймати обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів в умовах обмежених запасів та змінних потреб.

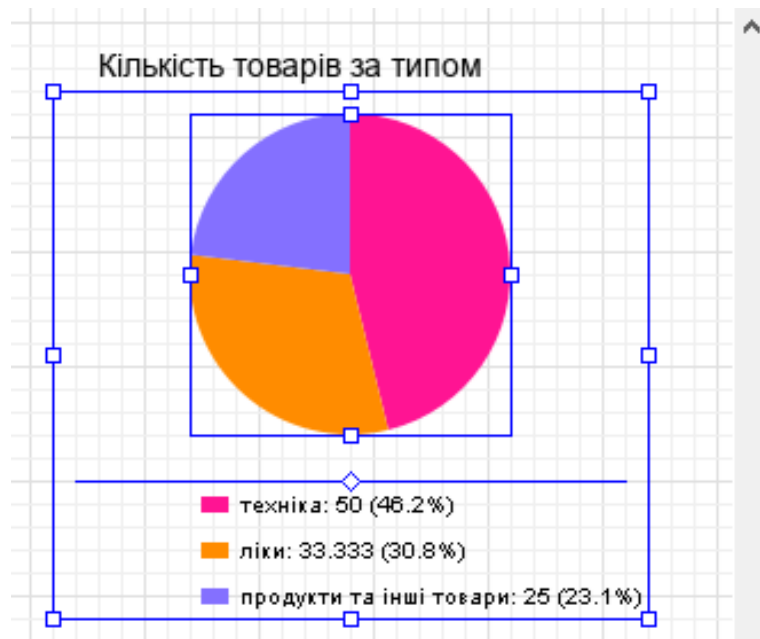


Рисунок 3.6 – Діаграма складу товарів кожного типу

Динаміку отриманих та відвантажених споживачам товарів кожного типу демонструє наступна діаграма. Вона дозволяє спостерігати за змінами в обсягах надходження товарів на склад та їх подальшого розподілу до кінцевих споживачів. Ця діаграма є важливим інструментом для розуміння ефективності логістичних процесів і дозволяє виявляти проблеми або збої в управлінні запасами, що можуть виникнути в умовах непередбачуваних змін, таких як воєнні дії або інші форс-мажорні обставини. Однією з основних причин різкого збільшення обсягів отриманих товарів може бути надходження гуманітарних вантажів або постачання, що здійснюються в рамках урядових ініціатив. У випадку воєнного стану, коли потреби в товарах таких, як медикаменти, продукти харчування або технічне обладнання, значно зростають, постачальники можуть збільшити обсяги поставок. Якщо постачальник або країна-імпортер вирішує провести стратегічне поповнення резервів для забезпечення стабільності в умовах нестабільного попиту, це також може призвести до різкого збільшення обсягів отриманих товарів.

Далі було ілюстровано взаємодію та залежність параметрів завантаженості автопарку і гістограми часу очікування замовлень. Її основне призначення – показати як високі або низькі рівні завантаження автопарку

впливають на ефективність виконання замовлень і наскільки швидко вони виконуються. Оскільки ефективність доставки товарів і виконання замовлень напряму залежить від завантаженості транспорту, моніторинг і аналіз цих параметрів дозволяє точніше прогнозувати необхідні ресурси для виконання поточних та майбутніх замовлень. Крім того, така діаграма дає змогу виявити проблеми з логістичними ланцюгами такі, як перенавантаження автопарку або недостатню кількість транспорту для виконання певної кількості замовлень. Коли автопарк знаходиться в стані високої завантаженості, це означає, що більша частина транспорту вже задіяна для доставки поточних замовлень. Якщо кількість доступних одиниць транспорту обмежена, а кількість замовлень зростає, час очікування також збільшується (рис. 3.7). Це може бути особливо помітно в умовах воєнного стану, коли зростає потреба у швидкому перевезенні товарів, а ресурси (автомобілі, водії) обмежені. Для того, щоб подолати пікові навантаження система аналізує кількість резервного транспорту, яка має бути на обліку та, коли необхідна, задіяна (рис. 3.8).

Правильний підхід до визначення цієї кількості ґрунтується на кількох факторах, які варто врахувати для досягнення оптимального балансу між ефективністю та економічністю:

- оцінюється середній рівень завантаженості основного автопарку;
- резервний транспорт має бути відповідним за типом і вантажопідйомністю до основного автопарку, оскільки не завжди можна замінити вантажівку пікапом чи легковим автомобілем;
- враховуються витрати на утримання резервного транспорту;
- відбувається моделювання, спираючись на теорію масового обслуговування.

Підводячи підсумок, можна сказати, що правильне визначення кількості резервного транспорту є важливим кроком для забезпечення стабільності і гнучкості логістичних операцій.

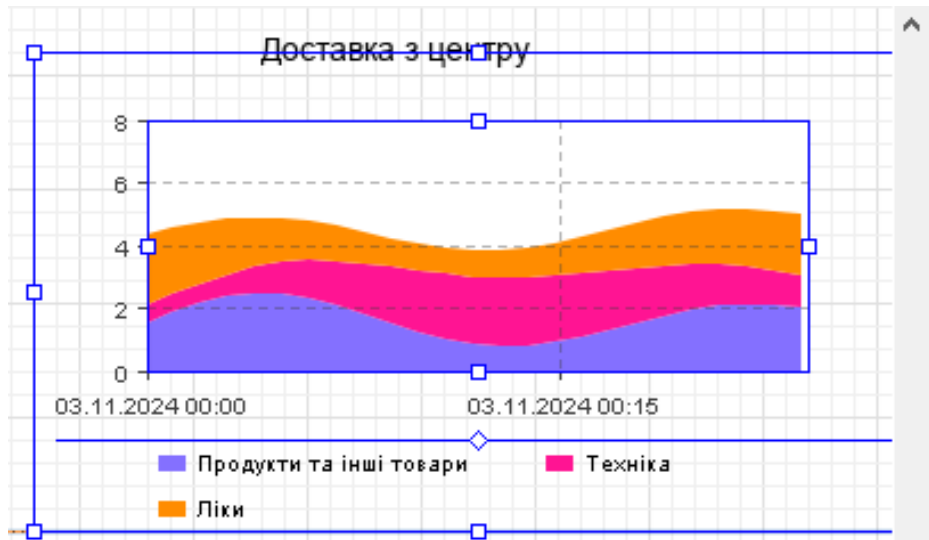


Рисунок 3.7 – Динаміка доставки та відвантаження товарів

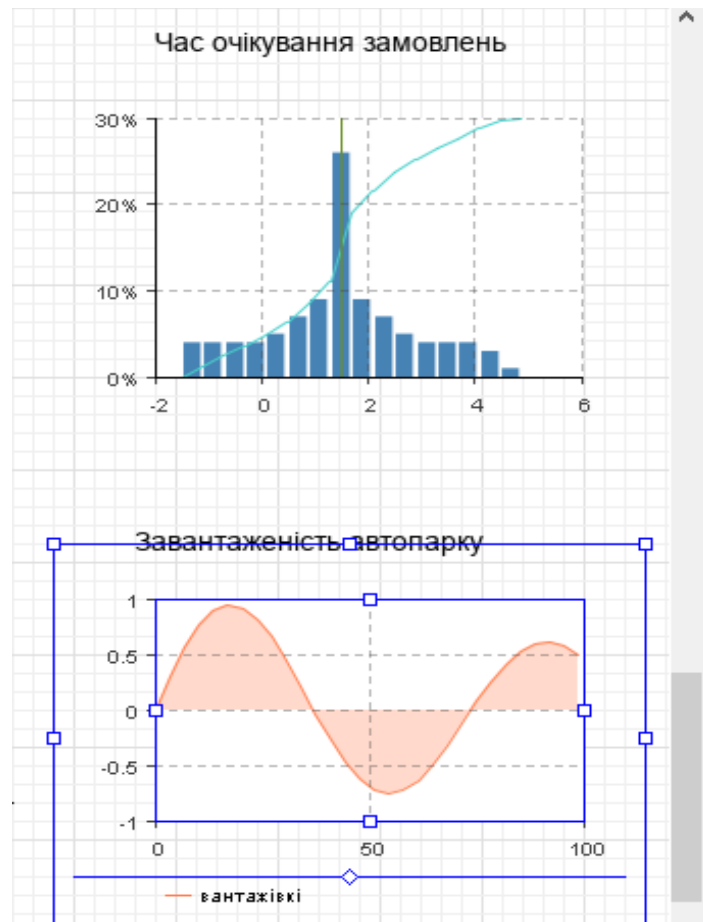


Рисунок 3.8 – Залежність завантаженості автопарку та гістограми розподілу часу очікування

Гістограма часу проведеного вантажівкою у поїздках дозволяє візуалізувати розподіл інтервалів, який кожен транспортний засіб проводить у

межах різних етапів поїздки, наприклад, завантаження, дорога до пункту доставки, розвантаження, повернення на базу (рис. 3.9). Завдяки такій діаграмі можна отримати уявлення про інтенсивність і тривалість поїздок, що має значення для оптимізації роботи автопарку та логістичних процесів.

Аналіз часу, проведеного вантажівками у поїздках, дозволяє визначити оптимальні моменти для технічного обслуговування автопарку. Це доцільно, якщо деякі транспортні засоби працюють на великих відстанях і здійснюють тривалі поїздки. Їх технічний стан потребує регулярного моніторингу і обслуговування. Вчасне обслуговування дозволить знизити ймовірність поломок, що може спричинити затримки і порушення доставки.

Зв'язок часу, проведеного на маршруті, з фізичним і психічним навантаженням водіїв також є важливим аспектом. Якщо поїздки надто тривалі, це може призвести до втоми водіїв і погіршення безпеки руху. Аналіз часу на маршруті дозволяє своєчасно виявити потребу в змінах для уникнення тривалих перерв у руху або перерозподілу вантажів між іншими автомобілями для зниження навантаження на водіїв.

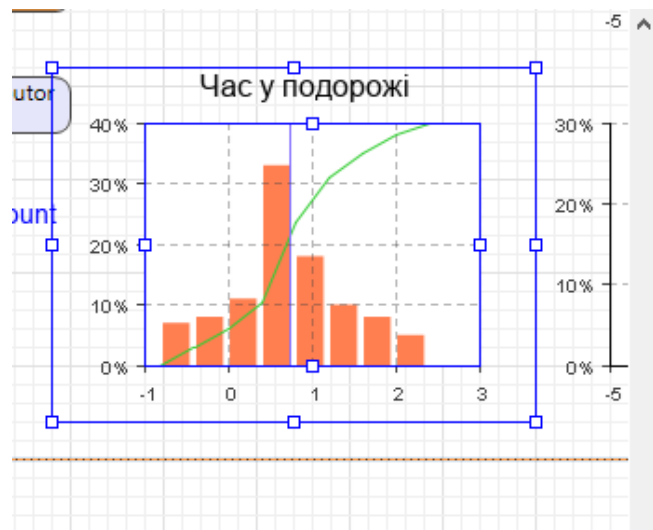


Рисунок 3.9 – Гістограма часу, проведеного вантажівкою у поїздках

Тепер описується взаємодія чотирьох параметрів які безпосередньо впливають на ефективність і продуктивність роботи автопарку під час виконання логістичних операцій (рис. 3.10).

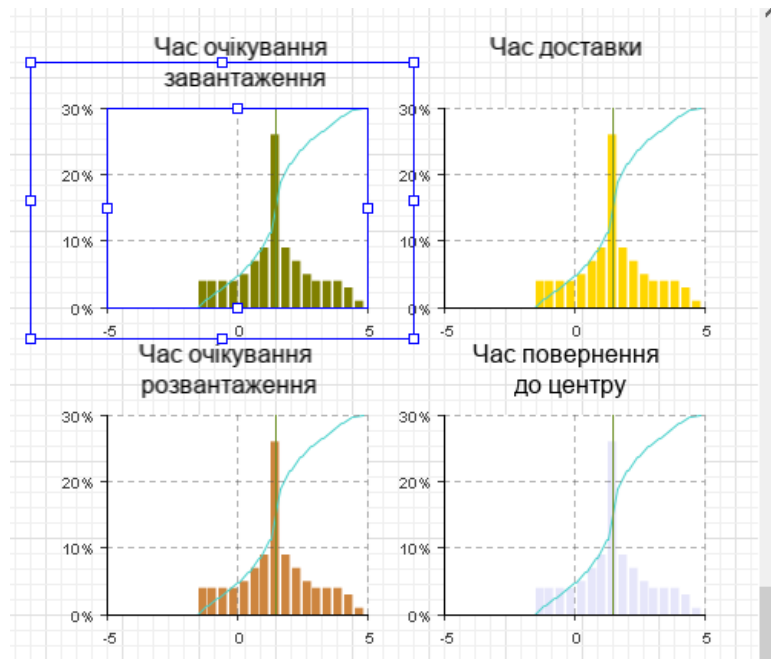


Рисунок 3.10 – Гістограми для транспортного засобу

Слід відзначити, що час, витрачений на завантаження вантажу, може мати безпосередній вплив на час доставки. Також необхідно брати до уваги той факт, що зміна графіку доставки може поставити водія в незручні для транспортування умови такі, як переміщення в час пік, коли виникають серйозні затори.

Якщо вантажівка доставила товар у точку розвантаження з затримкою, то це може спричинити додаткове очікування на розвантаження. Перевищує норми за розкладом, може привести до того, що обслуговування клієнта або споживача затримається.

Час очікування розвантаження має прямий вплив на час повернення до центру. Чим довше вантажівка чекає, тим більше часу вона витрачає на одну поїздку. Затримки на цьому етапі змусять транспортні засоби вийти за межі планового графіка або буде потребувати перенаправлення на нові маршрути, а це є небажаною втратою ресурсу.

У висновку, задля мінімізації подібних втрат, фокус тримається на таких критеріях:

- оптимізація використання автопарку;
- планування ресурсів і управління навантаженням;

- зниження витрат;
- покращення взаємодії з клієнтами;
- моделювання та прогнози.

Додається діаграма Ганта для відображення стану вантажівки. Діаграма Ганта – це інструмент, який широко використовується в управлінні проєктами для візуалізації графіків та планування часу. У контексті логістики, особливо для моніторингу стану вантажівки, діаграма Ганта служить важливим інструментом для відстеження всіх етапів роботи транспортного засобу протягом дня, тижня чи місяця. Вона дозволяє в реальному часі контролювати й оцінювати ефективність роботи автопарку, що є важливим для досягнення оптимальної роботи транспортних засобів.

Для того щоб діаграма Ганта була ефективною, використовуються спеціальні трекери, які в режимі реального часу зчитують та передають інформацію про стан вантажівки. Їми є GPS-трекери або системи телематики, які відстежують місце розташування вантажівки, швидкість руху, витрати пального, стан завантаження та інші важливі параметри. GPS-трекери надають точну інформацію про географічне розташування вантажівки, що дозволяє визначити, чи знаходиться вантажівка на маршруті, чи є затримки через погодні умови або дорожні ситуації. Системи телематики зчитують дані про технічний стан вантажівки, наприклад, рівень пального, температуру двигуна, тиск у шинах тощо, що дозволяє виявляти технічні проблеми або аварії на ранніх етапах і запобігати непередбаченим зупинкам (рис. 3.11).

Діаграма Ганта також дає змогу візуалізувати будь-які затримки в графіку виконання завдань. Якщо один з етапів займає більше часу, ніж було заплановано, це негайно відображається на діаграмі, і можна швидко виявити причину затримки.

Для формування маршрутів та місць розташування складів та споживачів використовується файл Excel. Відповідно, в ньому задаються міста, де розташовані склади для перевезення товарів. Назви відповідають назвам у ГІС, що задіяні.

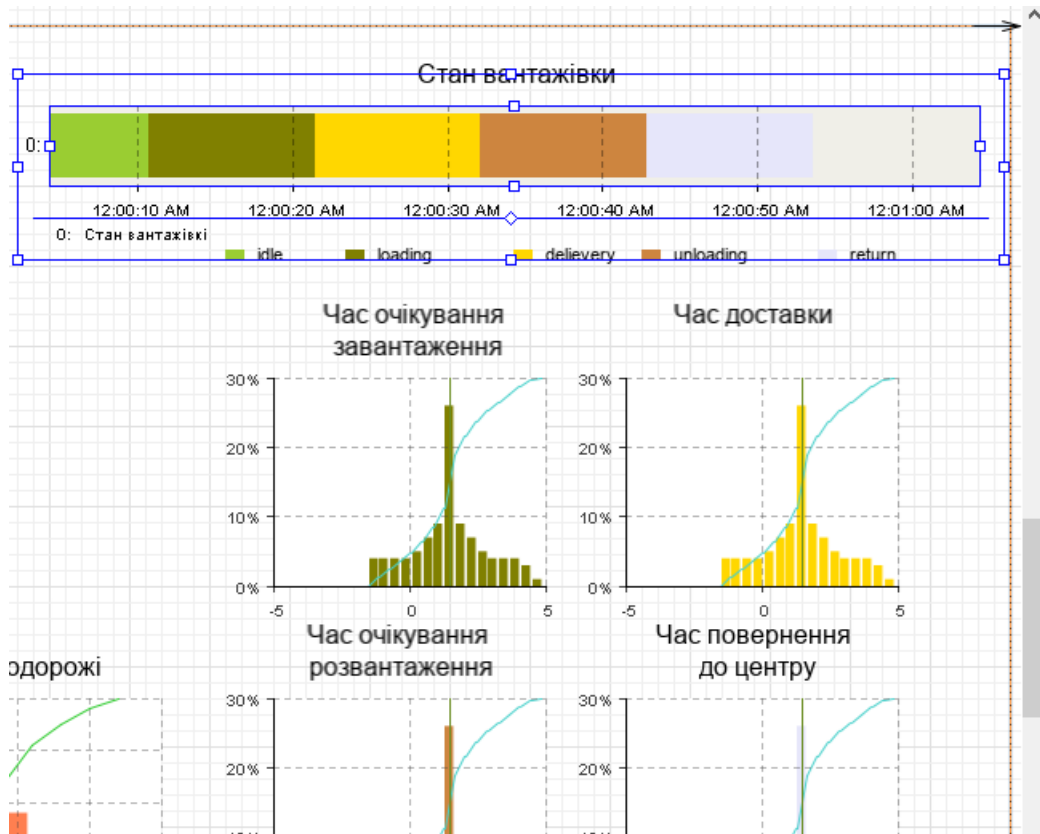


Рисунок 3.11 – Стан вантажівки

Тепер запускається моделювання. Наведено екран візуалізації ходу моделювання (рис. 3.12).

Видно розташований центральний склад з автопарком, місця знаходження складів та те як вантажівки різного типу доставляють цивільні вантажі.

Біля кожного пункту призначення відображається кількість вантажівок, що його відвідала та умовна кількість кожного типу цивільних вантажів таких, як продукти харчування, медикаменти та одяг (рис. 3.13).

Завдяки такому підходу можна не лише побачити загальну картину руху вантажівок, але й оцінити ефективність окремих маршрутів, час, витрачений на доставку, а також оперативно реагувати на будь-які відхилення від оптимальних параметрів. Це, у свою чергу, дозволяє керувати ресурсами автопарку, планувати додаткові вантажоперевезення та коригувати маршрути в реальному часі, зважаючи на зміни в умовах доставки.

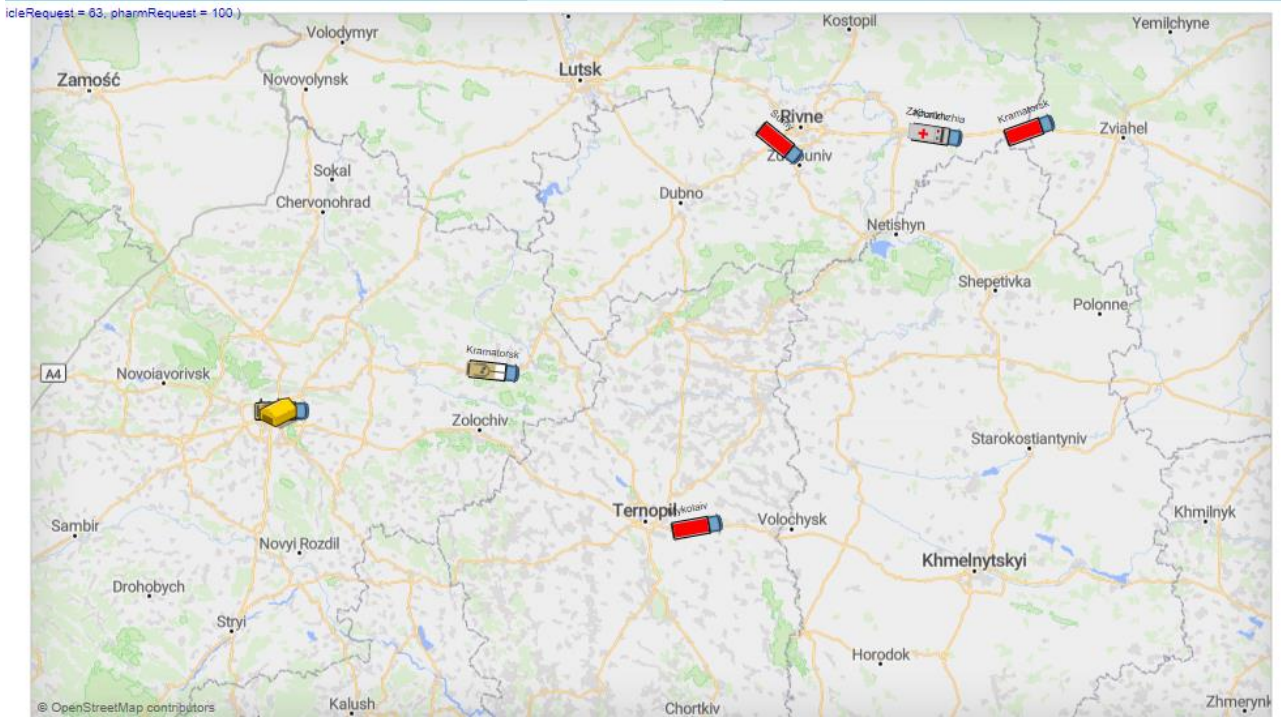


Рисунок 3.12 – Хід моделювання доставки цивільних вантажів

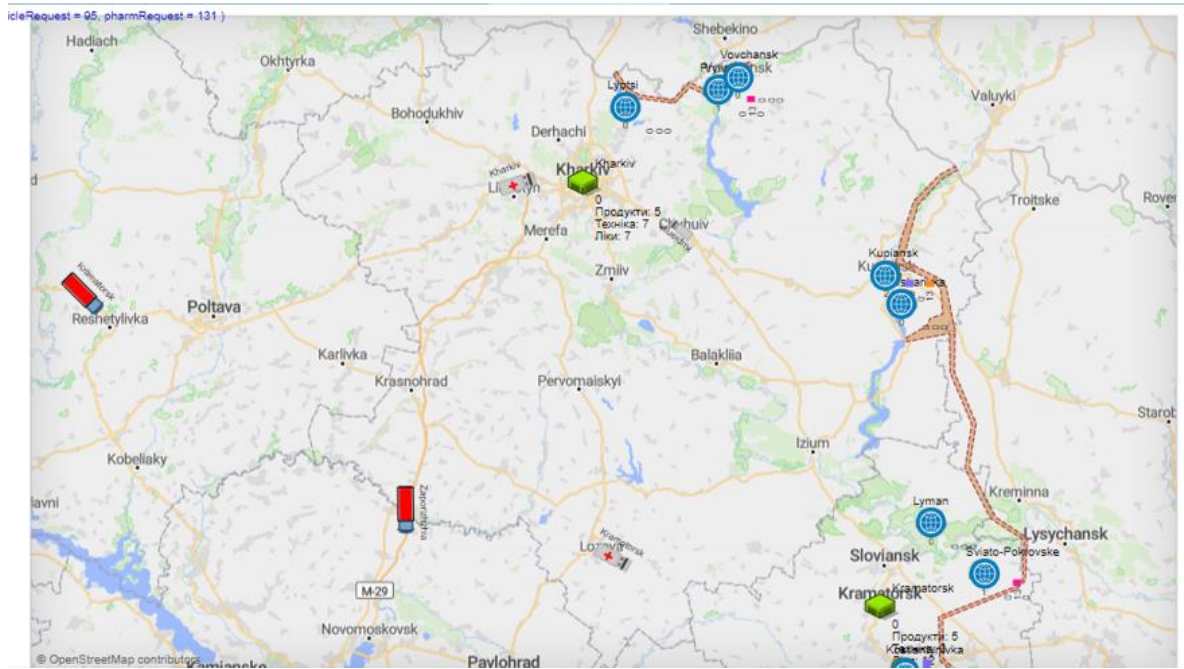


Рисунок 3.13 – Відображення результатів доставки гуманітарних вантажів до складів

При наявності товарів на складах починається обробка замовлень споживачів. Біля кожного з них також розташовані діаграми, що показують кількість товарів за категоріями (рис. 3.14).

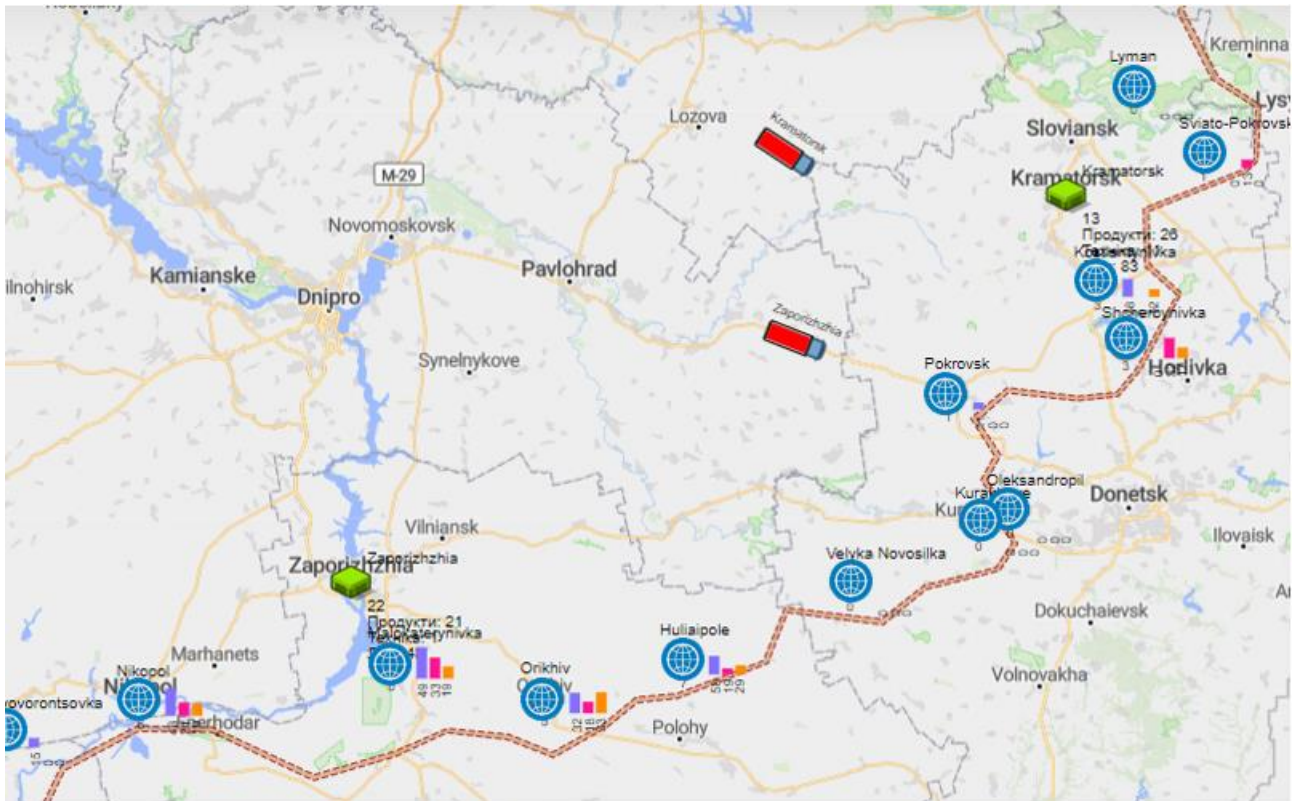


Рисунок 3.14 – Відображення результатів доставки гуманітарних вантажів споживачам

При переході до екрану «результати» можна побачити діаграми та гістограми, які розглядалися раніше: завантаженості автопарку, динаміку замовлень, кількість відправлень у регіони, поточний стан відправлень від дистриб'юторського складу, гістограму розподілу часу очікування замовлень в годинах (рис. 3.15).

Дані щодо поточного стану відправлень з дистриб'юторського складу дозволяють відстежувати прогрес виконання замовлень і вчасно коригувати маршрути чи додавати ресурси в разі необхідності. Візуалізація цих даних надає чітке уявлення про поточний стан кожної одиниці вантажу і дозволяє швидко реагувати на зміни. Окремо варто виділити гістограму часу очікування замовлень. Цей показник дозволяє зрозуміти, наскільки ефективно організовано процес завантаження та доставки товарів. Час очікування може залежати від кількості доступних вантажівок, їх завантаженості, а також від інтенсивності руху транспорту в конкретний момент часу. Чим менше час

очікування, тим ефективніше функціонує система, що безпосередньо впливає на швидкість обслуговування споживачів і на рівень їх задоволення.

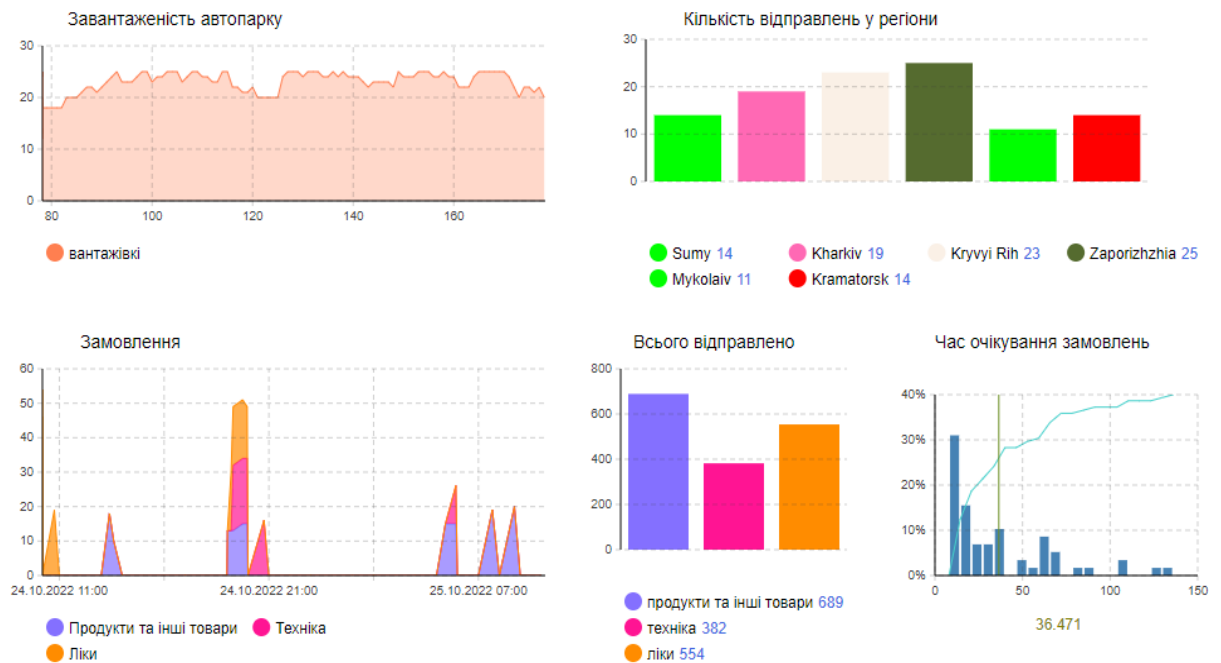


Рисунок 3.15 – Результати моделювання в основному вікні

Таким чином, відображення всіх цих параметрів дає комплексну картину роботи транспортної системи.

Далі показано діаграму агенту складу, де можна побачити процес розвантаження, статистику щодо доставлених гуманітарних вантажів кожного типу, перелік останніх замовлень споживачів (зеленим кольором ті, що доставлено вчасно, червоним – з запізненням), гістограму розподілу часу очікування замовлень, завантаженість власного автопарку, кількість автівок, що знаходяться на складі в очікуванні замовлень (рис. 3.16).

Також розміщена навігаційна панель, що дає можливість переміщуватись за популяцією, тобто по всім складам без необхідності повернення до карти.

За результатами споживачів, які отримали необхідний вантаж можна оцінити рівень ефективності логістики компаній. Є певний перелік критеріїв,

які дадуть точний зворотній зв'язок, який відправник має аналізувати задля покращення обслуговування.

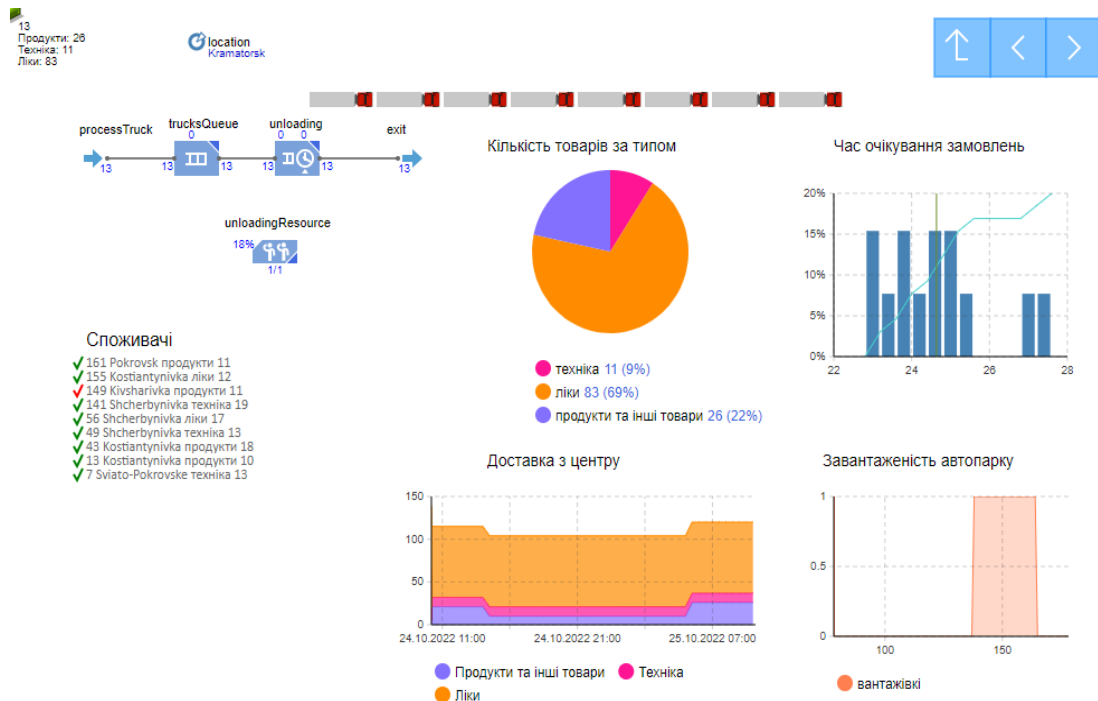


Рисунок 3.16 – Результати моделювання для складу

То ж, якість реалізації опишуть такі критерії:

- час доставки порівняно з запланованим. Якщо доставка відбулася із запізненням, важливо з'ясувати, чи були проблеми на маршруті, затримки через погодні умови, чи вірно було розраховано час на перевезення. Це дозволяє виявити слабкі місця в процесі доставки і вчасно коригувати стратегії;

- типи товарів і відповідність потребам споживачів. Важливо також аналізувати, чи була виконана доставка саме тих товарів, які були необхідні споживачам. Невідповідність вказує на проблеми з управлінням запасами або неправильну організацію замовлень;

- аналіз зворотного зв'язку від споживачів. Споживачі, які отримали вантаж, можуть надати зворотний зв'язок щодо якості доставки. Це включає оцінку часу доставки, стану товарів, рівня обслуговування та інших аспектів. Висока кількість позитивних відгуків свідчить про ефективну організацію

доставки, тоді як негативні відгуки можуть вказувати на недоліки в процесі, які потребують уваги;

- частота повторних замовлень. Якщо споживачі роблять повторні замовлення після отримання попереднього, це свідчить про їхню задоволеність доставкою і сервісом в цілому. Висока частка повторних замовлень є хорошим індикатором того, що логістична система працює ефективно.

Аналіз діаграми кількості товарів за типом дозволяє оцінити попит на різні види вантажів і зв'язати його з соціально-економічними та демографічними обставинами регіону. Ось як це можна зробити:

- високий попит на ліки може вказувати на велику частку пенсіонерів у регіоні або наявність медичних закладів, які потребують регулярних поставок. У разі пандемій або спалахів захворювань, попит на медикаменти також різко зростає, що також можна простежити за діаграмою;

- збільшений попит на продукти харчування може бути обумовлений демографічною ситуацією, наприклад, великою кількістю багатодітних сімей або сільськогосподарським спрямуванням регіону. Якщо діаграма показує стабільний високий рівень доставки продуктів харчування, це може свідчити про потреби населення в регулярних поставках, особливо в періоди економічної нестабільності або в разі перебоїв з продовольством у місцевих магазинах;

- велика кількість доставленого одягу або товарів першої необхідності може свідчити про специфічні умови в регіоні. Наприклад, це може бути регіон, який постраждав від природного лиха, де люди потребують додаткової допомоги. Також підвищений попит на одяг може вказувати на зимовий період, коли необхідні теплі речі. Аналіз подібних змін дозволяє оцінити сезонні коливання та адаптувати стратегію доставки.

За допомогою аналізу даних можна виявити потенційні слабкі місця у ланцюзі поставок. Наприклад, якщо певні товари постійно закінчуються на

складах і їхній попит перевищує пропозицію, це може вказувати на проблеми з постачанням або неправильне прогнозування потреб.

Показана діаграма агенту споживача, де видно діаграму процесу розвантаження, статистику щодо доставлених вантажів кожного типу, перелік останніх замовлень споживачів (сформованих та виконаних, вчасно або з запізненням), гістограму розподілу часу очікування замовлень (рис. 3.17).

Наведено візуалізацію для однієї з вантажівок, які доставляють товар від центрального складу до регіональних складів, де можна побачити як змінюється стан, загальну кількість поїздок та гістограми часу щодо подорожі до місця призначення, очікування завантаження та розвантаження, загальна кількість поїздок для цієї машини тощо (рис. 3.18).

Наведено візуалізацію для однієї з вантажівок, які доставляють товар від регіонального складу до споживачів, де видно як змінюється стан, загальну кількість поїздок та гістограми часу щодо подорожі до місця призначення, очікування завантаження та розвантаження, загальна кількість поїздок для цієї машини тощо (рис. 3.19).

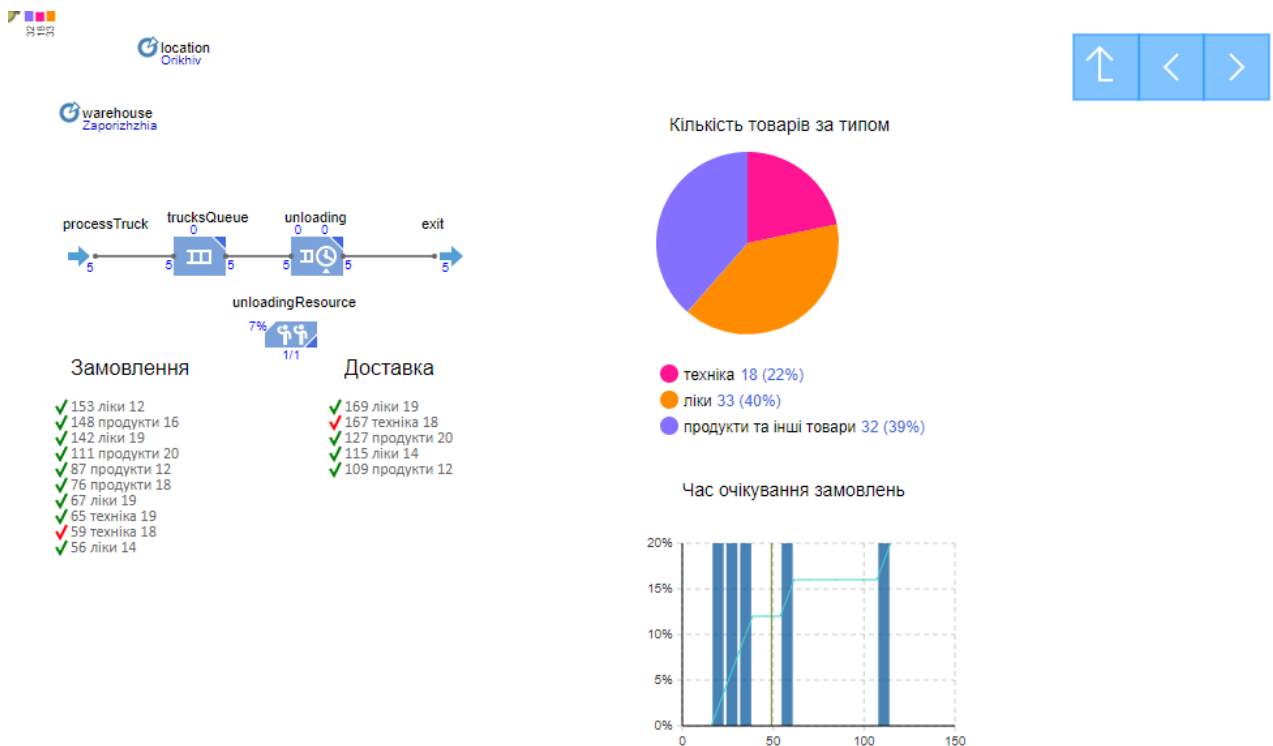


Рисунок 3.17 – Результати моделювання для споживача



Рисунок 3.18 – Відображення результатів для окремої вантажівки до складу



Рисунок 3.19 – Відображення результатів для окремої вантажівки до споживачів

Для перевірки та верифікації розробленої імітаційної моделі було проведено експерименти. Перевірка моделі передбачає формальну перевірку правильності її роботи з заданими даними, отриманими від експертів галузі. Результати моделі можуть бути більш чутливими до змін одних даних і менш чутливими до змін інших даних.

Були сформовані різні сценарії для встановлення оптимальних вимог до параметрів функціонування елементів системи. Ця потреба визначається запланованим обсягом і рівнем відповідності доставки замовлень. Проведений аналіз чутливості деяких змінних, а саме: інтенсивності надходження замовлень, відправлених обсягів і доступних вантажівок, щоб побачити вплив на відповідність поставок вантажів. Ці результати дозволили оцінити кількість вантажівок, необхідних для виконання замовлень.

Можна вручну збільшити кількість автопарку (в цьому експерименті з 25 до 40) і подивитись на результати (рис. 3.20).

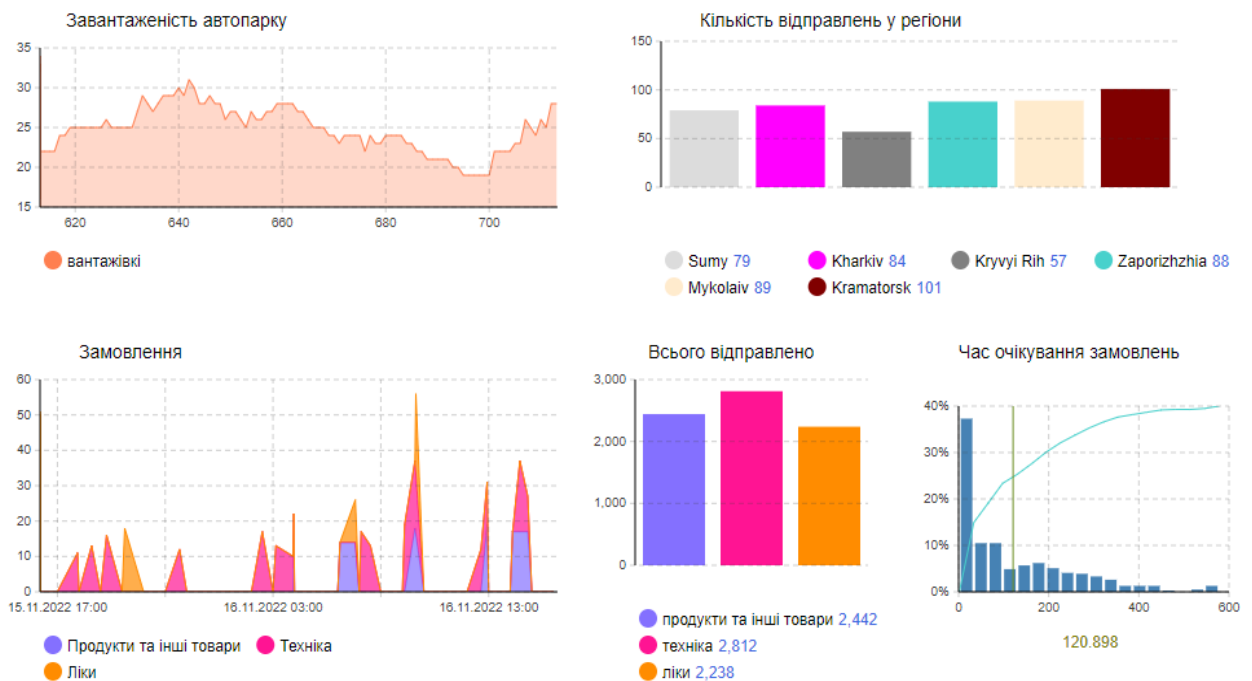


Рисунок 3.20 – Зниження завантаженість автопарку та часу очікування замовлення при збільшенні автопарку центрального складу

Слід зазначити, що в даній моделі не формується черга замовлень від складів, тільки для споживачів. Тобто якщо є вільний транспорт тоді формується замовлення на постачання того чи іншого вантажу. Кількість вантажівок на маршрутах збільшилась, а через місяць моделювання маємо менше значення щодо середнього часу очікування замовлень (рис. 3.21). Цей підхід дозволяє максимально раціонально використовувати наявний автопарк, уникаючи простоїв транспорту та забезпечуючи оперативне реагування на потреби споживачів. Коли транспортні засоби не завантажені, система автоматично генерує нові замовлення, що забезпечує швидке реагування на попит. Відсутність черги замовлень для складів означає, що пріоритет надається швидкості доставки, і транспортні ресурси використовуються в реальному часі, без накопичення незакритих замовлень.

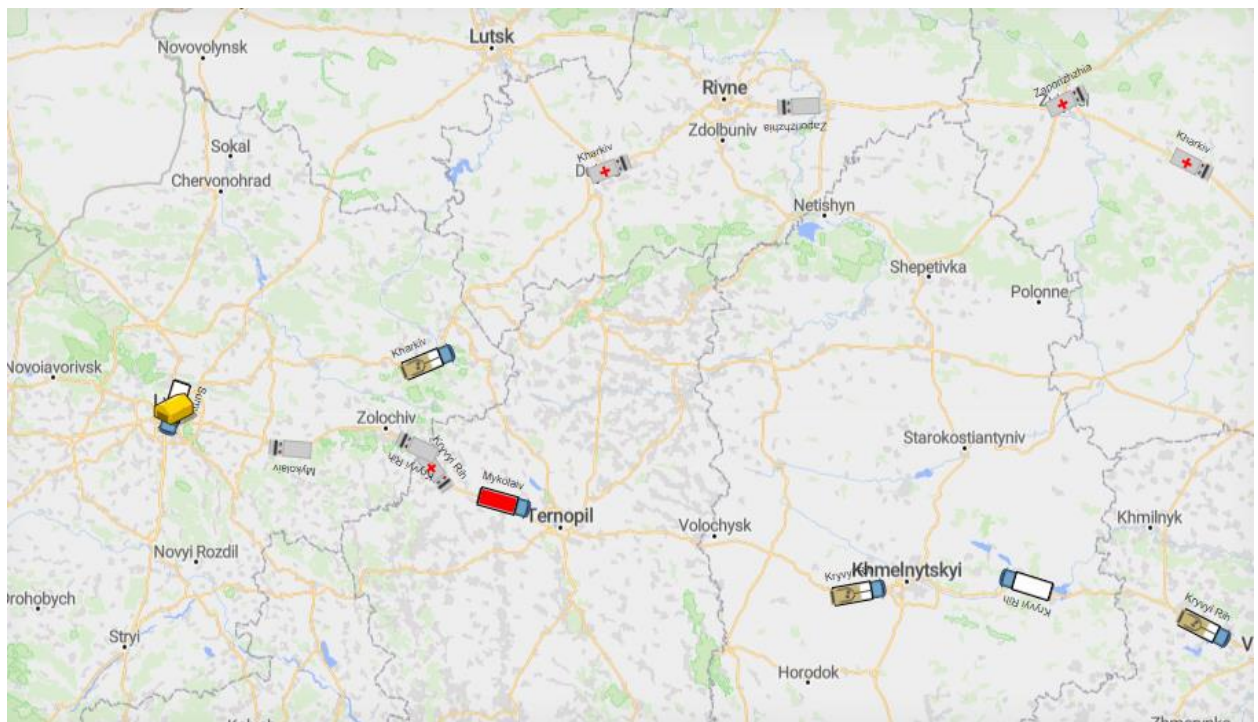


Рисунок 3.21 – Вантажівки виконують доставку товарів різного типу

Далі було налаштовано оптимізаційний експеримент для визначення оптимальної кількості вантажівок. Результати демонструють, що при заданій інтенсивності замовлень оптимальним буде використання автопарку з 29 вантажівок (рис. 3.22).

	Current	Best
Iterations completed:	105	18
Objective: ↑	24	24
Parameters		<input type="button" value="Copy best"/>
truckCount	29	29
averageWaitingTimeForPr...	101.028	101.124

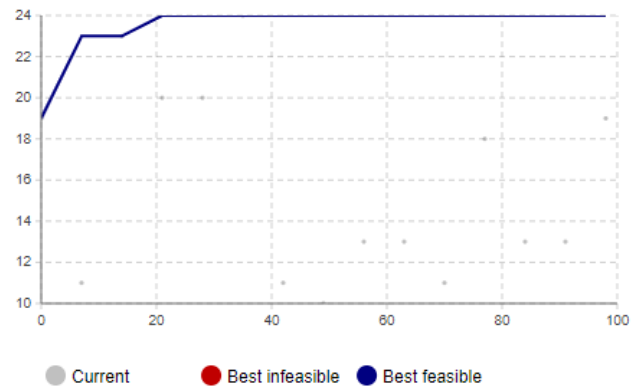


Рисунок 3.22 – Результати оптимізаційного експерименту для визначення кількості вантажівок в автопарку центрального складу

Якщо кількість транспортних засобів збільшити, це може призвести до додаткових витрат ресурсів на утримання зайвих автомобілей, які часто залишатимуться без діла. З іншого боку, зменшення кількості вантажівок призведе до збільшення часу очікування замовлень та зниження ефективності всього ланцюга постачання. Таким чином, обрана кількість вантажівок забезпечує оптимальне співвідношення між витратами на утримання та продуктивністю системи.

Розроблена імітаційна модель намагається оптимізувати процес одночасного постачання товарів до 6 регіональних складів та потім до 23 споживачів у зоні підвищеної небезпеки шляхом мінімізації часу (і відповідно вартості) простою вантажівок та часу очікування замовлень, що означає підвищення успішності логістичних процесів. Для цього були застосовані різні комбінації розглянутих параметрів моделювання, а потім перевірені отримані результати експериментів. Кожне поєднання параметрів тестувалося в умовах, що максимально наближені до реальних з урахуванням усіх можливих змінних факторів: погодних умов, стану доріг, наявності небезпеки на маршрутах та раптових змін обсягу замовлень. Це дозволило побачити, як модель функціонує в різних сценаріях і зробити висновки щодо її гнучкості та надійності.

Результати оптимізаційного експерименту з визначення оптимальної кількості вантажівок в автопарку центрального складу представлені на графіку, що відображає динаміку процесу підбору найкращих параметрів. Експеримент мав на меті знайти таку кількість транспортних засобів, яка забезпечила б мінімальний час очікування замовлень та оптимальне використання ресурсів. Для цього проводилось кілька ітерацій моделювання, щоб отримати найефективніше рішення.

Ключові елементи графіка:

- ітерації, що є кількістю окремих спроб моделі підібрати оптимальну кількість вантажівок;
- цільове значення, що є метою, яку необхідно досягти;
- середній час очікування, що показником часу, протягом якого замовлення чекають на доставку;
- найкращий результат, що є найбільш вдалою комбінацією кількості вантажівок, що була досягнута в процесі оптимізаційного експерименту.

Червоним кольором на графіку виділено найкращий недосяжний результат – це теоретичний максимум, який можна досягти за найбільш сприятливих умов, коли система працює на максимумі своєї ефективності без жодних обмежень або збоїв. Цей показник служить орієнтиром для оцінки.

Синім кольором позначено найкращий результат, який можна досягти. Це є реальним оптимальним результатом, який можна отримати у рамках моделі з урахуванням обмежень та наявних умов.

ВИСНОВКИ

Таким чином, було розроблено програмне забезпечення для моделювання логістичних процесів перевезення цивільних вантажів у системі AnyLogic.

Система моделювання транспортних перевезень матеріальних засобів у логістичних компаніях дозволяє підвищити якість прийняття рішень щодо процесу доставки цивільних вантажів та оперувати різними ресурсами. В ході виконання роботи були вирішені завдання по проведенню аналізу особливостей моделювання процесів транспортування цивільних вантажів, розробленню агентної імітаційної моделі транспортування вантажів, описанню механізмів моделювання логістичних процесів, проведенню експериментальних досліджень. Було вивчено методи моделювання логістичних операції та як поєднуються підходи моделювання на основі агентів і процесів у моделі. Було проведено демонстрацію як змусити агента, поведінку якого визначено діаграмою станів, пройти через процес, визначений блок-схемою. Все це дає можливість додатково отримувати інформацію про достатність розвантажувального транспорту, його завантаженість тощо.

Наукова новизна роботи полягає в новому рівні інтеграції агентного та дискретно-подійного підходів, що дозволяє підвищити якість прийняття рішень у логістичних компаніях, моделювати та аналізувати мультимодальні перевезення, а також враховувати та оптимізувати роботу паралельно працюючих ресурсів.

Результати дослідження апробовано у вигляді тез доповідей під час XXVIII Міжнародного молодіжного форуму «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ У XXI СТОЛІТТІ» [41].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Olha Husieva, Sebastian Kot (2024). Logistics of Polish Humanitarian Aid for Ukraine. Corporate Practices: Policies, Methodologies, and Insights in Organizational Management.
2. Ferhat Dinler, Derya Atlay (2024). Challenges in international humanitarian logistics: problem areas. Journal of Community Positive Practices, pp. 42-61.
3. Cao, Junhai., Zhang, Chuang., Li, Yantong., Guo, Yiming., Guo, Qingyi (2022). Combinatorial Optimization Methods for Determining the Pre-storage Location and Pre-setting the Distribution of Equipment Maintenance Materials. Binggong Xuebao/Acta Armamentarii, vol. 43, iss. 10, pp. 2668-2678.
4. Ewa Placzek, Angelika Switalska (2023). New technologies in humanitarian logistics. Journal of Public Governance, pp. 48-58.
5. Наконечний О. В. (2019). Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. С. 48-57.
6. Halizahari, M., Daud, Mohamad Faris., Sarkawi, Azizi Ahmad (2022). The Impacts of Transportation System towards the Military Logistics Support in Sabah. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, vol. 12, iss. 3, pp.
7. Raskin, L., Sira, O., Katkova, T (2019). Dynamic problem of formation of securities portfolio under uncertainty conditions. EUREKA: Physics and Engineering, no. 6, pp. 73-82.
8. Demertzis, K., Kikiras, P., Iliadis, L (2022). A Block-chained Secure and Integrity-Preserved Architecture for Military Logistics Operations. Communications in Computer and Information Science, vol. 1600, pp. 271-283.

9. Tvoroshenko, I. S., & Kramarenko, O. O. (2019). Software determination of the optimal route by geoinformation technologies. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (3), 131-142.

10. Творошенко, І. С., Мгеброва, В. Р., & Білий, В. В. (2016). Практичні аспекти створення вихідної інформації для проведення геоінформаційного аналізу у сфері управління нерухомістю.

11. Творошенко І.С., Крамаренко О.О. (2017). Особливості застосування геоінформаційних технологій під час розробки мережі просторових об'єктів оперативного пожежогасіння в місті Харкові. Геоінформаційні технології у територіальному управлінні та експертних дослідженнях: правові, організаційні, технічні проблеми: тези доповідей IV Міжнародної науковопрактичної конференції. С. 159–163.

12. Творошенко, І. С., & Табашник, В. А. (2018). Розробка просторової моделі геоінформаційної підтримки людей з обмеженими можливостями, що пересуваються на інвалідних колясках, у місті Харків.

13. Творошенко, І. С., & Подласенко, Є. П. (2019). Дослідження методу розпізнавання геоінформаційних ситуацій в системах моніторингу територій.

14. Cyrus Gathogo, Francis Anno Ekiru (2024). Humanitarian Logistics and Service Delivery in Turkana County. *International Research Journal of Economics and Management Studies*.

15. Chrisantos Kimori Osumo, Jane Queen Omwenga (2024). Humanitarian Logistics and Emergency Response in Humanitarian Organizations in Kenya. *International Journal of Social Science and Humanities Research (IJSSHR) ISSN 2959-7048* (p).

16. Ewa Placzek, Angelika Świtalska (2023). New Technologies in Humanitarian Logistics. *Journal of Public Governance*.

17. Ferhat Dinler, Derya Atlay (2024). Challenges in international humanitarian logistics: problem areas. *Journal of Community Positive Practices*, 23(4):42-61.

18. Gülşah Ayvazoğlu, İskender Peker (2024). Problems Encountered in Humanitarian Aid Logistics and Solution Suggestions by Integrated QFD Method: The Case of Hatay. *Hitit Sosyal Bilimler Dergisi*.

19. Bilha Mutinda, Emmanuel Awuor (2024). Determinants of Logistics Management in Humanitarian Organisations in Kenya: A Case Study Of Kenya Red Cross Society Conference: 1st Pan - African Conference on Supply Chain Management in Africa At: Nairobi, Kenya.

20. Samuel Mayanja, Aryatwijuka Wilbroad, Henry Mutebi, Allan Akashabaluhanga, Pamela Nagawa (2024). Artificial Intelligence and Humanitarian Supply Chain Resilience: Mediating Effect of Localized Logistics Capacity.

21. Derya Atlay IŞIK (2023). Challenges in international humanitarian logistics: problem areas. *Journal of Community Positive Practices*, 24(4):42-61.

22. Francis Portes Virginio, Brian Garvey, Paul Stewart (2024). From securitisation to martialisation : Logistics of humanitarian protection in Brazil's Amazon. *Environment and Planning D Society and Space*, 42(3).

23. Zeti Suzila Mat Jusoh, Roslinda Murad, Siti Zuraidah Zainal, Nurul Fitri Mohd Noor (2024). Enhancing Humanitarian Operations Performance Through Logistics Preparedness: A Conceptual Review in Humanitarian Organizations. *International Journal of Religion*, 5(10):1927-1934.

24. Nazlı Gülfem Gidener, Damla Kartal, Burak Koca, Aleyna Çevir (2023). The Effect of Humanitarian Aid on Logistics Companies' Marketing. Using Crises and Disasters as Opportunities for Innovation and Improvement.

25. João Cesar De Souza Ferreira, Pedro Henrique Pereira dos Santos. *Revista de Gestão Social e Ambiental* 18(4):e04727. A Systematic Review of The Literature on Humanitarian Logistics Using Multimethod Analysis.

26. Zeti Suzila Mat Jusoh, Shaliza Alwi, Mohd Fathi bin Abu Yaziz, Wan Mohd Al Faizee Wan Ab Rahaman (2024) . Humanitarian Operations Performance: A Logistics Preparedness Framework During Flood in Malaysia. *AI in Business: Opportunities and Limitations*.

27. Margaritis Stavaras, Maria Drakaki (2023). The Challenges of Military Logistics in Humanitarian Crisis. Lessons from the Ukrainian War. International Conference on Humanitarian Crisis Management.

28. Ana Clara Fonseca Guilherme (2024). Humanitarian Logistics as a Guarantee of Fundamental Rights: a Theoretical and Practical Analysis in the Case of the Floods in Rio Grande. *Revista de Gestão Social e Ambiental*.

29. Muhammad Sarfraz Ahmad, Wang Fei, Muhammad Shoaib, Hassan Ali (2024). Identification of Key Drivers for Performance Measurement in Sustainable Humanitarian Relief Logistics: An Integrated Fuzzy Delphi-DEMATEL Approach.

30. Aashly Vincent Sheebasherin, Lokesh Kumar Kalahasthi (2024). 626 Humanitarian logistics plan for adverse events in Delhi. 15th World Conference on Injury Prevention and Safety Promotion.

31. María Fernanda Carnero Quispe, Amanda Silveira Couto, Irineu Brito Jr, Luiza Ribeiro Alves Cunha, Regiane Máximo Siqueira, Hugo Yoshizaki (2024). Humanitarian Logistics Prioritization Models: A Systematic Literature Review.

32. Gabriel Icarte, Eduardo Riveras (2023). Application of a multiagent system for resource distribution in humanitarian logistics. *Ingeniare Revista chilena de ingeniería*.

33. Pradeep Kumar Tarei, Kapil Gumte, Jayshree Patnaik, Rina Suryani Oktari (2024). Analyzing barriers to humanitarian logistics for distributing relief aid in pre- and post-disaster situations. *International Journal of Disaster Risk Reduction*.

34. Victorino Juárez Rivera , Erika Barojas Payán, Ruben Villafuerte (2024). Logistic Design of Humanitarian Help in the State of Veracruz, Mexico. *LDHH in Veracruz. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 15(9):24.

35. Félicia Saïah, Diego Vega, Gyöngyi Kovács (2023). Toward a common humanitarian supply chain process model: the Frontline Humanitarian Logistics Initiative. *International Journal of Operations & Production Management*, 43(13):238-269.

36. Nezh Altay, Gyöngyi Kovács, Karen Spens (2021). The evolution of humanitarian logistics as a discipline through a crystal ball. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*.

37. Yani Xue, Miqing Li, Hamid Arabnejad, Diana Suleimenova, Alireza Jahani, Bernhard C. Geiger, Freek Boesjes, Anastasia Anagnostou, Simon Taylor, Xiaohui Liu, Derek Groen (2024). Many-Objective Simulation Optimization for Camp Location Problems in Humanitarian Logistics. *International Journal of Network Dynamics and Intelligence*.

38. Stelacelly Coelho Toscano Silveira, Hélio Raymundo Ferreira Filho, Altem Nascimento Pontes, Harlenn dos Santos Lopes, Gisele Cristina Manfrini (2023). The COVID-19 pandemic through the lens of humanitarian logistics. *Ciência & Saúde Coletiva*, 28(3):749-759.

39. Zhongjun Wan (2023). Research on Cooperation Incentives for Emergency Logistics Capacity Reserve from Humanitarian Organization Perspective. *Journal of Innovation and Development*, 3(1):142-148.

40. Benjamin Ohene Kwapong Baffoe, Wenping Luo (2020). Humanitarian Relief Sustainability: A Framework of Humanitarian Logistics Digital Business Ecosystem (HDLBE). *Transportation Research Procedia*.

41. Ясько О. С. (2024). Генетичні алгоритми для вирішення транспортних задач з використанням технологій штучного інтелекту. 28-ий міжнародний молодіжний форум «РАДІОЕЛЕКТРОНІКА І МОЛОДЬ У ХХІ СТОЛІТТІ», С. 152-153.