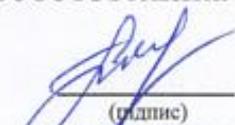


КОМПЛЕКСНА МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«АЛГОРИТМИ АДАПТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ. ЧАСТИНА 1. АНАЛІЗ ВИМОГ І
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ.»**

Виконала: студентка 2 курсу, групи 1АКІТР-24м
спеціальності 174 – Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка


(підпис)

Анастасія ПИЛЯВЕЦЬ

Керівник: д.т.н., професор каф. КСУ


(підпис)

Володимир ДУБОВОЙ

«5» 12 2025 р.

Опонент: к.т.н., професор каф. АІТ

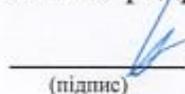

(підпис)

Євген ПАЛАМАРЧУК

«5» 12 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри КСУ


(підпис) В'ячеслав КОВТУН

«6» 12 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації
Кафедра комп'ютерних систем управління
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань – 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри КСУ

 В'ячеслав КОВТУН
“19” жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Пилявець Анастасії Борисівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів. Частина 1. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури.
керівник роботи Дубовой Володимир Михайлович, д.т.н., проф. каф. КСУ
затверджені наказом ВНТУ від 14.10.2025 №346.
2. Термін подання студентом роботи “5” грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи:
 1. Лещенко Ю. Я., Юхимчук М. С., Дубовой В. М. «Кластеризація об'єктів у завданнях масової доставки «останньої милі»». Наукові Праці ВНТУ, 2025. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/849>
 2. Мормуль М. «Розвиток векторних моделей та методів для оптимізації логістичних процесів в електронній комерції». Технічні науки та технології, 2025. URL: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/337246>
4. Зміст текстової частини: вступ, аналіз предметної галузі та вимог до системи адаптивного планування, аналіз вимог та побудова інформаційної структури системи, теоретичні основи адаптивних алгоритмів планування, проектування прототипу інформаційної системи, економічна частина, література.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): мета роботи, актуальність дослідження, проблематика, завдання дослідження, наукова новизна, практична цінність, об'єкт та предмет дослідження, методи дослідження підходи для аналізу, схема методу дослідження, інформаційна структура системи, очікуваний ефект від впровадження.

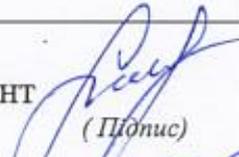
1. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
5	Ратушняк О.Г. – доцент кафедри економіки підприємства і виробничого менеджменту		

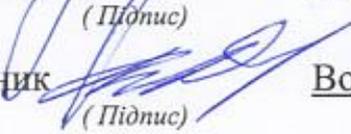
2. Дата видачі завдання “19” жовтня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
		початок	закінчення	
1	Вибір та узгодження теми	14.10.2025		
2	Аналіз предметної області	20.10.2025	26.10.2025	
3	Аналіз вимог до системи адаптивного планування	27.10.2025	01.11.2025	
4	Розробка інформаційної структури та моделі бази даних	02.11.2025	08.11.2025	
5	Розробка UML-діаграм та блок-схем алгоритмів	09.11.2025	13.11.2025	
6	Проектування прототипу інформаційної системи	14.11.2025	20.11.2025	
7	Розробка структурної (архітектурної) схеми системи	21.11.2025	24.11.2025	
8	Виконання економічної частини	25.11.2025	27.11.2025	
9	Оформлення тексту МКР та додатків	28.11.2025	30.11.2025	
10	Підписи супроводжувальних документів	01.12.2025	05.12.2025	
11	Захист МКР	15.12.2025	16.12.2025	

Студент 
(Підпис)

Анастасія ПИЛЯВЕЦЬ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник 
(Підпис)

Володимир ДУБОВОЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Пилявець А.Б. Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів. Частина 1. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури.

Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітня програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи. Вінниця: ВНТУ, 2025. 132 с.

Українською мовою, 5 розділів, 50 джерел, рис.:18, табл.: 19.

Метою роботи є аналіз вимог та розробка інформаційної структури системи адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів, спрямованої на підвищення ефективності управління ресурсами, зниження витрат часу та забезпечення гнучкості в операційній діяльності підприємств.

У теоретичній частині розглянуто актуальність автоматизації обліку робочого часу та планування в логістичних компаніях, проаналізовано сучасні підходи до управління персоналом і визначено недоліки наявних систем. Наведено огляд адаптивних алгоритмів, що можуть підвищити ефективність логістичних процесів.

У практичній частині проаналізовано вимоги до системи, розроблено інформаційну структуру вебзастосунку, описано взаємодію модулів, логічну модель бази даних і механізм обміну даними. Особливу увагу приділено моделі адаптивного управління робочим часом та плануванням змін персоналу.

Практична цінність роботи полягає у створенні основи для подальшої розробки вебзастосунку, що забезпечить автоматизований облік, адаптивне планування та ефективніше використання ресурсів логістичних підприємств.

Ілюстративна частина складається з 14 рисунків, які включають UML-діаграми та результати роботи системи.

Ключові слова: адаптивне планування, оптимізація логістики, інформаційна структура, автоматизація, система управління персоналом.

ANNOTATION

UDC 621.374.415

Pyliavets A. B. Adaptive Planning Algorithms for Optimizing Logistics Processes. Part 1. Requirements Analysis and Information Structure Development.

Master's Thesis in specialty 174 – Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics, educational program Intelligent Computer Systems.

Vinnytsia: VNTU, 2025. 132 p.

In Ukrainian, 5 sections, 50 sources, figures: 18, tables: 19.

The purpose of the thesis is to analyze the requirements and develop the information structure of an adaptive planning system intended for optimizing logistics processes, enhancing resource management efficiency, reducing time expenditures, and ensuring flexibility in responding to changes in the operational activities of enterprises.

The theoretical part examines the relevance of automating time tracking and planning in logistics companies, analyzes modern personnel management approaches, and identifies shortcomings of existing systems. It also provides an overview of adaptive algorithms that can enhance the efficiency of logistics processes.

The practical part analyzes system requirements, develops the information structure of the web application, and describes module interactions, the logical database model, and the data exchange mechanism. Special attention is given to the model of adaptive time management and staff shift planning.

The practical value of the work lies in creating a foundation for the further development of a web application that will support automated time tracking, adaptive planning, and more efficient use of resources in logistics enterprises. The illustrative section includes 14 figures, consisting of UML diagrams and system operation results.

Keywords: adaptive planning, logistics optimization, information structure, automation, personnel management system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	7
1.1. Актуальність автоматизації обліку робочого часу в логістиці з використанням адаптивних алгоритмів.....	7
1.2. Поняття та сутність адаптивного планування в логістиці.....	12
1.3. Класифікація алгоритмів планування та їх застосування у логістичних процесах.....	17
1.4. Аналіз існуючих інформаційних систем і підходів до планування автоматизації логістичних операцій.....	21
1.5. Формування вимог до системи адаптивного планування.....	30
1.6. Висновки до розділу.....	31
2. АНАЛІЗ ВИМОГ ТА ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ.....	34
2.1. Визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи.....	34
2.2. Моделювання бізнес-процесів логістичної системи (BPMN/UML-нотації).....	37
2.3. Побудова концептуальної моделі даних (ER-діаграми).....	41
2.4. Розробка інформаційної структури системи.....	45
2.5. Опис взаємодії основних модулів системи.....	50
2.6. Визначення інформаційних потоків та інтеграції з зовнішніми системами.....	55
2.7. Висновки до розділу.....	58
3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ПЛАНУВАННЯ.....	60
3.1. Підходи до оптимізації планування в логістичних системах.....	60
3.2. Алгоритмічні моделі адаптації на основі динамічних змін параметрів середовища.....	64
3.3. Вибір алгоритму оптимізації для побудови моделі адаптивного планування.....	69
3.4. Формалізація задачі оптимізації та критерії ефективності.....	72

3.5. Висновки до розділу	75
4. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	76
4.1. Архітектурна модель системи адаптивного планування	76
4.2. Проектування інтерфейсів користувача	78
4.3. Модель бази даних	80
4.4. Логіка реалізації адаптивних алгоритмів	82
4.5. Взаємодія з модулями моніторингу логістичних процесів	85
4.6. Висновки до розділу	87
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	89
5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки.....	89
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи.....	93
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	98
ВИСНОВКИ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	107
ДОДАТКИ.....	112
ДОДАТОК А (обов'язковий) Протокол перевірки на наявність запозичень ...	113
ДОДАТОК Б (обов'язковий) Технічне завдання	114
ДОДАТОК В (вибірковий) Лістинг програми	118
ДОДАТОК Г (обов'язковий) Ілюстративна частина	121

ВСТУП

Актуальність. У сучасних умовах логістика є ключовою складовою розвитку національної та світової економіки, оскільки забезпечує безперервний рух матеріальних, фінансових і інформаційних потоків між виробниками, постачальниками та споживачами. Вона виступає стратегічним елементом забезпечення ефективності виробничих, торговельних і сервісних процесів, формуючи основу конкурентоспроможності підприємств на внутрішньому й зовнішньому ринках. Зростання обсягів перевезень, ускладнення логістичних ланцюгів, розширення географії постачань, а також посилення вимог до швидкості, точності й надійності доставки створюють потребу у постійному вдосконаленні систем управління та планування ресурсів.

Одним із найважливіших напрямів підвищення ефективності логістичних систем є автоматизація процесів планування, контролю та обліку робочого часу персоналу, що безпосередньо впливає на продуктивність праці, стабільність виробничих циклів і якість обслуговування клієнтів. Традиційні методи управління трудовими ресурсами, що базуються на ручному введенні даних, статичних графіках або використанні простих електронних таблиць, не забезпечують необхідного рівня гнучкості й оперативності в умовах динамічного зовнішнього середовища. Вони не враховують сезонних коливань попиту, перебоїв у постачанні, технічних збоїв чи непередбачуваних подій, унаслідок чого виникає нераціональний розподіл робочого навантаження, простої або перевантаження персоналу. Це призводить до зниження ефективності логістичних операцій, збільшення фінансових втрат і зниження рівня довіри клієнтів.

Особливої актуальності проблема набуває в умовах воєнного стану та економічної нестабільності в Україні, коли логістичні компанії змушені оперативно адаптувати маршрути постачання, змінювати структуру завдань і швидко реагувати на коливання попиту. За таких умов саме адаптивність

управління стає визначальним чинником стабільності та конкурентоспроможності підприємства. Використання алгоритмів адаптивного планування відкриває можливості для створення систем, які динамічно реагують на зміни навантаження, враховують зовнішні та внутрішні фактори, а також оптимізують розподіл ресурсів у режимі реального часу.

Інформаційні системи, що базуються на таких алгоритмах, формують основу сучасної цифрової логістики. Вони забезпечують безперервний цикл планування, моніторингу, аналізу та коригування процесів, підвищуючи ефективність управління персоналом і точність прогнозування завантаження. Інтеграція алгоритмів адаптивного планування з аналітичними модулями дає змогу не лише автоматизувати облік робочого часу, а й перетворити ці дані на джерело стратегічної інформації для оптимізації логістичних процесів.

Об'єкт дослідження – процеси адаптивного планування та управління логістичними операціями на підприємствах.

Предмет дослідження – алгоритми адаптивного планування та інформаційна структура системи, що забезпечує оптимізацію логістичних процесів і ефективне використання трудових ресурсів.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності логістичних процесів шляхом аналізу вимог і розробки інформаційної структури системи адаптивного планування, яка забезпечує автоматизований облік, прогнозування навантаження та оптимізацію розподілу робочого часу персоналу.

Наукова новизна роботи полягає у створенні концептуальної моделі інформаційної структури системи адаптивного планування логістичних процесів, яка поєднує методи математичного моделювання, системного аналізу та принципи гнучкої інтеграції даних. На відміну від існуючих підходів, запропонована структура дозволяє не лише фіксувати дані про робочий час, а й використовувати їх для прогнозування та адаптивного управління персоналом у реальному часі.

Практична цінність роботи полягає у створенні аналітичної та структурної основи для побудови вебзастосунку, який забезпечить

автоматизоване планування, контроль і корекцію робочих процесів у логістиці. Реалізація системи дає змогу підвищити ефективність використання персоналу, зменшити ризики перевантаження або простоїв, скоротити витрати часу та забезпечити прозорість управлінських рішень.

Методи дослідження включають системний аналіз для виявлення взаємозв'язків між елементами логістичних процесів та визначення вимог до майбутнього вебзастосування; математичне моделювання й методи оптимізації для формалізації процесів адаптивного планування та розподілу робочого часу; методи програмної інженерії для проєктування архітектури системи та реалізації алгоритмів у вебсередовищі; а також експериментально-аналітичний підхід для перевірки ефективності розроблених рішень у реальних умовах функціонування логістичних компаній.

Публікації: Результати роботи було представлено на Всеукраїнській науково-практичній Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ», 2025 [1].

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

Сучасна логістика характеризується високою динамічністю та складністю процесів, що потребує впровадження ефективних підходів до планування та управління ресурсами. Умови постійних змін попиту, транспортних маршрутів і виробничих навантажень вимагають використання алгоритмів, здатних адаптуватися до нових даних у режимі реального часу.

У цьому розділі подано теоретичні засади адаптивного планування в логістиці, здійснено аналіз існуючих методів і систем, визначено їхні переваги та обмеження, а також сформульовано основні вимоги до розробки інформаційної структури майбутньої системи адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів.

1.1. Актуальність автоматизації обліку робочого часу в логістиці з використанням адаптивних алгоритмів

Автоматизація обліку робочого часу в сучасних умовах виступає стратегічним елементом управлінських процесів на підприємствах різних галузей, і особливо актуальна у сфері логістики, де кожна хвилина ефективного використання ресурсів має критичне значення. Використання адаптивних алгоритмів у таких системах дозволяє не лише фіксувати робочий час, а й оперативно аналізувати навантаження, прогнозувати потреби у персоналі та коригувати плани роботи в режимі реального часу. Це пояснюється багатьма факторами, серед яких глобалізація бізнесу, цифровізація виробничих та адміністративних процесів, посилення конкуренції на ринку та підвищені вимоги до продуктивності персоналу.

Сучасні логістичні компанії змушені забезпечувати не лише точний контроль за робочим часом працівників, а й гнучко адаптувати планування змін та розподіл завдань відповідно до динаміки замовлень та завантаження ресурсів. Традиційні ручні методи обліку, що базуються на паперових документах або

простих електронних таблицях, не дозволяють досягти необхідної точності, вимагають значних трудовитрат і створюють ризики накопичення помилок та виникнення недостовірної інформації, яка використовується для прийняття управлінських рішень [2-5].

В умовах глобалізації та активної цифрової трансформації підприємства прагнуть досягти максимальної ефективності при мінімальних витратах. Ручний облік характеризується високим рівнем помилок і тривалими часовими витратами, що істотно знижує продуктивність і гальмує процес прийняття управлінських рішень. Автоматизовані системи з адаптивними алгоритмами дозволяють отримувати достовірні дані у режимі реального часу, формувати аналітичні звіти, оцінювати продуктивність персоналу та здійснювати гнучке переналаштування графіків роботи залежно від фактичного навантаження. Це дозволяє компаніям не лише оптимізувати використання людських ресурсів, а й підвищувати загальну ефективність роботи всієї організації, зменшуючи простой та підвищуючи продуктивність логістичних потоків.

Соціально-економічні умови в Україні, зокрема військові дії та економічна нестабільність, роблять автоматизацію обліку робочого часу з використанням адаптивних алгоритмів особливо актуальною. Підприємства стикаються з кадровим дефіцитом, нерівномірним завантаженням персоналу та необхідністю швидко реагувати на коливання ринку. Адаптивні системи дозволяють значно знизити адміністративне навантаження на HR-відділи та керівництво, відслідковувати ефективність роботи працівників у реальному часі та швидко коригувати організаційні процеси відповідно до змін зовнішніх і внутрішніх умов, забезпечуючи стабільність і передбачуваність логістичних процесів.

Дотримання трудового законодавства України та міжнародних стандартів вимагає точного обліку робочого часу, понаднормових годин, відпусток, лікарняних та відряджень [6,7]. Виконання цих вимог у ручному режимі створює суттєві труднощі і підвищує ймовірність виникнення юридичних колізій та штрафних санкцій. Автоматизовані системи з адаптивними алгоритмами забезпечують точність документування, прозорість кадрових процедур та

можливість динамічного коригування процесів, що зменшує ризик порушень і дозволяє підприємству більш ефективно планувати витрати на персонал, контролювати оплату понаднормової праці та забезпечувати відповідність внутрішніх процесів чинним нормативам.

Інтеграція обліку робочого часу з іншими інформаційними системами підприємства [8-11], такими як ERP або CRM, дозволяє усунути дублювання даних, скоротити рутинні операції та зменшити залежність від людського фактору. Дані про відпрацьований час можуть використовуватися для планування змін, управління транспортними та логістичними потоками, прогнозування завантаженості ресурсів та оцінки ефективності використання персоналу. Використання адаптивних алгоритмів дозволяє формувати прогнози і рекомендації, що оптимізують логістичні процеси і підвищують точність управлінських рішень.

Сучасні компанії потребують систем, які дозволяють швидко адаптуватися до нових умов роботи, змінювати графіки та режим роботи, впроваджувати віддалену зайнятість, обліковувати понаднормові години та відрядження. Автоматизовані рішення з адаптивними алгоритмами не лише підвищують точність обліку, а й надають інструменти аналітики та прогнозування, що дозволяють ефективно планувати потреби у персоналі, зменшувати витрати на оплату простоїв, підвищувати продуктивність і загальну конкурентоспроможність компанії.

Таким чином, актуальність автоматизації обліку робочого часу в логістиці з використанням адаптивних алгоритмів визначається необхідністю підвищення продуктивності праці, зниженням адміністративних витрат, забезпеченням прозорості кадрових процесів, дотриманням законодавчих норм і адаптацією до умов економічної та соціальної нестабільності. Використання таких систем стає ключовим інструментом оптимізації бізнес-процесів, дозволяючи логістичним компаніям ефективніше використовувати ресурси, зменшувати витрати та забезпечувати високий рівень якості послуг, підвищуючи їхню стійкість та конкурентоспроможність на ринку.

Таблиця 1.1 - Порівняння ручного та автоматизованого обліку робочого часу з використанням адаптивних алгоритмів

Параметр	Ручний облік	Автоматизований облік
Точність даних	Середня/низька	Висока
Час на облік	Великий	Мінімальний
Помилки через людський фактор	Часті	Рідкі
Формування аналітики	Складне	Автоматичне
Адаптивність до змін	Низька	Висока
Вартість підтримки	Висока	Помірна

Такий аналіз демонструє ключові відмінності між традиційним ручним обліком та сучасними автоматизованими системами, що використовують адаптивні алгоритми. Основна перевага автоматизованого підходу полягає у тому, що система не лише фіксує дані про робочий час, а й аналізує їх, виявляє аномалії та пропонує оптимальні корекції в режимі реального часу. Адаптивні алгоритми дозволяють враховувати різні фактори — коливання навантаження, відпустки, лікарняні, зміни логістичних маршрутів і термінів доставки, що забезпечує гнучкість у плануванні та підвищує ефективність розподілу робочого часу. У результаті автоматизована система стає не лише інструментом обліку, а й комплексним механізмом стратегічного управління ресурсами, який підвищує ефективність логістичних процесів і зменшує витрати.

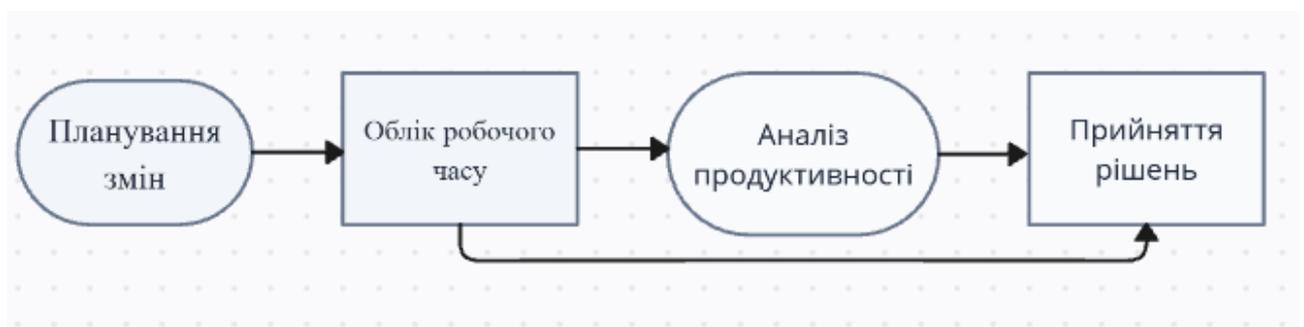


Рисунок 1.1. - Взаємодія автоматизованої системи обліку робочого часу з логістичними процесами

Схема відображає циклічний характер управління, де облік робочого часу є центральним вузлом системи. Він отримує інформацію з планування змін і передає її до аналітичних модулів, які оцінюють продуктивність персоналу та ефективність використання ресурсів.

Адаптивні алгоритми дозволяють системі динамічно коригувати графіки роботи працівників, прогнозувати перевантаження або недовантаження ресурсів і формувати оптимальні рекомендації для подальшого планування. Цей підхід забезпечує гнучке та оперативне управління робочим часом, підвищує ефективність логістичних процесів та дозволяє реагувати на зміни зовнішнього середовища, наприклад на коливання обсягів замовлень або зміни транспортних маршрутів.

Система також зберігає історичні дані, що дозволяє оцінювати тенденції у використанні ресурсів, планувати стратегічні заходи та здійснювати довгострокове прогнозування. Таким чином, схема демонструє не лише взаємодію модулів, але й безперервний процес оптимізації ресурсів через адаптивне управління.



Рисунок 1.2. - Циклічна взаємодія модуля обліку робочого часу з іншими компонентами системи

Модуль обліку робочого часу у вебзастосунку є ядром системи, від якого залежать точність планування, аналітика та управлінські рішення. Він збирає дані про фактичний робочий час, які використовуються для коригування графіків змін у плануванні, розрахунку зарплат і витрат у модулі економіки та формування аналітичних звітів у модулі звітності.

Адаптивні алгоритми дозволяють модулю автоматично коригувати графіки роботи в реальному часі залежно від поточного навантаження, забезпечуючи оптимальне використання персоналу. Інформація з модуля звітності використовується для виявлення вузьких місць у процесах та підготовки рекомендацій, що повертаються у планування змін, створюючи замкнутий цикл оптимізації.

Таким чином, ця схема підкреслює роль модуля обліку робочого часу не просто як інструменту фіксації даних, а як інтегрованого центру управління ресурсами, який забезпечує адаптивність, ефективність і прозорість логістичних процесів підприємства.

1.2. Поняття та сутність адаптивного планування в логістиці

Адаптивне планування у логістиці є однією з найактуальніших концепцій сучасного управління потоковими процесами, спрямованою на підвищення ефективності прийняття рішень у мінливих умовах зовнішнього середовища. Його сутність полягає у здатності системи оперативно змінювати плани, стратегії та параметри управління на основі аналізу фактичних даних, прогнозів і поточних збурень у логістичному ланцюгу. На відміну від статичних моделей, що розробляються на певний період без урахування непередбачуваних факторів, адаптивне планування функціонує як безперервний процес, у якому кожне нове рішення ґрунтується на актуалізованій інформації про стан системи.

Основною метою адаптивного планування є забезпечення стійкості логістичних операцій до зовнішніх впливів, таких як коливання попиту, зміни у транспортній інфраструктурі, коливання вартості пального, погодні умови,

технічні збої чи форс-мажорні обставини. У таких умовах традиційне планування швидко втрачає актуальність, тоді як адаптивна система реагує на зміни в режимі реального часу, мінімізуючи ризики простоїв, затримок і нераціонального використання ресурсів.

Концепція адаптивності ґрунтується на трьох ключових принципах: зворотному зв'язку, гнучкості та прогнозуванні. Зворотний зв'язок забезпечує постійне оновлення даних про стан системи, дозволяючи оперативно виявляти відхилення між запланованими і фактичними показниками. Гнучкість проявляється у здатності системи швидко перебудувати виробничо-транспортні або складські процеси без втрати цілісності логістичного ланцюга. Прогнозування дозволяє не лише реагувати на вже відомі події, а й передбачати можливі сценарії розвитку ситуації, що робить систему проактивною.

У практичному аспекті адаптивне планування може охоплювати широкий спектр завдань: від формування оптимальних маршрутів доставки й планування змін персоналу, розподілу транспортних засобів і координації взаємодії між підрозділами. Наприклад, у разі непередбаченої затримки транспортного засобу система може автоматично змінити графік або переорієнтувати маршрут для уникнення простоїв. Це дозволяє зберегти ритмічність процесів, навіть за умов нестабільності зовнішніх факторів.

Сучасні системи адаптивного планування інтегрують у собі технології великих даних (Big Data), аналітичні модулі та системи підтримки прийняття рішень (DSS). Завдяки цьому вони здатні обробляти великі обсяги різномірної інформації — від показників GPS-моніторингу транспортних засобів і даних зі складських сенсорів до аналітики ринкових тенденцій. Поєднання цих технологій створює передумови для переходу логістичних систем від реактивного управління до прогнозного, де рішення приймаються не після виникнення проблеми, а до її появи.

Важливим аспектом адаптивного підходу є його здатність забезпечувати стабільність, гнучкість і відмовостійкість логістичних процесів шляхом постійного оновлення та аналізу даних із реального середовища. Такий підхід

дозволяє системі своєчасно реагувати на зміни умов функціонування — як внутрішніх, так і зовнішніх — забезпечуючи узгодженість дій усіх учасників логістичного ланцюга. В основі цього принципу лежить інтеграція інформаційних потоків, які надходять від транспортних засобів, складів, диспетчерських центрів та інших структурних підрозділів, що формують єдину інформаційну базу для прийняття рішень.

Концепція адаптивності розробленого додатку реалізується через створення віртуальної панелі керування, яка виступає центральним елементом моніторингу та координації логістичних процесів. Вона забезпечує автоматичне коригування графіка поїздок, розподіл маршрутів і планування роботи водіїв та менеджерів у режимі реального часу. Така система дозволяє враховувати заздалегідь визначені можливі причини затримок або змін маршруту — наприклад, технічні несправності транспортного засобу, перевірку документів, погодні умови, підвищення інтенсивності руху чи відміну замовлення.

Завдяки такому підходу система здатна своєчасно пропонувати альтернативні рішення: змінювати порядок завдань, оптимізувати черговість відвідування пунктів доставки, перерозподіляти ресурси між водіями або маршрутам, а також повідомляти менеджера про критичні зміни у графіку. Це сприяє підтриманню безперервності логістичних операцій навіть за наявності непередбачуваних факторів.

Крім того, реалізація концепції адаптивності підвищує рівень автоматизації управлінських процесів і знижує вплив людського чинника на ефективність виконання завдань. Завдяки інтегрованій віртуальній панелі керування користувач отримує можливість контролювати поточний стан усіх етапів перевезення, оцінювати потенційні ризики та оперативно приймати обґрунтовані рішення. У підсумку це дозволяє забезпечити стабільність функціонування логістичної системи, підвищити ефективність управління часом, зменшити ймовірність простоїв і втрат ресурсів, а також сформувати більш надійну та передбачувану модель взаємодії між усіма учасниками транспортно-логістичного процесу.

Таблиця 1.2 - Порівняльний аналіз традиційного та адаптивного планування

Характеристика	Традиційне планування	Адаптивне планування
Реакція на зміни	Реагує після виникнення відхилень	Реагує в реальному часі, прогнозує події
Джерела даних	Внутрішні, статичні	Внутрішні та зовнішні, динамічні
Гнучкість	Низька, потребує ручного втручання	Висока, зміни виконуються автоматично
Використання аналітики	Мінімальне	Використання Big Data, прогнозованих моделей
Ефективність ресурсів	Часто нераціональна	Оптимізована в режимі реального часу

У таблиці 1.2 подано основні відмінності між традиційним та адаптивним підходами до планування. Головна перевага адаптивного планування полягає у здатності поєднувати аналітичні, прогнозні та управлінські інструменти в єдиній інтегрованій системі прийняття рішень. Завдяки цьому досягається значне підвищення ефективності використання матеріальних, фінансових і трудових ресурсів, знижується рівень простоїв, а також оптимізуються процеси [12] постачання й транспортування. Таке планування забезпечує точніше дотримання графіків доставки, підвищує надійність логістичних операцій і дозволяє своєчасно реагувати на зміни попиту, маршрутів чи умов виконання замовлень.

У сучасних умовах цифрової трансформації економіки адаптивне планування розглядається як ключовий компонент розвитку інтелектуальних логістичних систем нового покоління. Воно передбачає використання автоматизованих модулів моніторингу, прогнозування та аналітики, які забезпечують узгодженість усіх елементів логістичного ланцюга. Такий підхід сприяє формуванню більш гнучких, енергоефективних і клієнтоорієнтованих систем постачання, у яких кожна ланка може самостійно реагувати на зміни зовнішнього середовища, координувати свої дії з іншими учасниками процесу та підтримувати безперервність функціонування навіть у нестабільних умовах [13]. У результаті адаптивне планування стає не лише інструментом оптимізації

ресурсів, а й важливою складовою підвищення конкурентоспроможності підприємств у динамічному ринковому середовищі.

На рисунку 1.3 представлено узагальнену структурну модель процесу адаптивного планування в логістичній системі.



Рисунок 1.3 – Узагальнена модель адаптивного планування в логістиці

Таким чином, адаптивне планування в логістиці можна розглядати як інтегровану систему методів, алгоритмів і програмно-апаратних засобів, здатну забезпечити динамічну перебудову планів у відповідь на зміни середовища функціонування. Його сутність полягає у безперервному аналізі та корекції управлінських рішень, спрямованих на досягнення балансу між стабільністю, точністю та економічною ефективністю логістичних операцій. У результаті підприємство отримує не просто інструмент автоматизації, а інтелектуальну систему, що здатна адаптуватися до змін, формуючи основу для сталого розвитку логістичної інфраструктури майбутнього. Завдяки цьому адаптивне планування стає ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності підприємства та

забезпечення його стабільного функціонування в умовах невизначеності та динамічного ринку.

1.3. Класифікація алгоритмів планування та їх застосування у логістичних процесах

Планування логістичних процесів є складним і багатофакторним завданням, яке вимагає ефективних механізмів прийняття рішень на основі великого обсягу даних, що постійно змінюються. Для досягнення максимальної ефективності та гнучкості системи управління логістикою застосовуються різні типи алгоритмів планування, які дозволяють не лише автоматизувати рутинні процеси, а й оптимізувати розподіл ресурсів, маршрути перевезень, графіки завантаження складів і робочого персоналу. Вибір алгоритму безпосередньо впливає на якість управлінських рішень, рівень адаптивності системи, швидкість реагування на зміни та загальну ефективність логістичної мережі.

Класифікація алгоритмів планування здійснюється за низкою критеріїв, серед яких найважливішими є характер адаптації, тип оброблюваних даних, рівень автоматизації, метод пошуку оптимального рішення та сфера практичного застосування. Такий підхід дозволяє побудувати систематизоване уявлення про можливості різних алгоритмічних моделей та їх відповідність специфіці логістичних задач.

Однією з базових класифікацій є поділ алгоритмів за характером адаптації. У цьому контексті розрізняють статичні та динамічні алгоритми. Статичні алгоритми формуються на основі заздалегідь визначених, фіксованих даних, тому вони забезпечують побудову одного оптимального плану без урахування подальших змін зовнішнього середовища. Такий підхід є ефективним у стабільних умовах, коли параметри логістичної системи не зазнають суттєвих коливань. Наприклад, планування графіків постачань для підприємства з фіксованими партнерами та стабільним попитом може успішно виконуватися за допомогою статичних моделей.

Динамічні алгоритми, навпаки, побудовані на принципах постійного оновлення даних і здатності реагувати на зміну вхідних параметрів у реальному часі. Вони лежать в основі адаптивного планування, оскільки враховують зміну попиту, затримки транспорту, непередбачувані збої у постачанні чи зміну вартості ресурсів. Це забезпечує підвищення точності прийняття рішень і дозволяє системі оперативно перебудовувати графіки та маршрути. У логістиці динамічні алгоритми широко застосовуються у транспортних компаніях, службах доставки та складських комплексах, де важливо миттєво реагувати на нові умови роботи.

З точки зору типу реалізації, алгоритми планування поділяються на детерміновані та стохастичні. Детерміновані алгоритми, серед яких поширеними є методи лінійного та цілочислового програмування, а також алгоритм критичного шляху (Critical Path Method — СРМ), базуються на строгих математичних моделях і передбачають однозначність результату. Це дозволяє отримати точний оптимальний розв'язок для конкретного набору умов, але при цьому вони є менш гнучкими в умовах невизначеності. Стохастичні алгоритми, навпаки, враховують випадковість і невизначеність зовнішнього середовища. До них належать генетичні алгоритми, алгоритми рою частинок, мурашині алгоритми, імітаційне відпалу та інші евристичні методи. Такі алгоритми не завжди гарантують знаходження абсолютного оптимуму, однак вони здатні швидко знаходити близькі до оптимальних рішення у складних і нестандартних ситуаціях, що часто виникають у логістиці.

Алгоритми планування в логістиці класифікуються за кількома основними ознаками, що дозволяє більш точно обирати методи відповідно до масштабу, структури та динаміки логістичних процесів. Така класифікація враховує особливості ресурсів, типи завдань, часові обмеження, рівень невизначеності та необхідну швидкість реагування. Завдяки цьому можна оптимізувати як довгострокові стратегії планування, так і оперативні рішення в реальному часі.

Основні напрями класифікації алгоритмів наведено в таблиці 1.3, де систематизовано підходи за типом задачі, методом реалізації, характером даних

та ступенем адаптивності. Такий підхід дозволяє обґрунтовано визначити найбільш ефективні алгоритми для конкретної логістичної системи.

Таблиця 1.3 – Класифікація алгоритмів планування у логістиці

Ознака класифікації	Підкатегорії
За характером адаптації	статичні, динамічні
За типом реалізації	стохастичні, евристичні, оптимізаційні, гібридні
За сферою застосування	алгоритми розкладів, маршрутизації, розподілу ресурсів

Однією з ключових ознак класифікації є метод пошуку рішення. У цьому контексті виділяють оптимізаційні, евристичні та гібридні алгоритми.

Оптимізаційні алгоритми (зокрема методи лінійного, нелінійного та динамічного програмування) спрямовані на пошук найкращого варіанта рішення за певними критеріями — мінімізація витрат, скорочення часу виконання чи підвищення прибутковості. Такі алгоритми забезпечують високу точність результатів, проте потребують значних обчислювальних ресурсів і часто мають низьку гнучкість у змінних умовах.

Евристичні алгоритми базуються на використанні інтуїтивних правил, логічних припущень і досвіду експертів. Вони не гарантують абсолютної оптимальності, проте дозволяють отримати прийнятне рішення у короткий час, що є важливим у ситуаціях з великою кількістю змінних або неповними даними. Такі методи широко застосовуються для розв'язання задач маршрутизації, планування виробництва та управління запасами.

Гібридні алгоритми поєднують переваги оптимізаційних і евристичних підходів, забезпечуючи баланс між точністю розрахунків та швидкістю обчислень. Вони здатні адаптуватися до змін середовища, навчатися на основі накопиченого досвіду й автоматично вдосконалювати процес прийняття рішень. Такі моделі особливо ефективні у великих транспортно-логістичних системах, де інтегруються процеси планування маршрутів, роботи складів та управління персоналом [14-16].

У практиці логістики важливу роль відіграють алгоритми оптимізації розкладів і маршрутизації. Моделі типу Job-Shop Scheduling використовуються для визначення послідовності виконання робіт за обмежених ресурсів, що є типовим для виробничо-логістичних систем. Класичні задачі маршрутизації, такі як Vehicle Routing Problem (VRP) і Traveling Salesman Problem (TSP), застосовуються для пошуку оптимальних або наближених до оптимальних маршрутів транспорту з метою мінімізації часу доставки й витрат палива [17-19].

Для порівняння основних типів алгоритмів планування у логістиці подано узагальнену характеристику в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. – Порівняння типів алгоритмів планування у логістиці

Критерій	Статичні алгоритми	Динамічні алгоритми	Стохастичні алгоритми	Гібридні алгоритми
Гнучкість до змін середовища	Низька	Висока	Середня	Висока
Точність рішень	Висока	Висока	Середня	Висока
Необхідність великих обчислень	Низька	Середня	Висока	Висока
Реагування у реальному часі	Відсутнє	Є	Частково	Є
Сфера застосування	Стабільні процеси	Динамічні системи	Невизначені середовища	Інтелектуальні системи

Отже, сучасна класифікація алгоритмів планування у логістиці охоплює широкий спектр методів — від класичних математичних моделей до інтелектуальних систем на основі штучного інтелекту. Поєднання різних підходів дозволяє створювати ефективні адаптивні системи, здатні забезпечувати гнучкість, стабільність і точність планування навіть у складних динамічних умовах.

1.4. Аналіз існуючих інформаційних систем і підходів до планування автоматизації логістичних операцій

На сучасному українському ринку логістичних послуг автоматизація обліку робочого часу, управління персоналом і планування операцій залишається одним із ключових напрямів цифрової трансформації. Незважаючи на наявність великої кількості програмних продуктів, більшість логістичних компаній продовжує використовувати локальні або застарілі рішення, які не відповідають вимогам гнучкості, інтеграції та масштабованості [20-22].

Серед найбільш поширених систем в Україні варто відзначити Omniful, VAF та Vitrix24. Кожна з них має свої особливості, переваги й обмеження, що безпосередньо впливають на ефективність управління логістичними процесами.

Omniful — це хмарна TMS-платформа, розроблена спеціально з огляду на складнощі української логістичної галузі, включно з особливостями інфраструктури, нормативним полем та умовами доставки. В теоретичному баченні вона має забезпечити автопревозчикам, 3PL-операторам та службам доставки можливість централізовано керувати маршрутами, транспортними засобами, робочим часом співробітників, відстежувати вантажі в режимі реального часу, автоматизувати документообіг та виставлення рахунків[23].

На практиці Omniful (рис. 1.4) вирізняється:

По-перше, технологічною основою є сучасні веб-технології та хмарна архітектура, що забезпечує відкритість інтерфейсу, швидку реакцію, можливість оновлення та масштабування без значних простоїв. Це робить її зручнішою у щоденному вжитку та більш гнучкою у порівнянні із застарілими рішеннями.

По-друге, інтерфейс продуманий з урахуванням досвіду користувача: він інтуїтивно зрозумілий навіть для нових співробітників, включає шаблони для часто вживаних операцій, drag-and-drop планування маршрутів, карту з відображенням транспорту в реальному часі, сповіщення про відхилення від графіку чи простій. Це суттєво знижує час навчання та пришвидшує інтеграцію в бізнес-процеси [24].

По-третє, Omniful має готові API-інтеграції з фінансовими й кадровими системами, GPS/RT передавачами та сторонніми службами (наприклад, для електронного документообігу чи EDI). Це дозволяє уникати потреби у дорогих кастомних доопрацюваннях, особливо для середніх і малих компаній [25].

Крім того, в системі передбачені модулі або можливості для обліку робочого часу працівників, що задіяні в транспортуванні чи складських операціях, включно з мобільним додатком водія чи працівника складу, фіксацією часу та статусів задач.

Окремою перевагою є прозорість витрат та підтримка аналітики як частини системи: витрати на паливо, простої, ремонт, амортизацію — усе це видно в системі без потреби резервувати окремі програмні засоби або Excel-та-блиці.

Таким чином, Omniful є прикладом платформи, яка краще відповідає потребам сучасних логістичних підприємств в Україні: вона працює швидко, гнучка, зручна, має готові інструменти для контролю персоналу і часу, і не потребує значних затрат на впровадження чи технічну підтримку.



Рисунок 1.4 – Демонстрація Omniful

BAF (рис. 1.5) менш поширена платформа, орієнтована на автоматизацію базових HR-процесів, що дозволяє вести облік присутності співробітників та формувати елементарну звітність щодо відпрацьованого часу. Основною перевагою системи є її простота та доступність, що робить BAF зручною для невеликих підприємств із нескладною організаційною структурою. Водночас платформа має суттєві обмеження у масштабуванні та функціональності. Зокрема, вона не підтримує інтеграцію з бухгалтерськими або фінансовими системами, що обмежує можливості використання у великих логістичних компаніях. Відсутність інструментів аналітики та прогнозування звужує сферу застосування BAF до базового обліку персоналу, а необхідність закупівлі додаткових модулів робить її експлуатацію дороговартісною. Крім того, система значною мірою залежить від розробників цих модулів, що ускладнює швидке впровадження нових функцій і підвищує загальні витрати на підтримку. Таким чином, попри доступність і простоту, BAF не забезпечує достатньої гнучкості та масштабованості для потреб середніх і великих логістичних підприємств [26].

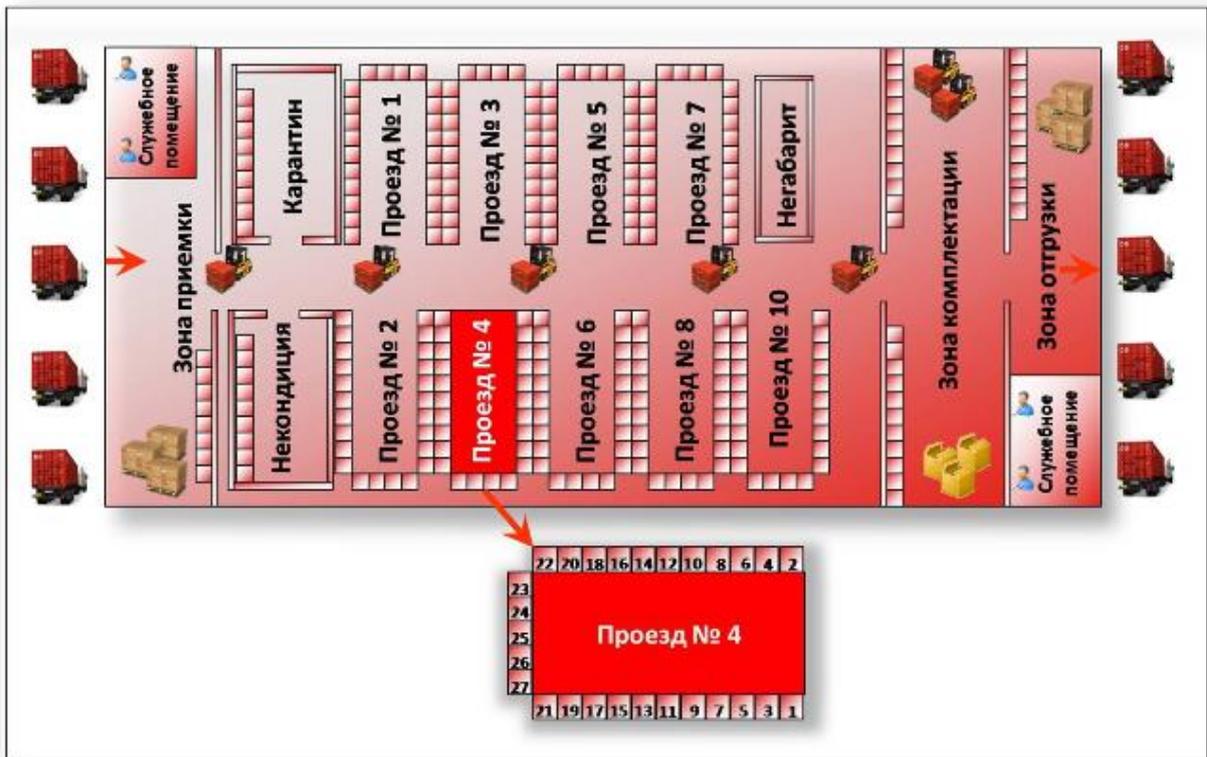


Рисунок 1.5 – Ведення обліку у платформі BAF

Bitrix24 є сучасним програмним продуктом, який здобув популярність завдяки своїй гнучкості та зручності у використанні [27,28]. Система пропонує функціонал для управління завданнями, контролю активності співробітників, обліку робочого часу та внутрішньої комунікації. Вона легко впроваджується і підтримує хмарне зберігання даних, що робить її зручною для невеликих компаній. Водночас використання системи супроводжується низкою суттєвих обмежень. Масштабування є проблемним: при збільшенні кількості користувачів або роботі великих підрозділів продуктивність суттєво знижується. Можливості інтеграції з бухгалтерськими та фінансовими програмами обмежені, що ускладнює поєднання фінансових і кадрових показників. Для розширення функціоналу часто необхідно купувати додаткові плагіни, а висока залежність від розробників цих модулів уповільнює адаптацію системи під специфічні потреби компанії. Крім того, підключення та експлуатація системи є дорогавартісними, технічна підтримка часто не відповідає сучасним вимогам, а інтерфейс у деяких випадках виявляється надто складним для швидкого освоєння користувачами.

Особливо критичною є обставина, що розробником Bitrix24 є російська компанія, що суттєво підвищує юридичні та кібербезпекові ризики під час його використання на території України. Це може призвести до обмежень щодо легального застосування платформи, а також до нестабільності доступу до оновлень чи технічної підтримки через політичні рішення та зовнішні фактори.

Через такі ризики українські компанії змушені зважати не лише на функціональні можливості Bitrix24 (рис.1.6), а й на потенційні загрози для конфіденційності та цілісності даних. Таким чином, попри гнучкість і широкий набір інструментів, також має значні обмеження щодо безпеки, масштабованості та довгострокової підтримки, що знижує його доцільність для впровадження в українських логістичних системах.

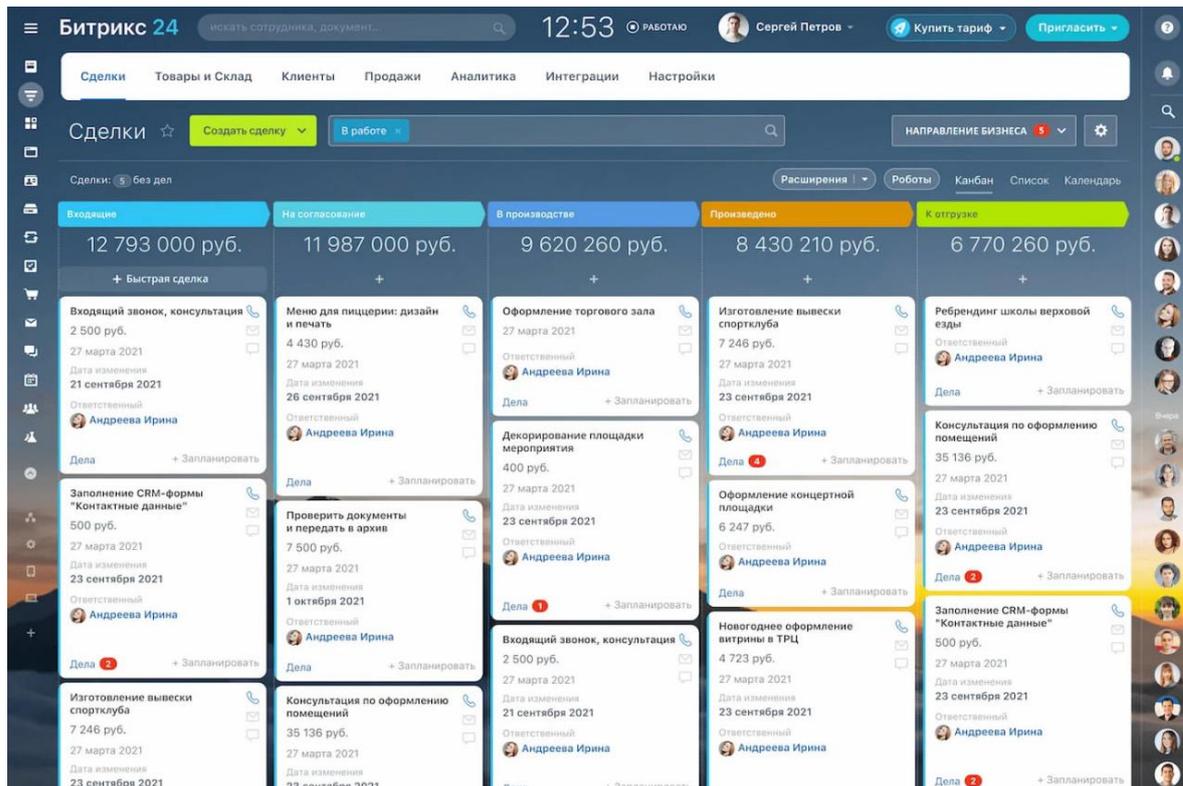


Рисунок 1.6 – Демонстрація роботи Vitrix24

Аналіз існуючих локальних систем свідчить, що жодна з них не забезпечує одночасно простоти впровадження, широких можливостей інтеграції та повної адаптації під логістичну специфіку. Так, BAF відзначається простотою використання та низькою вартістю, але має обмежену масштабованість, не підтримує інтеграцію з бухгалтерськими та фінансовими системами і залежить від розробників додаткових модулів. Vitrix24 пропонує інтуїтивний інтерфейс, управління завданнями, облік робочого часу та хмарне зберігання даних, проте її масштабування обмежене, інтеграція з ERP і фінансовими системами слабка, потрібні додаткові плагіни, а використання системи пов'язане з ризиками через те, що її розробником є російська компанія.

Саме для подолання цих проблем було створено сучасне рішення — LogiTime (рис.1.7), яке позиціонується як практичний та ефективний інструмент для оптимізації обліку робочого часу й інтеграції з наявними інформаційними системами підприємства [29]. На відміну від багатьох універсальних платформ, LogiTime спеціально розроблено з урахуванням українських реалій,

особливостей логістичних компаній та технічних вимог середнього й малого бізнесу.

Система забезпечує швидке налаштування без складної інсталяції та не потребує залучення додаткових спеціалістів, що робить її доступною навіть для підприємств із обмеженими ресурсами. Однією з ключових переваг LogiTime є простота використання та інтуїтивний інтерфейс, завдяки чому персонал може швидко адаптуватися до роботи з системою [30].

Гнучкість LogiTime проявляється у можливості адаптації до специфічних бізнес-процесів компанії та підтримці інтеграцій з такими платформами, як Omniful, VAF та Vitrix24. Це дозволяє об'єднувати дані з різних систем, уникати дублювання інформації та формувати єдине інформаційне середовище.

Завдяки таким можливостям LogiTime не лише знижує витрати на впровадження, але й значно підвищує точність обліку робочого часу, ефективність управління персоналом та прозорість логістичних процесів. У підсумку система демонструє себе як надійний інструмент, що поєднує доступність, функціональність та практичну користь для українських логістичних компаній.

ID рейсу	Дата	Водій	Транспорт	Маршрут (з → до)	Час виїзду/прибуття
10112102025	12.10.2025	Іваненко Олексій	MAN TCX 18.440	Київ → Львів	08:00 / 16:30
10212102025	16.10.2025	Шевченко Андрій	Scania R450	Харків → Дніпро	07:15 / 12:45
10312102025	14.10.2025	Петренко Олексій	MAN TCX 18.440	Одеса → Київ	09:00 / 17:00
10412102025	15.10.2025	Гудман Семен	Volvo FH 500	Львів → Вінниця	06:30 / 13:00
10512102025	15.10.2025	Пінкович Денис	Mercedes Actros	Дніпро → Запоріжжя	10:00 / 14:30
10612102025	15.10.2025	Білий Володимир	Volvo FH 500	Київ → Одеса	08:00 / 16:30
10712102025	16.10.2025	Гудман Семен	Volvo FH 500	Вінниця → Львів	07:15 / 12:45
10812102025	16.10.2025	Ітадоренко Юрій	Scania R450	Одеса → Київ	06:30 / 13:00
10912102025	18.10.2025	Курасак Ігор	Volvo FH 500	Одеса → Київ	09:00 / 17:00
101012102025	20.10.2025	Цепеш Владислав	Volvo FH 500	Дніпро → Харків	06:30 / 13:00

Рисунок 1.7 – Демонстрація програми LogiTime

Зведене порівняння основних характеристик розглянутих систем наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. - Порівняння локальних систем обліку робочого часу

Система	Основні функції	Переваги	Недоліки	Актуальність для логістичних компаній
BAF	Базовий HR-облік, контроль присутності	Простота використання, низька вартість	Обмежена масштабованість, відсутність інтеграції, залежність від розробників	Невеликі підрозділи
Bitrix24	Облік часу, внутрішня комунікація	Інтуїтивний інтерфейс, хмарне зберігання	Обмежена масштабованість, дороговартісне підключення, потрібні плагіни, ризики через російського розробника	Малі команди, обмежено для всього підприємства
Omniful	Управління маршрутами, транспортом, облік робочого часу	Хмарна архітектура, інтуїтивний інтерфейс, інтеграція з ERP та GPS, готові API	Висока залежність від інтернет-з'єднання, частина функцій — у платних пакетах	Великі компанії, середніх
LogiTime	Облік часу, інтеграція з ПЗ, аналітика	Швидка інтеграція, адаптовано під українські реалії	Обмежений функціонал у порівнянні з ERP	Середні та малі компанії

З таблиці 1.5 можна побачити, що жодна з існуючих систем не забезпечує поєднання простоти впровадження, можливостей інтеграції та глибокої адаптації під логістичну специфіку. Саме тому було розроблено нове рішення — LogiTime,

яке позиціонується як сучасний інструмент для оптимізації обліку робочого часу та підвищення ефективності управління персоналом.

Таблиця 1.6 - Проблеми існуючих систем та їх вплив на логістичні процеси

Проблема	Вплив на процеси	Приклади наслідків
Складність інтеграції	Затримки обробки даних, розбіжності між підсистемами	Помилки у звітах при паралельному використанні модулів складу та фінансів
Відсутність аналітики	Неможливість прогнозування	Неефективний розподіл персоналу, неправильне планування маршрутів
Застарілий інтерфейс	Підвищене навантаження на персонал	Тривале впровадження ERP, збільшення кількості помилок
Обмежена масштабованість	Неможливість розширення системи	Зниження продуктивності при збільшенні штату
Недостатня адаптація під логістику	Неефективне управління специфічними операціями	Некоректний облік водіїв і складів, відсутність контролю над транспортними потоками

Виходячи з проаналізованих проблем (табл. 1.6), система LogiTime поєднує простоту впровадження, гнучкі інтеграційні можливості та базові аналітичні інструменти. Вона дозволяє організувати облік робочого часу, контролювати активність співробітників і здійснювати аналіз завантаженості персоналу без необхідності впровадження складних ERP-рішень.

LogiTime адаптована під специфіку українських логістичних компаній середнього та малого масштабу. Вона забезпечує інтеграцію з існуючими платформами, що дозволяє об'єднувати дані з різних підсистем без необхідності дублювання інформації. Крім того, система підтримує формування статистичних звітів та моніторинг ключових показників ефективності персоналу, що спрощує планування робочих змін та розподіл завдань.

Для наочності порівняння ключових характеристик LogiTime та її конкурентів наведена таблиця 1.7, яка демонструє переваги системи у швидкості впровадження, простоті використання, масштабованості, інтеграційних можливостях та аналітичних функціях. Такий підхід дозволяє показати, яким чином LogiTime усуває основні недоліки інших локальних систем і забезпечує оптимальне співвідношення функціоналу, вартості та ефективності управління робочим часом та логістичними процесами [31].

Таблиця 1.7 - Переваги та ключові характеристики LogiTime

Характеристика	LogiTime	Конкуренти
Швидкість впровадження	Висока, без складного налаштування	ERP-системи потребують місяців
Простота використання	Інтуїтивний інтерфейс, мінімум навчання	ВAF потребують тривалого навчання
Інтеграція	Підтримка	Часткова або обмежена
Аналітика	Статистика, моніторинг, звіти по персоналу	Відсутня або обмежена
Адаптація під логістику	Підтримка специфіки транспортно-складських операцій	Частково або відсутня
Масштабованість	Підходить для малих і середніх компаній	ERP-системи під великі компанії, малоприсади для малого бізнесу

Система LogiTime усуває ключові недоліки традиційних локальних рішень, поєднуючи швидкість впровадження, аналітичну функціональність і можливість інтеграції з популярними програмними платформами.

Таким чином, LogiTime закриває прогалину між складними ERP-рішеннями та обмеженими HR-системами, забезпечуючи підприємствам ефективне управління робочими процесами, моніторинг персоналу, формування звітності та підвищення продуктивності без надмірних фінансових витрат. Система підтримує ведення історії робочого часу кожного співробітника, формування статистики завантаженості, інтеграцію з мобільними додатками для контролю водіїв і кур'єрів, а також багатоплатформовий доступ. Це робить її

оптимальним інструментом для логістичних компаній середнього та малого масштабу.

1.5. Формування вимог до системи адаптивного планування

Система адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів повинна забезпечувати ефективне управління ресурсами, транспортними потоками, робочим часом персоналу та складськими операціями. Постановка вимог до такої системи починається з детального аналізу специфіки логістичної діяльності та визначення ключових завдань, які вона має вирішувати.

Першим етапом визначаються функціональні вимоги, що охоплюють основні операційні задачі. До них належать автоматизація планування маршрутів, розподіл завдань між співробітниками, контроль виконання робіт, моніторинг завантаженості транспортних засобів і складів. Система повинна підтримувати динамічне коригування планів у режимі реального часу залежно від змін у замовленнях, наявності ресурсів або виникнення форс-мажорних обставин, що є ключовою властивістю адаптивного планування.

Другим аспектом є визначення нефункціональних вимог, які визначають характеристики продуктивності, надійності та зручності використання системи. Система повинна обробляти великі обсяги даних без втрати швидкодії, забезпечувати безпеку та цілісність інформації, мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс і можливість інтеграції з існуючими інформаційними системами обліку. Також важливим є наявність аналітичних інструментів для оцінки ефективності логістичних операцій, формування звітності та прогнозування навантаження.

Наступним кроком є визначення вимог до алгоритмів адаптивного планування, що лежать в основі системи. Алгоритми повинні враховувати наявність транспортних засобів, графіки роботи персоналу, пріоритети замовлень, обмеження за вантажопідйомністю та часом доставки. Вони повинні забезпечувати автоматичне коригування маршрутів та завдань у разі змін та

здатність до самооптимізації на основі історичних даних і накопиченої статистики. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та скоротити витрати на логістичні операції.

Системі необхідно забезпечити гнучку інформаційну структуру, що інтегрує різні типи даних: замовлення клієнтів, стан транспортних засобів, графіки роботи співробітників, наявність вантажів та складські запаси. Інформаційна структура повинна бути модульною та масштабованою, що дозволяє додавати нові функціональні блоки без значного втручання у базову систему.

Виходячи з зазначеного, ключові вимоги до системи адаптивного планування можна узагальнити у таких блоках. Система повинна забезпечувати автоматизацію логістичних процесів, оперативне динамічне коригування планів, інтеграцію з існуючими обліковими системами, аналітику та прогнозування, високу продуктивність та масштабованість, а також зручність використання для персоналу.

Формування таких вимог створює основу для розробки ефективної системи адаптивного планування, яка дозволяє підвищити продуктивність, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити ефективну організацію логістичних процесів у реальних умовах роботи компанії.

1.6. Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу предметної області встановлено, що процеси логістичного планування характеризуються високою складністю, обумовленою великою кількістю взаємопов'язаних факторів, серед яких обмежені ресурси, часові обмеження, динамічні зміни попиту, непередбачувані обставини та потреба у мінімізації витрат. Традиційні методи планування, які базуються на статичних алгоритмах або фіксованих моделях, не завжди дозволяють досягти необхідного рівня ефективності та гнучкості в умовах

сучасного ринку, де швидкість прийняття рішень і адаптивність систем стають ключовими чинниками конкурентоспроможності.

Актуальність застосування адаптивних алгоритмів планування полягає в їх здатності автоматично коригувати рішення на основі аналізу ситуаційних даних, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни у внутрішньому та зовнішньому середовищі підприємства. Це забезпечує оптимізацію ключових логістичних показників: скорочення часу виконання операцій, зменшення витрат на транспортування та зберігання, підвищення рівня завантаження складів та ефективності використання робочої сили.

У процесі дослідження було детально розглянуто основні підходи до реалізації адаптивних алгоритмів, включаючи евристичні методи, генетичні алгоритми, методи машинного навчання та комбіновані моделі, які здатні враховувати комплексні взаємозв'язки між різними параметрами логістичної системи. Проведена класифікація алгоритмів показала, що вони можуть застосовуватися для вирішення різноманітних завдань: від оптимізації маршрутів перевезень та планування завантаження складів до управління персоналом і контролю виконання виробничих процесів.

Аналіз існуючих інформаційних систем для автоматизації логістики виявив, що більшість сучасних рішень орієнтована на виконання вузькоспеціалізованих функцій, таких як облік робочого часу, контроль виконання завдань або управління транспортними потоками. Це обмежує їх універсальність, масштабованість і здатність до інтеграції в комплексні логістичні процеси. Виявлена потреба у створенні систем, здатних забезпечувати комплексну адаптивну оптимізацію з урахуванням багатокритеріальних параметрів, дозволяє зробити висновок про необхідність розробки інтегрованих платформ, які будуть адаптуватися до динаміки ринку та змін у ресурсній базі підприємства.

На основі проведеного аналізу сформульовано ключові функціональні та технічні вимоги до майбутньої системи адаптивного планування: підтримка багатокритеріальної оптимізації, інтеграція з наявними обліковими та

інформаційними системами, можливість автоматичного оновлення планів у реальному часі, гнучке налаштування користувацьких параметрів та забезпечення прозорості процесів планування. Розроблена інформаційна структура системи передбачає ефективну взаємодію між модулями збору, обробки та аналізу даних, що створює надійну основу для побудови комплексного програмного рішення, здатного враховувати змінність внутрішніх і зовнішніх умов.

Таким чином, проведені дослідження дозволяють узагальнити теоретичні та практичні аспекти адаптивного планування логістичних процесів і формує цілісне розуміння принципів побудови ефективної системи. Результати аналізу вимог, класифікації алгоритмів та оцінки існуючих рішень створюють міцну базу для подальшого проектування, реалізації та впровадження адаптивної системи планування, здатної забезпечити підвищення продуктивності та оптимізацію ресурсів у сучасних логістичних компаніях. Окреслені висновки закладають основу для розробки практичних моделей та інструментів, які можуть бути інтегровані в реальні виробничі і транспортні процеси, забезпечуючи їх адаптивність, масштабованість і ефективність.

2. АНАЛІЗ ВИМОГ ТА ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ

Для створення ефективної системи адаптивного планування логістичних процесів необхідно провести детальний аналіз вимог, бізнес-процесів та інформаційної структури майбутньої системи. Це дозволяє чітко визначити, які функціональні і нефункціональні задачі має виконувати система, як взаємодіятимуть її модулі, які дані будуть оброблятися та як забезпечити інтеграцію з існуючими інформаційними системами підприємства.

У цьому розділі проводиться комплексний аналіз вимог, моделювання бізнес-процесів логістичної компанії з використанням BPMN та UML-нотацій, побудова концептуальної моделі даних за допомогою ER-діаграм, розробка інформаційної структури системи та опис взаємодії її основних модулів. Також розглядаються інформаційні потоки та питання інтеграції з зовнішніми системами, що є критично важливим для забезпечення гнучкості та адаптивності системи. Висновки розділу узагальнюють отримані результати та формують основу для подальшої реалізації системи.

2.1. Визначення функціональних та нефункціональних вимог до системи

Формування вимог до системи адаптивного планування є одним із ключових етапів її розробки, оскільки від цього залежить ефективність автоматизації логістичних процесів та здатність системи оперативно реагувати на зміни в реальному часі. Функціональні вимоги визначають основні операційні задачі, які система повинна виконувати, і є відображенням конкретних потреб підприємства у сфері логістики [32]. До таких вимог належить планування маршрутів та розподіл ресурсів, що передбачає автоматичне визначення оптимальних маршрутів для транспортних засобів із урахуванням обмежень часу доставки, завантаженості транспортних одиниць та пріоритетів замовлень. Це

дозволяє не тільки скоротити витрати на перевезення, але й підвищити загальну продуктивність логістичної системи, зменшуючи простой та невикористані ресурси.

Одним із ключових функціональних аспектів є управління завданнями персоналу, яке забезпечує призначення співробітників на конкретні завдання з можливістю динамічного коригування у разі зміни планів або виникнення форс-мажорних ситуацій. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати робочий час співробітників і забезпечувати своєчасне виконання замовлень, що є критично важливим для компаній із високою інтенсивністю логістичних операцій. Разом із цим система повинна здійснювати моніторинг стану ресурсів, відстежуючи завантаженість складів, наявність вантажів, стан транспортних засобів та час виконання завдань. Це забезпечує своєчасне виявлення потенційних проблем і дає можливість для оперативного втручання з метою запобігання затримкам або порушенню графіка доставки.

Важливим функціональним компонентом системи є аналітика та прогнозування, що дозволяє генерувати звіти про ефективність логістичних операцій, здійснювати аналіз продуктивності, оцінювати завантаженість ресурсів та прогнозувати майбутні навантаження. Наявність аналітичного модуля дозволяє керівництву отримувати структуровану інформацію для прийняття обґрунтованих рішень та оптимізації процесів на основі накопичених даних, що значно підвищує ефективність управління логістичними потоками.

Нефункціональні вимоги визначають характеристики системи, які забезпечують її надійність, продуктивність та зручність використання. Однією з основних вимог є висока швидкодія та масштабованість системи. Це передбачає здатність обробляти великі обсяги даних без втрати продуктивності, а також можливість розширення функціоналу без істотного втручання у вже реалізовані модулі, що є важливим у випадку росту компанії або збільшення обсягів логістичних операцій. Наступним важливим аспектом є безпека та надійність збереження даних, оскільки логістичні системи працюють із великим масивом інформації, включно з даними про замовлення, транспорт, складські запаси та

персонал. Система повинна забезпечувати захист інформації від несанкціонованого доступу, резервне копіювання та можливість відновлення даних у разі виникнення технічних збоїв чи інших непередбачених ситуацій [33].

Ще одним важливим нефункціональним аспектом є інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, що забезпечує швидку адаптацію персоналу до роботи в системі, зменшує час навчання та знижує ризик помилок під час виконання завдань. Інтерфейс повинен бути логічно структурованим, надавати користувачеві доступ до всіх необхідних функцій і дозволяти швидко отримувати інформацію про стан логістичних процесів. Крім того, критичною вимогою є можливість інтеграції з існуючими корпоративними системами обліку та управління. Це дозволить об'єднати дані з різних джерел, створити єдиний інформаційний простір та забезпечити безперервність бізнес-процесів без дублювання інформації і додаткового ручного введення даних.

Таблиця 2.1. Основні функціональні та нефункціональні вимоги системи

Категорія	Вимоги	Коментарі
Функціональні	Планування маршрутів, розподіл завдань, моніторинг ресурсів	Дозволяє оптимізувати логістичні операції у режимі реального часу
	Аналітика та прогнозування	Формування звітів та оцінка ефективності
Нефункціональні	Висока швидкодія та масштабованість	Обробка великих обсягів даних та розширюваність системи
	Безпека та надійність	Захист даних та резервне копіювання
	Інтуїтивний інтерфейс	Зручність використання та швидка адаптація персоналу
	Інтеграція з іншими системами	Сумісність з корпоративними платформами

У таблиці 2.1 продемонстровано основні функціональні та нефункціональні вимоги до системи адаптивного планування разом із поясненнями щодо їх практичної значимості та впливу на ефективність

логістичних процесів. Як видно з таблиці, функціональні вимоги охоплюють ключові аспекти планування маршрутів, розподілу завдань, моніторингу ресурсів та аналітики, що дозволяє оптимізувати логістичні операції у реальному часі. Нефункціональні вимоги визначають характеристики системи, що забезпечують її надійність, безпеку, масштабованість та інтеграцію з корпоративними платформами, а також зручність роботи користувачів. Такий комплексний підхід до формування вимог гарантує, що створена система буде ефективно виконувати поставлені завдання і забезпечить адаптивність логістичних процесів у різноманітних умовах функціонування компанії.

2.2. Моделювання бізнес-процесів логістичної системи (BPMN/UML-нотації)

Моделювання бізнес-процесів є невід'ємним етапом розробки системи адаптивного планування, оскільки дозволяє наочно відобразити послідовність операцій, взаємодію між учасниками процесу та логіку прийняття рішень у логістичній компанії. В сучасних умовах, коли логістичні операції є складними та динамічними, наявність чітко визначених бізнес-процесів дозволяє системі забезпечувати ефективне планування, контроль та адаптацію процесів у режимі реального часу.

Основним інструментом для моделювання таких процесів є нотація BPMN (Business Process Model and Notation), яка забезпечує стандартний спосіб опису процесів, визначає ролі учасників, активності, події та послідовності взаємодій. BPMN-діаграми дозволяють не лише відобразити порядок виконання завдань, але й підкреслити точки прийняття рішень, місця можливих відхилень від стандартного процесу та логіку обробки форс-мажорних ситуацій, що є критично важливим для систем адаптивного планування.

У логістичній системі основними бізнес-процесами є надходження замовлення від клієнта, перевірка наявності вантажу на складі, планування маршруту з урахуванням наявних транспортних засобів та графіків роботи

персоналу, розподіл завдань між співробітниками, виконання завдань та моніторинг виконання, а також формування звітів про результати діяльності. На кожному етапі процесу система повинна мати можливість адаптувати план залежно від змін у замовленнях, затримок, змін стану транспортних засобів або змін у наявності ресурсів.

Для наочного прикладу можна розглянути спрощений процес обробки замовлення у логістичній компанії. Після надходження замовлення система перевіряє наявність необхідного вантажу на складі та стан транспортних засобів. У разі, якщо ресурсів недостатньо, відбувається повідомлення відповідального менеджера та коригування плану [34]. Після підтвердження наявності ресурсів система здійснює автоматичне планування маршруту та призначає завдання водіям та співробітникам складу, після чого відстежується виконання завдань і оновлюється база даних про стан процесу. На завершальному етапі формуються аналітичні звіти про ефективність роботи, що дозволяє керівництву оцінити продуктивність та виявити можливості для оптимізації.

На рисунку 2.1 зображено BPMN-модель процесу обробки замовлення у логістичній компанії. BPMN (Business Process Model and Notation) використовується для графічного представлення бізнес-процесів, що дозволяє візуально показати послідовність дій, логіку прийняття рішень і взаємозв'язки між учасниками процесу. У наведеному прикладі процес починається з надходження замовлення, після чого система перевіряє наявність вантажу та транспортних засобів. Якщо ресурси доступні, виконується планування маршруту, призначення завдань співробітникам і подальше виконання цих завдань. На завершальних етапах здійснюється моніторинг виконання робіт і формування підсумкового звіту. Якщо ж ресурси недоступні, система повідомляє про це менеджера, який приймає рішення щодо коригування плану або перенесення виконання замовлення. Такий підхід дозволяє наочно відобразити ключові етапи бізнес-процесу, критичні точки прийняття рішень і логіку роботи системи.

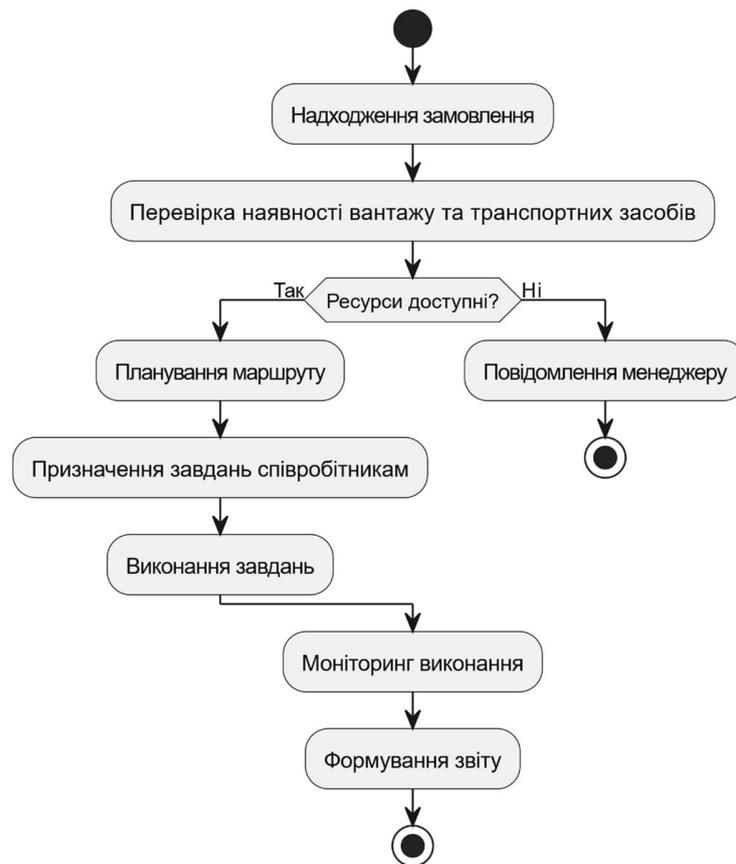


Рисунок 2.1 – Приклад BPMN-діаграми

Для більш детального аналізу логіки функціонування системи адаптивного планування доцільно застосовувати UML-діаграми активності. Якщо BPMN описує процес з позиції бізнесу, то UML концентрується на внутрішній логіці виконання дій — на тому, як система обробляє дані, приймає рішення та реагує на зміни умов. UML-діаграма активності для даного прикладу може відобразити алгоритм перевірки наявності ресурсів, процедуру вибору оптимального маршруту з урахуванням часу, відстані та стану транспорту, а також механізм адаптації плану у разі зміни замовлення чи відмови техніки. Крім того, UML дозволяє змоделювати паралельне виконання завдань — наприклад, одночасне формування маршрутів і підготовку вантажу на складі. Таким чином, BPMN-модель відображає загальну структуру бізнес-процесу, а UML-діаграма активності деталізує алгоритмічні дії системи, що забезпечує повніше розуміння роботи адаптивної системи планування у логістиці.

Важливим елементом побудови системи адаптивного планування є використання BPMN-нотацій, які дозволяють візуалізувати послідовність основних етапів процесу обробки замовлення. На схемі BPMN відображено типовий алгоритм роботи логістичної компанії: процес починається з надходження замовлення, після чого виконується перевірка наявності вантажу та транспортних засобів. Якщо ресурси доступні, система переходить до планування маршруту, призначення завдань співробітникам і подальшого виконання робіт. Далі здійснюється моніторинг виконання, формування звіту та оновлення інформації про стан процесу. У разі нестачі ресурсів система повідомляє менеджера, який ухвалює рішення щодо коригування плану або перенесення виконання замовлення. Така BPMN-модель дозволяє наочно представити ключові етапи бізнес-процесу, логіку прийняття рішень та залежності між окремими операціями.

Доповненням до BPMN є використання UML-діаграм активності, які деталізують алгоритми адаптивного планування на рівні системної логіки. UML-діаграми описують послідовність операцій, умови прийняття рішень, паралельне виконання завдань і взаємодію між підсистемами. Для розглянутої системи вони дозволяють формалізувати правила коригування маршрутів у разі зміни замовлення, перепризначення завдань персоналу та оптимізації використання транспортних ресурсів на основі історичних даних [35].

UML-діаграми активності можуть також відображати сценарії паралельного виконання завдань, наприклад одночасну підготовку вантажу на складі та побудову маршруту для водіїв. Це дає змогу скоротити загальний час обробки замовлень і підвищити ефективність логістичних процесів. Важливою частиною моделювання є опис обробки виняткових ситуацій — наприклад, виходу з ладу транспортного засобу чи затримки на складі. У таких випадках система має автоматично перебудовувати маршрути, переназначати завдання персоналу та повідомляти відповідального менеджера, забезпечуючи безперервність виконання процесу.

Моделювання бізнес-процесів із використанням BPMN та UML дозволяє визначити точки інтеграції з корпоративними базами даних, обліковими системами та платформами управління ресурсами. Це сприяє уніфікації потоків даних, підвищує прозорість процесів і створює єдиний інформаційний простір для функціонування адаптивних алгоритмів планування.

Узагальнюючи, поєднання BPMN- та UML-моделювання забезпечує комплексне представлення як бізнес-рівня процесів, так і їх внутрішньої логіки. Такий підхід дозволяє формалізувати алгоритми адаптивного планування, оптимізувати використання ресурсів, зменшити ризики простоїв та підготувати основу для подальшої автоматизації логістичних операцій у компанії.

2.3. Побудова концептуальної моделі даних (ER-діаграми)

Концептуальна модель даних є фундаментальною основою для будь-якої системи адаптивного планування, оскільки вона визначає структуру зберігання та обробки інформації, необхідної для ефективного функціонування логістичної системи. Моделювання даних на концептуальному рівні дозволяє чітко визначити ключові об'єкти логістичного процесу, їхні атрибути та взаємозв'язки, що є критично важливим для забезпечення правильного виконання алгоритмів адаптивного планування. В рамках системи адаптивного планування основними об'єктами виступають замовлення, транспортні засоби, співробітники, склади, вантажі та маршрути. Кожна з цих сутностей має низку атрибутів, які відображають реальні характеристики логістичної операції. Замовлення включає дані про клієнта, тип вантажу, обсяг та вагу вантажу, дату і час доставки, пріоритет виконання та статус обробки. Транспортні засоби характеризуються вантажопідйомністю, типом, поточним станом, технічним обслуговуванням та наявністю водія, що дозволяє враховувати їхні можливості при плануванні маршрутів. Співробітники системи представлені атрибутами кваліфікації, ролі у логістичному процесі, робочого графіка та поточного

завантаження, що дає змогу системі ефективно розподіляти завдання і оптимізувати використання людських ресурсів.

Вантажі як сутність містять інформацію про тип товару, обсяг, вагу, умови зберігання та термін доставки. Ця інформація дозволяє системі оцінювати сумісність вантажу з транспортними засобами, визначати пріоритети перевезень і забезпечувати збереження товару під час транспортування. Склади відображають просторове розташування, наявність місць зберігання, умови зберігання та поточну заповненість, що дозволяє системі приймати рішення щодо вибору складу для завантаження або розвантаження вантажу. Маршрути формалізують послідовність точок доставки, відстані між ними, обмеження за часом і ресурсами та пов'язані транспортні засоби.

ER-діаграми (Entity-Relationship diagrams) дозволяють візуально представити всі ці сутності та відносини між ними, забезпечуючи чітке розуміння того, як дані зберігаються та обробляються у системі. На концептуальному рівні ER-діаграма відображає сутності та відносини, які встановлюють логічні зв'язки між різними елементами логістичного процесу. Наприклад, замовлення завжди пов'язане з конкретним клієнтом, містить інформацію про вантаж і дату доставки, а також асоційоване з маршрутом та транспортним засобом [36]. Транспортні засоби, у свою чергу, пов'язані з маршрутом та можуть мати призначеного водія зі списку співробітників. Склади взаємодіють з вантажами через відносини зберігання, що дає можливість системі відстежувати наявність товарів і оперативно реагувати на зміни у запасах.

Розробка концептуальної ER-моделі дозволяє виявити надлишкові дані та дублювання інформації ще на етапі проектування, що значно оптимізує структуру бази даних і підвищує ефективність подальшої реалізації системи. На цьому етапі визначаються основні сутності, їх атрибути та логічні зв'язки між ними, що формує цілісне уявлення про інформаційну структуру системи. Такий підхід забезпечує можливість системного аналізу предметної області та запобігає виникненню логічних помилок під час переходу до фізичної реалізації.

Крім того, наявність концептуальної моделі створює основу для побудови фізичної моделі даних, у якій визначаються конкретні таблиці, поля, ключі та типи зв'язків у реляційній базі даних. Це дає змогу формалізувати правила цілісності даних, обмеження на значення атрибутів, умови взаємозв'язку сутностей і механізми оновлення даних [37]. Така структурована модель відіграє важливу роль у забезпеченні надійності та узгодженості всієї інформаційної системи, що особливо важливо для алгоритмів адаптивного планування, які оперують великою кількістю взаємопов'язаних об'єктів, параметрів і змінних у динамічних умовах логістичних процесів.

Подана на рисунку 2.2 ER-модель відображає структуру бази даних логістичної системи, що забезпечує управління замовленнями, вантажами, транспортом, персоналом і звітністю.

Центральною сутністю є «Замовлення» (Order), яке пов'язане з іншими елементами системи. Воно містить дані про клієнта, дату, статус, вагу вантажу та адресу доставки. Одне замовлення може включати кілька завдань (Task), що описують конкретні операції — перевірку вантажу, доставку чи планування маршруту.

Клієнт (Client) подає замовлення і містить контактну інформацію, створюючи зв'язок «один до багатьох» із замовленнями. Вантаж (Cargo) зберігає відомості про найменування, вагу, кількість, місцезнаходження та доступність.

Завдання (Task) є ключовим елементом процесу — воно пов'язане з конкретним співробітником, транспортним засобом і маршрутом. Співробітник (Employee) виконує завдання, транспортний засіб (Vehicle) використовується для доставки, а маршрут (Route) визначає шлях і час перевезення.

Звіт (Report) містить підсумкову інформацію про виконання замовлення: дату створення, оцінку ефективності та коментарі.

Загалом модель демонструє логічно пов'язану структуру, що дозволяє автоматизувати процеси прийому, планування, виконання та контролю логістичних операцій у компанії.

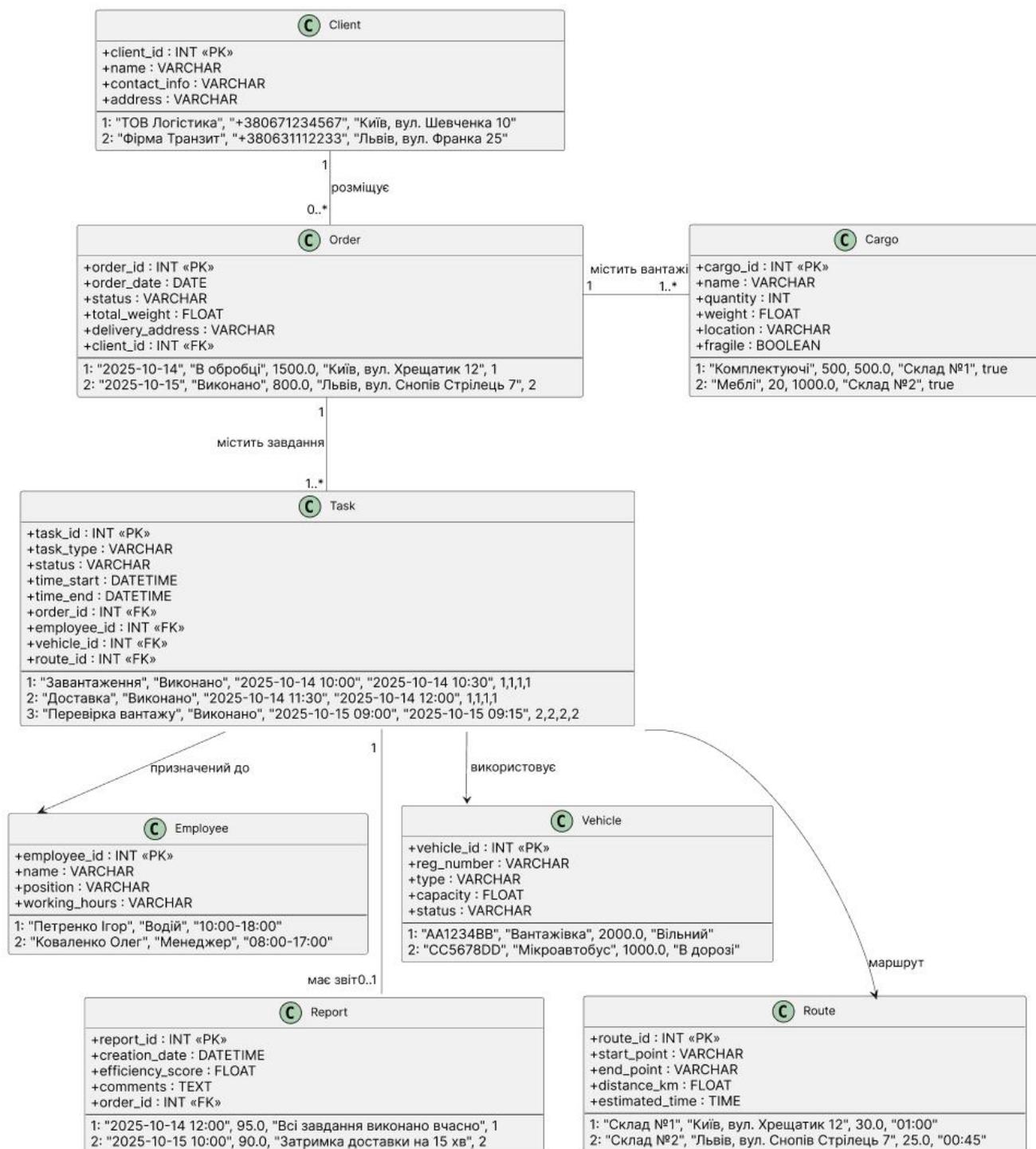


Рисунок 2.2 - ER-модель

Крім цього, концептуальна ER-модель є важливим інструментом для подальшого розвитку системи, оскільки дозволяє легко додавати нові сутності та атрибути без порушення цілісності існуючої структури. Наприклад, у разі необхідності введення нового типу транспортних засобів, спеціалізованих складів для небезпечних вантажів або розширення аналітичного модуля,

концептуальна модель вже містить механізм для інтеграції цих нових елементів. Вона також дозволяє стандартизувати дані, що надходять із зовнішніх систем, забезпечуючи єдиний інформаційний простір для всієї логістичної компанії.

Таким чином, побудова концептуальної моделі даних є критично важливим етапом для створення системи адаптивного планування, оскільки вона визначає структуру інформації, необхідної для оптимізації логістичних процесів, забезпечує основу для інтеграції модулів системи та дозволяє реалізувати алгоритми автоматичного планування маршрутів, розподілу ресурсів та управління завданнями персоналу в режимі реального часу [38]. Концептуальна модель даних не лише формалізує структуру інформації, але й служить орієнтиром для розробки фізичної бази даних та програмного забезпечення, що забезпечує ефективність, масштабованість і надійність системи в цілому.

2.4. Розробка інформаційної структури системи

Інформаційна структура системи адаптивного планування є ключовим елементом, що визначає організацію обробки, зберігання та передачі даних між різними підсистемами та модулями. На цьому етапі розробки формується логіка взаємодії всіх компонентів системи, яка забезпечує цілісність інформаційних потоків та узгодженість виконання операцій. Така структура дозволяє алгоритмам адаптивного планування ефективно працювати з даними про замовлення, транспортні засоби, склади, ресурси та персонал, забезпечуючи оперативне прийняття рішень у складних логістичних умовах. Упорядкування та формалізація даних безпосередньо впливають на точність моделювання процесів, швидкість реагування та можливість автоматизації великої кількості рутинних процедур.

Система побудована на основі концептуальної моделі даних, яка визначає ключові сутності та їх взаємозв'язки, і реалізується через низку спеціалізованих модулів. Кожен модуль відповідає за певний тип інформації та реалізує окремі функції, що у сукупності забезпечують комплексне управління логістичними

процесами. Основні компоненти інформаційної структури включають модуль введення та зберігання даних, модуль аналітики та прогнозування, модуль управління маршрутами та завданнями, модуль моніторингу ресурсів, модуль інтерфейсу користувача та інтеграційний модуль для обміну даними із зовнішніми системами. Кожен із цих компонентів працює з чітко визначеними атрибутами бази даних, що гарантує узгодженість, цілісність та мінімізацію дублювання інформації.

Модуль введення та зберігання даних виконує функцію центрального сховища, що акумулює інформацію з зовнішніх джерел та користувацьких інтерфейсів. Він структурує її відповідно до встановлених правил та форматів, після чого передає іншим модулям уніфіковані набори даних. Завдяки цьому модуль управління маршрутами отримує необхідну інформацію для формування оптимальних логістичних рішень [39]. Алгоритми маршрутизації аналізують параметри часу доставки, пріоритети замовлень, поточну завантаженість транспортних засобів, доступність складів та графіки роботи персоналу. У співпраці з аналітичним модулем цей компонент дозволяє здійснювати прогнозування потреб у ресурсах, оцінювати навантаження на транспортну інфраструктуру та генерувати звіти для керівництва.

Модуль моніторингу ресурсів забезпечує безперервне відстеження стану транспортних засобів, складів, вантажів та персоналу. Дані з цього модуля інтегруються з блоками аналітики та планування, що забезпечує динамічне коригування маршрутів і завдань у реальному часі. У результаті система отримує здатність оперативно реагувати на зміни — такі як затримки, відхилення від маршруту або нестачу ресурсів — і своєчасно вносити корективи для підтримання ефективності логістичних процесів.

Модуль інтерфейсу користувача забезпечує зручну та інтуїтивно зрозумілу взаємодію з системою, подаючи всю необхідну інформацію у формі дашбордів, таблиць і графічних схем. Простота використання інтерфейсу дозволяє персоналу швидко орієнтуватися в поточному стані логістичних операцій та приймати обґрунтовані рішення без потреби у додатковому навчанні.

Інформаційна структура системи орієнтована на модульність і масштабованість. Це означає, що до неї можуть бути додані нові функціональні блоки або модулі без необхідності суттєво переробляти наявну архітектуру. Наприклад, при інтеграції з новими корпоративними платформами або впровадженні моделей машинного навчання для прогнозного аналізу достатньо розширити інтеграційний або аналітичний модуль, не змінюючи фундаментальну логіку системи.

Для наочного представлення структури застосовується схема взаємодії модулів (рисунок 2.3), яка демонструє напрямки руху даних та логіку їх трансформації. На ній показано, що інформація, отримана з інтерфейсу користувача, надходить до модуля планування маршрутів, який використовує ресурси бази даних для обчислення оптимальних рішень. Результати планування передаються як до аналітичного модуля, так і до модуля моніторингу виконання завдань, що дозволяє відстежувати стан маршрутів, своєчасно виявляти відхилення й оперативно вносити корективи.

Така організація інформаційних потоків забезпечує адаптивність системи, її здатність гнучко реагувати на зміни умов у реальному часі та ефективно розподіляти ресурси. У підсумку інформаційна структура виступає фундаментом для реалізації складних алгоритмів оптимізації та є ключовим чинником підвищення продуктивності логістичних процесів.

Інформаційна структура забезпечує узгодженість формування та обробки даних у межах всієї системи, що особливо важливо при масштабуванні або роботі з великими масивами інформації. Вона уніфікує формати даних та правила їх передачі між модулями, що мінімізує ризики виникнення помилок і підвищує надійність роботи програмного забезпечення. Завдяки цьому система може функціонувати стабільно навіть за умов високої інтенсивності запитів або при значному збільшенні кількості користувачів. Крім того, правильно організована інформаційна структура створює підґрунтя для подальшого впровадження інтелектуальних технологій, таких як нейронні мережі чи методи

машинного навчання, що відкриває можливості для підвищення точності прогнозування та подальшої автоматизації логістичних процесів.

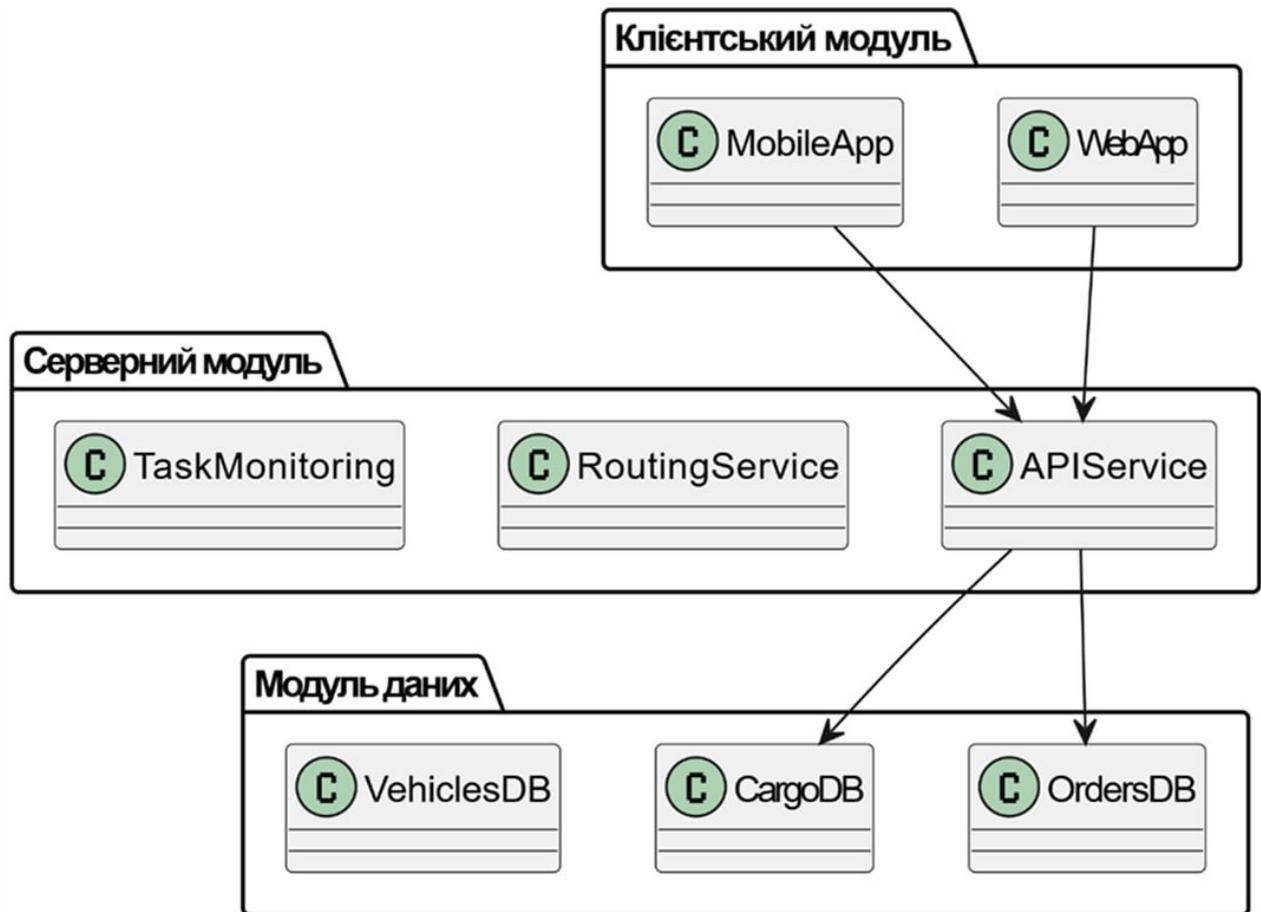


Рисунок 2.3 Схема інформаційної структури системи

Для детального опису структури даних та взаємодії компонентів системи можна розглянути таблицю 2.2, яка відображає ключові модулі інформаційної структури, їхні функціональні обов'язки, джерела даних та типи вихідної інформації. Така таблиця дозволяє наочно оцінити, як різні підсистеми обробляють дані, взаємодіють між собою та забезпечують реалізацію алгоритмів адаптивного планування [40]. Вона також демонструє логіку руху інформаційних потоків від моменту введення первинних даних до формування аналітичних звітів та управлінських рішень, що дозволяє більш глибоко зрозуміти внутрішню архітектуру системи.

Завдяки структурованому представленню інформації у вигляді таблиці стає можливим визначити потенційні точки інтеграції, зони підвищеного навантаження та модулі, які потребують особливої уваги при масштабуванні. Це, у свою чергу, полегшує подальше вдосконалення системи, її оптимізацію та підготовку до розширення функціоналу.

Таблиця 2.2. Основні модулі інформаційної структури та їх функції

Модуль	Основні функції	Джерела даних	Вихідні дані
Модуль введення та зберігання	Прийом, обробка та збереження даних замовлень, ресурсів, персоналу та складів	Інтерфейс користувача, зовнішні системи	Стандартизовані дані для інших модулів
Модуль планування маршрутів	Формування оптимальних маршрутів, призначення ресурсів та співробітників	База даних ресурсів, модуль моніторингу	Маршрути, завдання, пріоритети
Модуль аналітики	Оцінка ефективності, прогнозування завантаженості, формування звітів	Модуль планування, база даних ресурсів	Аналітичні звіти, рекомендації
Модуль моніторингу	Контроль стану транспортних засобів, наявності вантажів, робочого часу	База даних ресурсів	Дані для коригування планів у реальному часі
Модуль інтерфейсу користувача	Відображення інформації, взаємодія з користувачем	Всі модулі	Візуалізовані дані та інтерфейс для управління

Кожен модуль виконує специфічні завдання та забезпечує інформаційну взаємодію всередині системи, підтримуючи динамічне та адаптивне планування логістичних процесів. Зокрема, модуль моніторингу даних забезпечує оновлення стану ресурсів у реальному часі, що дозволяє алгоритмам адаптивного планування оперативно реагувати на зміни, а модуль аналітики надає інформацію для стратегічного прийняття рішень та оцінки ефективності логістичних операцій.

Таким чином, розробка інформаційної структури системи є ключовим етапом, який забезпечує логічну організацію даних, інтеграцію модулів та узгоджене функціонування алгоритмів адаптивного планування, що дозволяє підвищити ефективність логістичних процесів, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити надійність і масштабованість системи в умовах реального часу.

2.5. Опис взаємодії основних модулів системи

Взаємодія основних модулів системи адаптивного планування визначає логіку обміну інформацією, послідовність обробки даних та забезпечує узгодженість дій при управлінні логістичними процесами. Ефективна координація модулів є критично важливою для забезпечення динамічного коригування маршрутів, розподілу ресурсів та оптимізації роботи персоналу, що дозволяє системі адаптивного планування швидко реагувати на зміни у замовленнях, стані транспортних засобів, наявності вантажів та зовнішніх умовах.

Основним компонентом, який забезпечує первинне формування даних для системи, є модуль управління замовленнями. Цей модуль отримує інформацію як від користувачів системи через інтерфейс, так і від зовнішніх джерел, таких як ERP-системи або корпоративні платформи [41]. Після прийому даних модуль обробляє їх для формування стандартизованих записів у базі даних ресурсів, де включаються всі ключові атрибути замовлень: клієнт, тип вантажу, терміни доставки, пріоритет та особливі вимоги. Оброблена інформація передається до модуля планування маршрутів, де алгоритми адаптивного планування визначають оптимальні маршрути для транспортних засобів, призначають відповідних співробітників та розподіляють ресурси відповідно до поточного стану системи. При цьому враховуються обмеження щодо вантажопідйомності, графіків роботи персоналу, дорожньої ситуації та пріоритетів замовлень.

Модуль моніторингу ресурсів здійснює безперервний контроль стану транспортних засобів, наявності вантажів на складах, виконання завдань співробітниками та рівня завантаженості маршрутів. Дані, отримані цим модулем, передаються до модуля планування маршрутів і аналітичного модуля, що дозволяє оперативно коригувати плани, перенаправляти ресурси та змінювати пріоритети замовлень у реальному часі. Така взаємодія забезпечує високу адаптивність системи та дозволяє уникати простоїв, перевантаження транспортних засобів або затримок у виконанні замовлень.

Аналітичний модуль є центральним компонентом, який обробляє як поточні, так і історичні дані, формуючи прогнози завантаженості, ефективності використання ресурсів та продуктивності персоналу [42]. Модуль аналізує виконання маршрутів, час доставки, співвідношення між плановими і фактичними показниками та надає рекомендації щодо оптимізації процесів. Крім того, аналітичний модуль взаємодіє з модулем інтерфейсу користувача для відображення звітів, графіків завантаженості, аналітичних діаграм та пропозицій щодо поліпшення планування, забезпечуючи керівників логістичних компаній достовірною та наочною інформацією для прийняття рішень.

Інтеграційний модуль забезпечує взаємозв'язок із зовнішніми системами, такими як облікові платформи, ERP-системи, системи управління складом та корпоративні портали. Він синхронізує дані, забезпечує безперервний обмін інформацією та підтримує єдиний інформаційний простір, що є критично важливим для забезпечення комплексного контролю за логістичними процесами. Завдяки інтеграційному модулю система здатна отримувати актуальні дані про наявність ресурсів, зміни у замовленнях та стан транспортних засобів, що дозволяє алгоритмам адаптивного планування швидко реагувати на будь-які зміни у зовнішньому середовищі.

Для наочного відображення логіки взаємодії основних модулів системи можна використати схему (рис. 2.4), яка демонструє основні потоки даних між модулями, послідовність обробки інформації та взаємозв'язок з зовнішніми платформами. На схемі показано, що дані від користувача та зовнішніх систем

спочатку надходять до модуля управління замовленнями, далі інформація передається до модуля планування маршрутів та модуля моніторингу ресурсів, паралельно аналізується аналітичним модулем і відображається користувачеві через інтерфейс. Інтеграційний модуль забезпечує обмін даними з корпоративними платформами у реальному часі, що гарантує актуальність інформації для всіх підсистем.

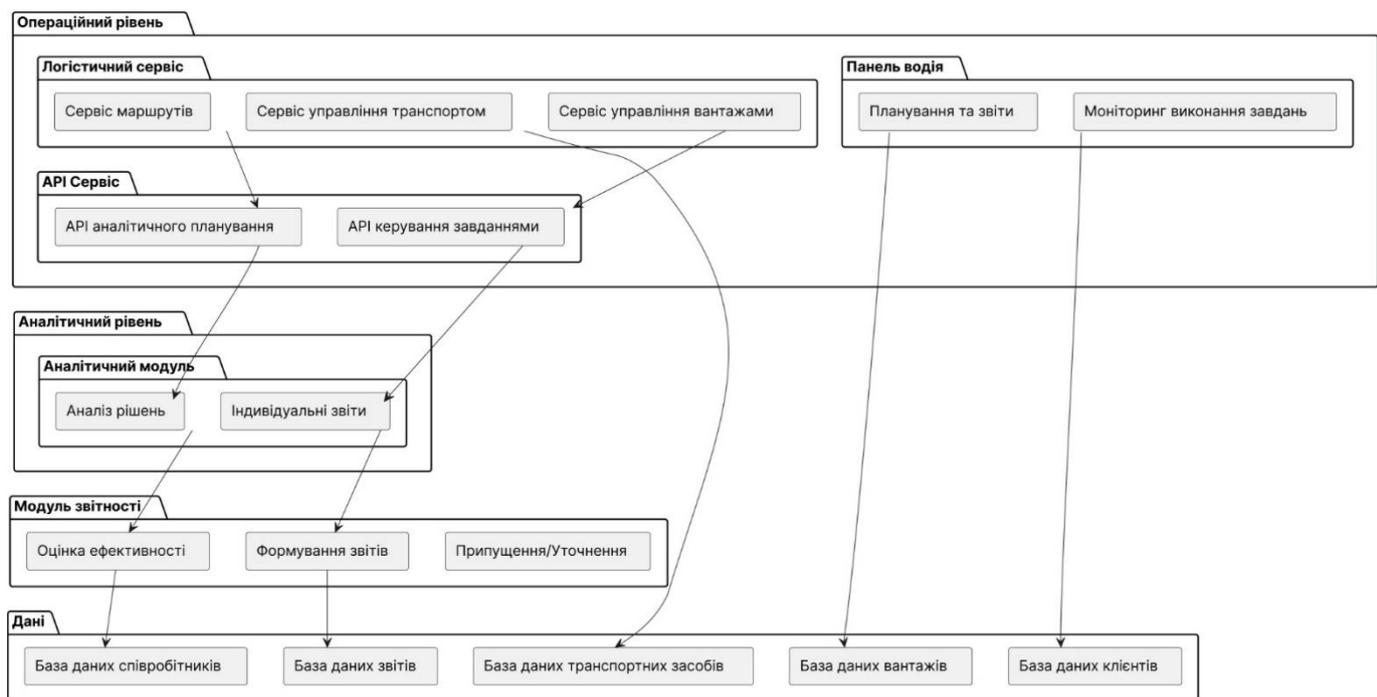


Рисунок 2.4 Схема взаємодії основних модулів системи

Схему взаємодії основних модулів системи відображає їх функціональні зв'язки та інформаційні потоки. До складу системи входять кілька взаємопов'язаних компонентів: сервісне ядро, користувацький модуль, модуль аналітики та модуль зберігання даних. Кожен з них виконує певні функції, забезпечуючи цілісність процесів обліку, планування та контролю логістичних операцій.

Сервісне ядро є центральним елементом системи, у межах якого реалізовано підсистеми моніторингу та аналітики, логістичних сервісів і прикладних API-сервісів. Підсистема моніторингу та аналітики відповідає за збір, оброблення та узагальнення інформації щодо виконання завдань,

дотримання маршрутів, часу прибуття та стану транспортних засобів. Логістичні сервіси забезпечують автоматизацію процесів управління транспортом, маршрутизації та обліку вантажів. Прикладні API-сервіси призначені для взаємодії із зовнішніми системами, що реалізують алгоритми навчання завдань або адаптивного планування, та виступають основою для інтеграції системи з іншими інформаційними платформами.

Користувацький модуль представлено у вигляді мобільного та вебдодатка, через які здійснюється доступ користувачів до сервісного ядра. За допомогою цього модуля користувачі можуть переглядати інформацію про виконанні завдання, формувати нові маршрути, контролювати стан транспорту та отримувати аналітичні звіти. Обмін даними між користувацьким модулем і сервісним ядром відбувається за допомогою стандартизованого веб-API, що гарантує узгодженість і безпеку передавання інформації.

Модуль аналітики призначений для формування звітності, оцінювання ефективності діяльності та прогнозування логістичних показників. У його межах здійснюється оброблення даних, отриманих із сервісного ядра та модуля зберігання даних, з метою формування агрегованих аналітичних показників, виявлення закономірностей і підтримки управлінських рішень. Результати аналітичної обробки передаються користувацькому модулю для подальшого відображення у вигляді звітів або візуальних представлень.

Модуль зберігання даних виконує функцію централізованого сховища, у якому розміщено бази даних завдань, транспортних засобів, співробітників, витрат і звітів. Він забезпечує виконання базових CRUD-операцій (створення, читання, оновлення, видалення) та підтримує узгодженість інформації між усіма модулями системи. Саме цей компонент відповідає за довготривале збереження даних, а також за забезпечення їх доступності для інших частин системи.

Взаємодія між модулями здійснюється за принципом централізованого обміну даними. Користувацький модуль ініціює запити до сервісного ядра, яке, у свою чергу, звертається до модуля зберігання даних для отримання або оновлення відповідної інформації. Після оброблення запиту результати

передаються до модуля аналітики для подальшої оцінки ефективності чи прогнозування. Отримані аналітичні дані інтегруються у звіти, що повертаються користувачеві через інтерфейс мобільного або вебдодатка. Таким чином, система функціонує як єдиний інформаційний комплекс, у якому забезпечується безперервний обмін структурованими даними між усіма модулями, що сприяє підвищенню точності планування, оперативності управлінських рішень і загальної ефективності логістичних процесів.

Таблиця 2.3. Взаємодія основних модулів системи та інформаційні потоки

Відправник	Одержувач	Тип даних	Мета використання
Модуль управління замовленнями	Модуль планування маршрутів	Інформація про замовлення, пріоритети, час доставки	Формування оптимальних маршрутів і розподіл ресурсів
Модуль моніторингу ресурсів	Модуль планування маршрутів	Поточний стан транспортних засобів та складів	Оперативне коригування маршрутів і завдань
Модуль моніторингу ресурсів	Аналітичний модуль	Дані про виконання завдань та використання ресурсів	Оцінка ефективності та прогнозування навантаження
Аналітичний модуль	Інтерфейс користувача	Звіти, графіки, рекомендації	Надання інформації для прийняття управлінських рішень

Взаємодія модулів забезпечує цілісність системи, ефективний обмін інформацією та узгоджене виконання алгоритмів адаптивного планування. Така взаємодія (табл. 2.3) дозволяє наочно оцінити критично важливі потоки даних, визначити точки інтеграції та оптимізації, а також забезпечити безперебійну роботу системи навіть у умовах динамічних змін у замовленнях або ресурсах.

Таким чином, розробка та документування взаємодії модулів є ключовим етапом проектування інформаційної структури системи, оскільки вона забезпечує синхронізацію роботи всіх компонентів, підвищує адаптивність та продуктивність системи, а також дозволяє реалізувати ефективне планування

логістичних процесів у режимі реального часу. Детальне описання взаємодій також спрощує подальшу інтеграцію нових функціональних модулів та підтримку системи під час її експлуатації. Крім того, чітке документування взаємодій дозволяє зменшити ризик помилок при масштабуванні системи та забезпечує прозорість процесів для всіх учасників проекту.

2.6. Визначення інформаційних потоків та інтеграції з зовнішніми системами

Визначення інформаційних потоків у системі адаптивного планування є критично важливим етапом проектування, оскільки від способу організації обміну даними між модулями системи та зовнішніми платформами залежить швидкість, точність та ефективність виконання логістичних процесів. Інформаційні потоки визначають, як дані про замовлення, транспортні засоби, вантажі, персонал, стан складів та маршрути надходять у систему, як вони обробляються алгоритмами адаптивного планування та як результати їх обробки повертаються користувачам або інтегруються в інші системи підприємства. Чітко визначені потоки дозволяють забезпечити своєчасність оновлення інформації, уникнути конфліктів даних і гарантувати узгодженість роботи між усіма складовими програмного комплексу.

У системі адаптивного планування первинні дані можуть надходити як від користувачів через інтерфейс, так і від зовнішніх корпоративних платформ, ERP-систем або облікових програм. Модуль управління замовленнями є початковим вузлом інформаційних потоків, що забезпечує прийом, перевірку, нормалізацію та зберігання даних у базі ресурсів. Після цього інформація передається до модуля планування маршрутів, де за допомогою алгоритмів оптимізації формується найефективніша логістична стратегія, визначаються оптимальні напрями руху транспортних засобів, розподіляються ресурси та встановлюються пріоритети виконання завдань. Надалі модуль моніторингу ресурсів забезпечує ідентифікацію актуального стану транспортних засобів, вантажів і складських

запасів, своєчасно передаючи оновлення в аналітичний модуль та модуль планування, що дозволяє здійснювати оперативне коригування рішень у разі зміни зовнішніх умов або появи непередбачених обставин.

Аналітичний модуль відіграє центральну роль у формуванні керівної інформації: він обробляє історичні, статистичні та оперативні дані, створюючи розширені звіти щодо продуктивності логістичних процесів, ефективності використання транспортних засобів, дотримання графіків доставки та навантаження персоналу. Дані аналітики подаються у вигляді графічних елементів — графіків, діаграм, порівняльних таблиць — у користувацькому інтерфейсі, що дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення. Водночас усі зміни у замовленнях, маршрутах, завданнях або ресурсах фіксуються у базі даних, забезпечуючи повну трасованість, прозорість і можливість подальшого аудиту.

Інтеграція із зовнішніми системами є ключовим елементом побудови інформаційних потоків, оскільки забезпечує єдиний інформаційний простір для роботи алгоритмів адаптивного планування. Вона дозволяє системі отримувати актуальні дані з ERP, складських модулів, CRM або транспортних платформ, що підвищує точність і оперативність прийняття рішень. Для цього використовуються стандартизовані API та сучасні протоколи обміну даними (REST, SOAP, GraphQL), а також універсальні формати JSON і XML, які забезпечують сумісність зі сторонніми сервісами.

Інтеграційний модуль виконує синхронізацію даних у режимі реального часу, а також здійснює їх попередню перевірку та нормалізацію, що гарантує коректність переданої інформації. Така організація взаємодії дозволяє мінімізувати дублювання даних і забезпечує стабільність логістичних процесів. Крім того, модульна структура інтеграції спрощує підключення нових сервісів та інструментів у майбутньому, не порушуючи роботи основних компонентів системи.

Таблиця 2.4. Інформаційні потоки та інтеграція з зовнішніми системами

Джерело даних	Одержувач	Тип даних	Мета використання
Користувач	Модуль управління замовленнями	Деталі замовлення, пріоритети, час доставки	Формування стандартних записів для планування маршрутів
ERP / Облікові системи	Інтеграційний модуль	Дані про ресурси, наявність вантажів	Синхронізація даних та забезпечення єдиного інформаційного простору
Модуль управління замовленнями	Модуль планування маршрутів	Оптимізовані замовлення та завдання	Призначення маршрутів та розподіл ресурсів
Модуль моніторингу ресурсів	Аналітичний модуль	Поточний стан транспортних засобів, складів	Оцінка ефективності та прогнозування навантаження
Аналітичний модуль	Інтерфейс користувача	Звіти, графіки, рекомендації	Надання керівникам логістичних компаній достовірної інформації

Для більш детального опису потоків інформації та їхніх функціональних обов'язків доцільно використати таблицю 2.4, яка демонструє типи даних, що передаються між модулями та зовнішніми системами, а також цілі їх використання в системі.

Інтеграція та організація інформаційних потоків дозволяє уникнути дублювання даних, підвищує точність обробки замовлень та забезпечує надійність алгоритмів адаптивного планування. Визначення потоків інформації та інтеграційних каналів є ключовим для забезпечення високої продуктивності системи, її адаптивності до змін у логістичному середовищі та підтримки безперервного обміну актуальними даними між всіма модулями системи та зовнішніми платформами.

Таким чином, розробка та документування інформаційних потоків і інтеграційних процесів є невід'ємною складовою проектування інформаційної структури системи адаптивного планування, оскільки дозволяє досягти цілісності даних, узгодженості дій між модулями, високої адаптивності

алгоритмів та ефективного управління логістичними процесами в реальному часі.

2.7. Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу вимог та побудови інформаційної структури системи адаптивного планування сформовано комплекс теоретичних та практичних засад, що становлять основу для подальшої розробки ефективної системи управління логістичними процесами. По-перше, визначення функціональних і нефункціональних вимог дозволило окреслити ключові напрями автоматизації: планування маршрутів, розподіл транспортних і людських ресурсів, контроль виконання завдань, ведення обліку та генерацію аналітичних звітів. Одночасно було встановлено критерії надійності, безпеки, продуктивності та доступності, що забезпечують стабільну роботу системи в умовах змінних операційних навантажень.

По-друге, моделювання бізнес-процесів із використанням BPMN та UML надало можливість формалізувати логіку логістичних операцій, описати взаємозв'язки між підпроцесами, визначити критичні точки прийняття рішень та залежності між елементами робочих потоків. Це сприяло підвищенню структурованості та керованості системи, створивши основу для впровадження алгоритмів адаптивного планування, здатних оперативно реагувати на зміни зовнішніх і внутрішніх факторів.

По-третє, побудова концептуальної моделі даних у вигляді ER-діаграм дала змогу ідентифікувати сутності предметної області, їхні характеристики та типи зв'язків. Такий підхід забезпечує цілісність даних, мінімізує дублювання інформації та створює структуровану основу для подальшого фізичного проектування бази даних, що відіграє ключову роль у забезпеченні швидкої обробки інформації та коректної роботи алгоритмів.

По-четверте, розроблена інформаційна структура окреслила функціональні межі та логіку взаємодії між модулями системи. Узгоджена взаємодія модулів управління замовленнями, планування маршрутів, моніторингу ресурсів, прогнозування та аналітики формує єдиний інформаційний простір, у якому відбувається оперативна обробка даних, їх інтеграція та подальше використання в алгоритмах прийняття рішень.

По-п'яте, проведений аналіз інформаційних потоків та механізмів інтеграції зі зовнішніми системами (складськими платформами, CRM, ERP, сервісами відстеження транспорту) підтвердив доцільність застосування стандартизованих API та протоколів обміну. Це дозволило забезпечити безперервність, точність і актуальність даних, підвищивши надійність і адаптивність системи в умовах багатокomпонентного середовища.

Таким чином, результати виконаної роботи підтверджують системний та комплексний підхід до проектування системи адаптивного планування. Визначені вимоги, формалізовані бізнес-процеси, побудована концептуальна модель даних, структурована інформаційна архітектура та впорядковані інформаційні потоки закладають міцний фундамент для побудови високопродуктивної, масштабованої та гнучкої системи. Така система здатна істотно оптимізувати логістичні процеси, підвищити ефективність використання ресурсів і сприяти зменшенню операційних витрат підприємства.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ПЛАНУВАННЯ

Актуальність дослідження адаптивних алгоритмів планування в логістичних системах обумовлена постійним зростанням обсягів транспортних потоків, ускладненням структури ланцюгів постачання та необхідністю підвищення ефективності управління ресурсами. Сучасні логістичні процеси характеризуються високою динамічністю та невизначеністю, що зумовлює необхідність використання методів, здатних оперативно реагувати на зміни умов функціонування системи.

Адаптивні алгоритми планування забезпечують гнучке управління логістичними процесами шляхом автоматичної корекції планів у відповідь на відхилення від запланованих параметрів, таких як затримки транспортування, зміни обсягів замовлень або ресурсних обмежень. Вони поєднують елементи традиційного детермінованого планування з методами прогнозування, оптимізації та прийняття рішень у невизначених умовах, що дозволяє значно підвищити ефективність функціонування логістичних систем.

У цьому розділі розглядаються основні підходи до оптимізації планування в логістичних системах, методи адаптації планів до зміни умов та принципи побудови адаптивних алгоритмів, які є основою для подальшого проектування та впровадження автоматизованих систем управління логістичними процесами.

3.1. Підходи до оптимізації планування в логістичних системах

Оптимізація планування в логістичних системах є одним із ключових напрямів підвищення ефективності управління ланцюгами постачання, транспортними потоками та складськими процесами. Її основна мета полягає у зменшенні витрат ресурсів, скороченні часу виконання операцій, підвищенні точності прогнозування попиту та забезпеченні високого рівня обслуговування клієнтів. В умовах швидкої цифрової трансформації економіки та зростання

обсягів даних логістичні процеси стають дедалі складнішими, а зовнішнє середовище — більш динамічним і непередбачуваним. Традиційні методи планування, що базуються на статичних моделях і фіксованих параметрах, втрачають ефективність, оскільки не здатні враховувати вплив багатьох випадкових факторів. Саме тому виникає потреба у впровадженні адаптивних підходів до оптимізації планування, які поєднують аналітичну точність, гнучкість та здатність до самонавчання.

Одним із класичних напрямів оптимізації є детерміноване планування, яке базується на припущенні, що всі вхідні дані системи є відомими та незмінними протягом планового періоду. Такі моделі використовують точні математичні методи, зокрема лінійне та цілочислове програмування, динамічне програмування й транспортні алгоритми. Вони дозволяють розв'язувати задачі розподілу ресурсів, маршрутизації транспорту, оптимізації складування чи формування графіків постачання. Перевагою детермінованих підходів є математична точність і можливість отримання оптимального рішення при заданих умовах. Водночас їхнім головним недоліком є відсутність гнучкості: навіть незначні зміни у зовнішньому середовищі, такі як затримка транспорту, поломка обладнання чи коливання попиту, можуть повністю змінити структуру задачі, що потребує повного перерахунку плану [43]. Це робить такі методи придатними лише для стабільних умов, у яких невизначеність мінімальна.

З метою підвищення гнучкості логістичних систем дедалі більшого поширення набувають евристичні та метаевристичні підходи до оптимізації планування. Вони забезпечують можливість знаходження наближених, але практично ефективних рішень для складних і багатовимірних задач, де точні математичні методи є надто повільними або обчислювально дорогими. Евристичні алгоритми імітують природні або логічні процеси прийняття рішень і не потребують детального аналітичного опису системи. Найвідомішими прикладами таких методів є генетичні алгоритми, алгоритм мурашиних колоній, табу-пошук та імітаційний відпал. Генетичні алгоритми моделюють механізми природного відбору, формуючи популяції можливих рішень, з яких шляхом

схрещування та мутацій відбираються найкращі варіанти. Алгоритм мурашиних колоній відтворює поведінку комах, що спільно шукають найкоротші шляхи до джерела їжі, завдяки чому він ефективний у задачах маршрутизації транспорту. Табу-пошук дозволяє уникати повторного розгляду неефективних варіантів, а імітаційний відпал базується на поступовому зниженні ймовірності прийняття гірших рішень, що допомагає уникати локальних мінімумів. Перевагою цих методів є висока адаптивність до змін умов, проте вони не гарантують отримання абсолютно оптимального результату, що іноді є критичним для стратегічного планування.

В умовах невизначеності, коли ключові параметри системи змінюються випадковим чином, застосовуються стохастичні підходи до планування. Вони враховують ймовірнісний характер зовнішніх і внутрішніх факторів, дозволяючи формувати плани з урахуванням ризиків і можливих відхилень. Стохастичні методи базуються на теорії ймовірностей, статистичних моделях, моделюванні Монте-Карло, байєсівських підходах та аналізі сценаріїв [44]. Їх використання дає змогу оцінити діапазон можливих результатів, визначити ймовірність порушення плану, а також знайти рішення, що мінімізує очікувані втрати. Наприклад, при плануванні транспортних маршрутів стохастичні моделі враховують можливі затримки на дорогах, технічні несправності або погодні умови, формуючи кілька сценаріїв доставки з різним рівнем ризику. Такі методи суттєво підвищують стійкість логістичних систем, однак вимагають значних обчислювальних потужностей і великих обсягів історичних даних.

Сучасні інформаційні технології дали потужний поштовх до розвитку інтегрованих адаптивних моделей планування, які поєднують переваги детермінованих, евристичних і стохастичних підходів. Такі моделі характеризуються здатністю до самонавчання, постійного моніторингу стану логістичної системи та автоматичного коригування рішень у режимі реального часу. Їхня архітектура зазвичай включає модулі збору та аналізу даних, прогнозування, оптимізації та контролю виконання, що забезпечує комплексний підхід до управління всіма етапами логістичного процесу.

На основі аналітики великих даних (Big Data) та алгоритмів машинного навчання система прогнозує зміни попиту, оцінює ризики, формує адаптований план дій і навіть автоматично підбирає оптимальні маршрути та розподіл ресурсів. Подібні рішення часто реалізуються у вигляді агентно-орієнтованих систем, де кожен елемент логістичної мережі — транспортний засіб, склад, замовлення чи персонал — представлений у вигляді автономного інтелектуального агента. Кожен агент приймає рішення на основі локальної інформації, взаємодіє з іншими агентами та коригує власну поведінку відповідно до змін у навколишньому середовищі. Завдяки цьому забезпечується висока узгодженість у роботі мережі, навіть за умов раптових змін зовнішнього середовища, наприклад, затримок на транспорті, зміни обсягів замовлень або форс-мажорних ситуацій.

Інтеграція прогнозування та планування є ключовим етапом формування адаптивних логістичних систем. Використання методів штучного інтелекту, зокрема нейронних мереж типу LSTM, дозволяє аналізувати великі масиви історичних даних і виявляти приховані закономірності у зміні попиту, транспортних потоків чи витрат. Це дає можливість не лише передбачати майбутні події, а й автоматично коригувати план відповідно до прогнозованих умов, наприклад, перенаправляти ресурси на більш завантажені маршрути або змінювати графіки поставок [45]. Такі підходи зменшують ризики порушення логістичних ланцюгів, підвищують надійність системи, сприяють оптимальному використанню ресурсів та скороченню витрат.

Таким чином, сучасні підходи до оптимізації планування в логістичних системах мають комплексний характер і базуються на поєднанні класичних математичних моделей, евристичних алгоритмів та інтелектуальних технологій. Вони дозволяють створювати гнучкі системи управління, здатні ефективно реагувати на зміни умов, прогнозувати ризики, мінімізувати витрати та підвищувати якість обслуговування клієнтів. Поєднання детермінованих, стохастичних та адаптивних принципів забезпечує баланс між точністю, швидкістю реагування та стійкістю логістичних процесів, що є ключовим

чинником конкурентоспроможності сучасних підприємств у мінливому ринковому середовищі. Крім того, використання сучасних технологій дозволяє інтегрувати систему з корпоративними платформами, ERP та іншими зовнішніми сервісами, що розширює функціональні можливості та забезпечує складні сценарії оптимізації у режимі реального часу.

3.2. Алгоритмічні моделі адаптації на основі динамічних змін параметрів середовища

У сучасних логістичних системах одним із ключових викликів є забезпечення ефективного планування та управління ресурсами в умовах високої динамічності та невизначеності. Параметри середовища, що впливають на функціонування системи, включають коливання обсягів замовлень, затримки транспорту, доступність ресурсів, погодні умови, регуляторні обмеження, а також непередбачувані події, такі як аварії або технічні збої. Адаптивні алгоритмічні моделі покликані забезпечити оперативну реакцію системи на такі зміни та корекцію планів у реальному часі. Важливо, що такі алгоритми можуть комбінувати історичні дані з актуальною інформацією про стан системи, що дозволяє більш точно прогнозувати можливі проблеми у логістичних процесах. Основна концепція адаптивних алгоритмів полягає в постійній взаємодії системи з її середовищем, коли модель збирає дані про поточний стан ресурсів, виконання завдань та зовнішні фактори, аналізує їх, порівнює з прогнозованими показниками та на основі цього приймає рішення про зміну плану. Таким чином, алгоритми адаптації не лише реагують на відхилення, але й прогнозують їх наслідки, оптимізуючи прийняття рішень у реальному часі.

Одним із базових методів побудови адаптивних алгоритмів є динамічне програмування, яке дозволяє розбивати складну задачу на послідовність простіших підзадач, що розв'язуються крок за кроком з урахуванням поточного стану системи. Кожна підзадача має власну функцію вартості або критерій ефективності, що дозволяє оцінювати локальні рішення, а потім інтегрувати їх

для отримання глобально оптимального плану. Також у процесі адаптивного планування можуть використовуватися алгоритми пошуку та оптимізації, такі як генетичні алгоритми або методи імітації відпалу, що дозволяє системі знаходити найбільш ефективні рішення навіть у складних багатовимірних сценаріях. У плануванні маршрутів доставки динамічне програмування дозволяє враховувати час проходження кожного сегмента маршруту, затримки на складі та зміни обсягів замовлень, коригуючи маршрут у реальному часі для мінімізації сумарних витрат часу та палива. UML-діаграма діяльності (Activity Diagram) демонструє процес адаптивного планування із послідовністю збору даних, аналізу, прогнозування та корекції плану.

Ефективність адаптивних алгоритмів значно підвищується завдяки моделюванню сценаріїв розвитку подій. Системи симуляції дозволяють перевірити різні варіанти планів перед їхньою реалізацією, оцінюючи вплив можливих затримок, збільшення або зменшення обсягів замовлень та обмежень на ресурсах. Наприклад, симуляційна модель маршруту доставки може прогнозувати наслідки погодних умов, завантаженості складів та транспортних заторів, після чого алгоритм адаптації обирає оптимальний маршрут у реальному часі.

Використання алгоритмічних моделей адаптації дозволяє забезпечити гнучкість і стійкість системи у відповідь на зміни параметрів середовища, мінімізувати операційні витрати та скоротити час виконання логістичних процесів, підвищити точність прогнозів та надійність планування, підтримувати високий рівень обслуговування клієнтів завдяки швидкій корекції планів, а також інтегруватися з інформаційними системами, такими як ERP або WMS, для автоматизації управлінських рішень. Таким чином, алгоритмічні моделі адаптації на основі динамічних змін параметрів середовища формують основу сучасних ефективних логістичних систем, дозволяючи не лише реагувати на відхилення, але й передбачати можливі сценарії розвитку подій, що робить планування гнучким, прогнозованим та оптимізованим.

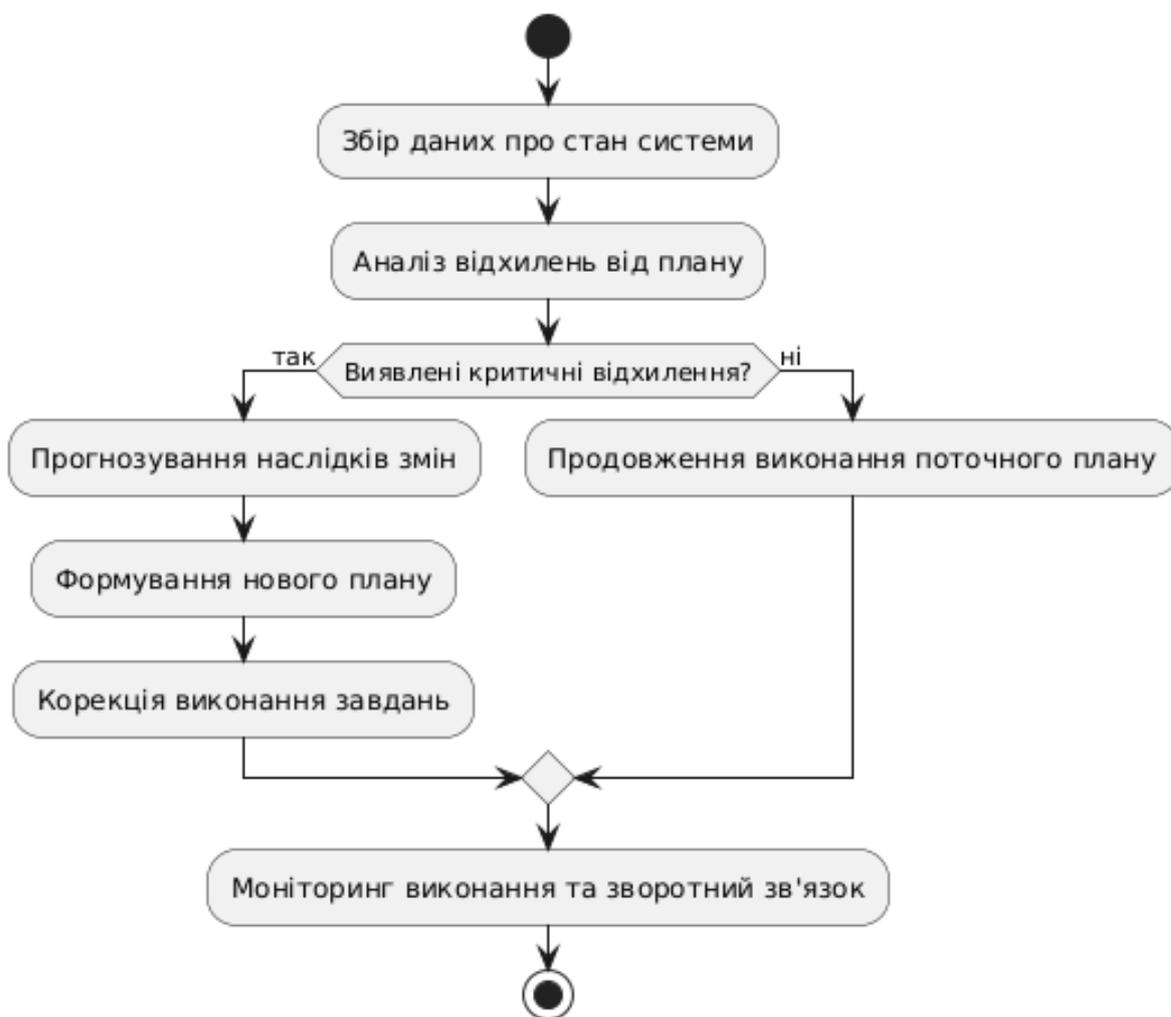


Рисунок 3.1 - UML-діаграма діяльності адаптивного планування

На діаграмі діяльності (рис. 3.1) відображено послідовність дій системи адаптивного планування в логістичних процесах. Робота починається з етапу збору вхідних даних про ресурси, маршрути, поточний стан складу та транспортних засобів. Далі система виконує аналіз параметрів середовища, визначаючи обмеження й пріоритети. Після цього відбувається формування початкового плану постачань або переміщень. У разі виявлення змін — затримок, поломок чи зміни попиту — активується гілка корекції плану, де виконується повторна оцінка параметрів і перерахунок маршруту або графіка. Завершується процес збереженням оновлених даних і повідомленням користувача про зміни. Така діаграма чітко демонструє циклічність та адаптивність системи, здатної реагувати на динамічні зміни в реальному часі.

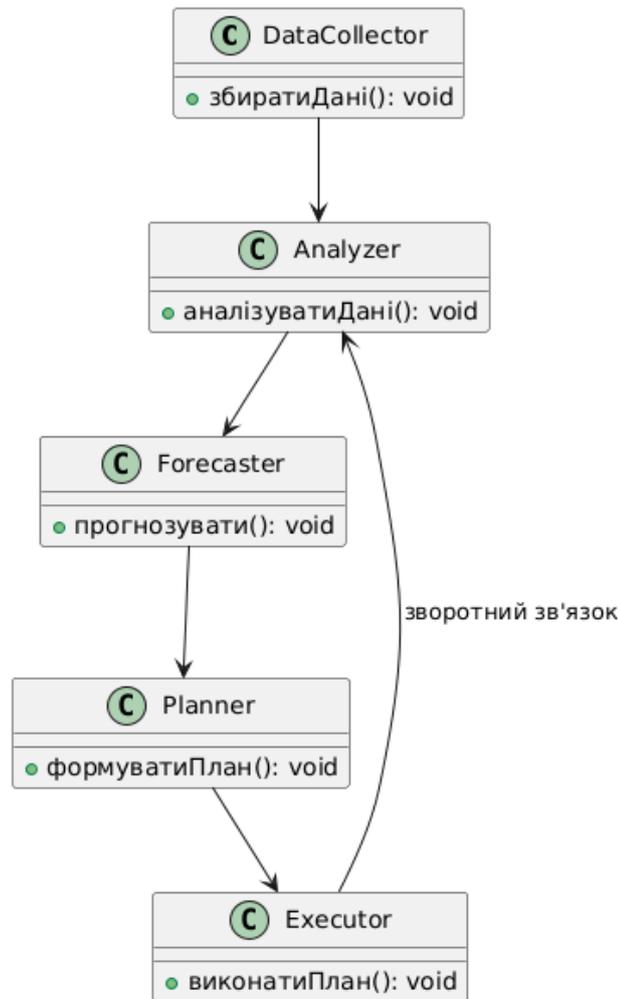


Рисунок 3.2 - UML-діаграма класів системи адаптивного планування

На діаграмі класів, зображеній на рисунку 3.2, показано структурну модель програмного комплексу адаптивного планування, що відображає основні компоненти системи та їх взаємодію. Центральним елементом є SystemCore, який координує роботу всіх модулів, забезпечує логіку управління процесами та контроль виконання завдань у реальному часі.

DataManager відповідає за збір, обробку та зберігання даних про ресурси, маршрути й завдання, забезпечуючи їх актуальність і узгодженість. Analyzer здійснює оцінку вхідних параметрів, виявляє відхилення й передає результати до Planner, який формує оптимальний план на основі методів оптимізації та аналітичних розрахунків.

Monitor контролює виконання плану, відстежує поточний стан системи та фіксує відхилення від запланованих показників. У разі змін або порушень

Adjuster виконує корекцію плану, формуючи нові рішення відповідно до актуальних умов.

Допоміжні класи — `UserInterface`, `ReportGenerator` і `DatabaseConnection` — забезпечують взаємодію користувача з системою, створення звітів і роботу з базою даних.

Таким чином, діаграма класів відображає логічну побудову, взаємозалежність і гнучкість компонентів адаптивної системи планування, що забезпечує її ефективність і здатність реагувати на зміни у логістичних процесах.

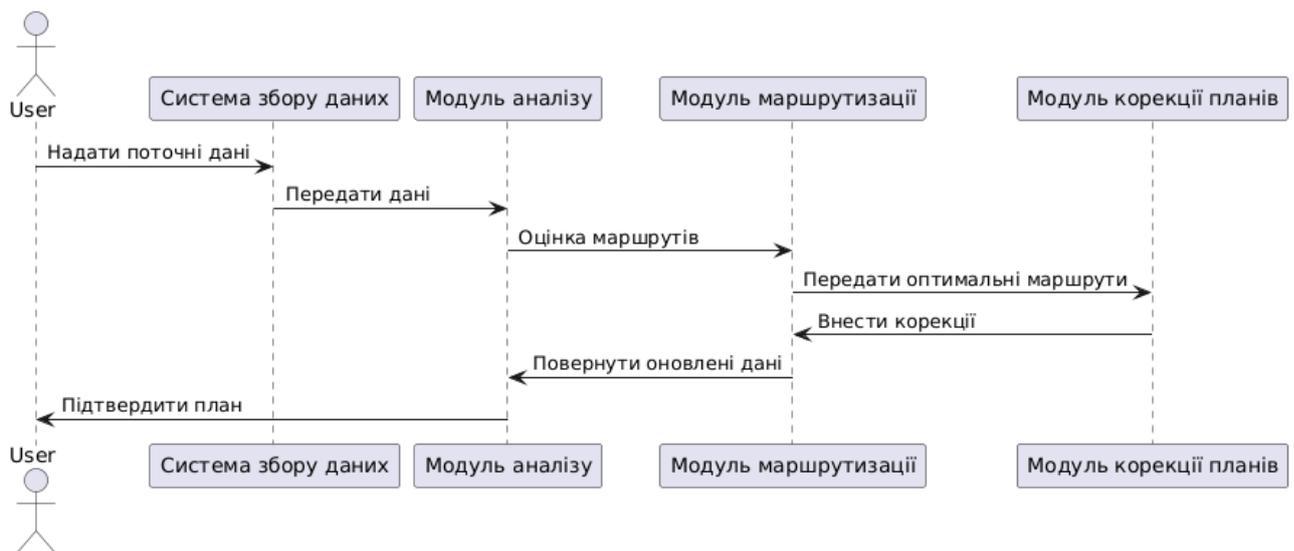


Рисунок 3.3 - UML-діаграма послідовностей алгоритмів маршрутизації та корекції планів

Діаграма послідовностей (рис. 3.3) описує динамічну взаємодію об'єктів у процесі маршрутизації логістичних операцій та адаптивної корекції планів. Послідовність дій починається з ініціації запиту користувачем або системним тригером. Далі об'єкт `Planner` надсилає запит до `DataManager` для отримання актуальних даних. Після аналізу інформації система виконує обчислення оптимального маршруту та передає результат до `Monitor` для перевірки відповідності реальним умовам. Якщо виявлено відхилення, `Adjuster` активує процедуру перепланування, після чого оновлений план знову надходить у `SystemCore` для затвердження й подальшого виконання. Така модель демонструє

логіку взаємодії модулів у реальному часі та забезпечує ефективне реагування на зміну зовнішніх факторів.

3.3. Вибір алгоритму оптимізації для побудови моделі адаптивного планування

Процес побудови адаптивної моделі планування в логістичних системах неможливий без правильного вибору алгоритму оптимізації, який забезпечує ефективне реагування на динамічні зміни параметрів середовища. Алгоритм має враховувати складність логістичних процесів, їх багатовимірність, взаємозалежність елементів системи, обмеження ресурсів та необхідність швидкого прийняття рішень [46]. У сучасних умовах логістика функціонує в умовах постійної невизначеності — зміни попиту, транспортних умов, погодних факторів або коливань вартості ресурсів потребують високого рівня адаптивності та гнучкості системи.

Вибір алгоритму оптимізації визначається низкою чинників, зокрема складністю завдання, обсягом оброблюваних даних, рівнем невизначеності, вимогами до швидкості прийняття рішень і цільовими критеріями, серед яких можуть бути мінімізація витрат, часу, затримок або максимізація продуктивності. Однією з найстаріших і найнадійніших груп методів є детерміновані методи оптимізації — лінійне, нелінійне та цілочислове програмування. Вони застосовуються в умовах, коли всі параметри системи відомі заздалегідь і не змінюються під час виконання плану. Такі методи дозволяють отримати точні рішення для задач розподілу ресурсів, планування виробництва або складування. Наприклад, метод симплекс-оптимізації забезпечує мінімальні транспортні витрати для фіксованого набору маршрутів і обсягів постачань. Проте у випадках, коли система зазнає динамічних змін або виникають непередбачувані події, наприклад зміна графіка руху, дефіцит транспорту чи збій у ланцюгу постачання, детерміновані методи стають неефективними, оскільки не здатні оперативно адаптувати отримане рішення.

Для підвищення гнучкості та адаптивності системи використовуються евристичні та метаевристичні методи оптимізації, які не гарантують отримання точного рішення, проте дозволяють знайти наближене до оптимального у складних і динамічних середовищах. Генетичні алгоритми моделюють процес природного добору, формуючи множину можливих планів, оцінюючи їх за заданими критеріями ефективності та вдосконалюючи шляхом операцій схрещування, мутації і відбору. Такі алгоритми ефективні для задач багатокритеріальної оптимізації, зокрема при маршрутизації транспорту чи плануванні завантаження складів. Алгоритми мурашиних колоній базуються на спостереженні за колективною поведінкою мурах, що дозволяє швидко знаходити найкращі маршрути між пунктами доставки, адаптуючись до змін транспортної мережі або поточної завантаженості. Табу-пошук, у свою чергу, ґрунтується на принципі заборони повторного відвідування вже перевірених рішень, що дає змогу уникнути локальних мінімумів і підвищує стабільність процесу оптимізації. Методи імітаційного відпалу використовують ймовірнісний підхід до поступового вдосконалення рішень, що забезпечує баланс між швидкістю пошуку і точністю.

В умовах високої невизначеності ефективними є стохастичні методи оптимізації, які враховують випадковість параметрів середовища. Вони застосовуються тоді, коли неможливо точно передбачити зовнішні фактори, наприклад затримки транспорту, погодні умови або коливання попиту. Методи Монте-Карло дозволяють оцінювати ефективність планів у різних сценаріях, а моделі, побудовані на принципах байєсівських мереж, забезпечують прогнозування ризиків і вибір найбільш стійких рішень. Такі алгоритми дозволяють будувати гнучкі плани, здатні зберігати ефективність навіть при значних відхиленнях від очікуваних показників.

Перед формуванням узагальненої порівняльної таблиці доцільно відзначити, що вибір оптимізаційного алгоритму безпосередньо впливає на ефективність адаптивної логістичної системи. Різні алгоритми демонструють неоднакову продуктивність залежно від складності завдання, наявності

невизначеності, обсягів даних і вимог до швидкості реагування. Тому важливо не лише оцінити їхню математичну ефективність, а й практичну здатність забезпечувати стабільність планів у динамічному середовищі. У цьому контексті порівняння основних підходів, подане в таблиці 3.1, дозволяє виявити їхні сильні сторони, обмеження та сфери доцільного застосування в межах адаптивного планування логістичних процесів.

Таблиця 3.1 – Порівняння основних груп алгоритмів оптимізації

Тип алгоритму	Основна ідея	Переваги	Недоліки	Типові області застосування
Детерміновані (лінійне, цілочислове програмування)	Точне математичне моделювання відомих параметрів	Висока точність, формальна перевірка оптимальності	Низька адаптивність до змін середовища	Розподіл ресурсів, складування, планування постачань
Евристичні (жадібні, локальний пошук)	Пошук наближеного рішення за простими правилами	Висока швидкість обчислень, гнучкість	Імовірність потрапляння у локальні мінімуми	Попереднє планування, маршрутизація транспорту
Метаевристичні (генетичні алгоритми, АСО, табу-пошук)	Імітація природних або соціальних процесів пошуку оптимуму	Висока ефективність у складних системах, здатність адаптації	Значні витрати часу на налаштування параметрів	Оптимізація динамічних маршрутів, планування складських процесів
Стохастичні (Монте-Карло, байєсівські мережі)	Урахування ймовірнісних характеристик системи	Стійкість до невизначеності, прогнозування ризиків	Висока обчислювальна складність	Планування за умов ризику, прогнозування попиту

У сучасних системах адаптивного планування найвищих результатів досягають гібридні підходи, що поєднують різні типи алгоритмів. Наприклад, детерміновані методи можуть бути використані для початкової побудови базового плану, після чого його адаптація здійснюється за допомогою метаевристичних або стохастичних підходів. Такий комбінований підхід

забезпечує баланс між точністю і швидкістю обчислень, дозволяючи системі підтримувати ефективність навіть у разі значних змін умов.

Ключовим критерієм вибору алгоритму є його здатність не лише оптимізувати поточний стан системи, але й прогнозувати ймовірні зміни та готувати корекційні дії наперед. Поєднання прогнозування та адаптивної оптимізації дає змогу знизити операційні витрати, підвищити точність планів і забезпечити стабільність функціонування логістичних процесів. Таким чином, вибір алгоритму оптимізації для побудови моделі адаптивного планування базується на досягненні рівноваги між точністю, швидкістю обчислень та здатністю до адаптації в умовах динамічних змін. Використання комбінацій детермінованих, евристичних і стохастичних методів дозволяє створювати гнучкі та стійкі системи управління, здатні забезпечити ефективну роботу логістичних процесів навіть у непередбачуваному середовищі.

3.4. Формалізація задачі оптимізації та критерії ефективності

Формалізація задачі оптимізації в системах адаптивного планування є одним із ключових етапів побудови ефективної моделі управління логістичними процесами. Вона забезпечує структуроване представлення взаємозв'язків між елементами системи, дозволяє чітко визначити цілі оптимізації, встановити обмеження, залежності між змінними, а також критерії ефективності, за якими оцінюється результативність функціонування. Без якісної формалізації неможливо досягти логічної узгодженості процесів, забезпечити автоматизацію прийняття рішень і реалізувати алгоритми оптимізації в реальних умовах функціонування логістичної мережі.

У межах адаптивного планування задача оптимізації полягає у визначенні такого сценарію дій, який забезпечує максимально ефективне використання ресурсів за умов постійної змінності середовища. У логістиці це може проявлятися у скороченні часу доставки, зниженні витрат на транспортування, мінімізації порожніх рейсів, зменшенні запасів на складах або підвищенні рівня

задоволеності клієнтів. Вибір мети оптимізації визначається стратегією підприємства, особливостями логістичної інфраструктури та масштабом діяльності.

На етапі формалізації першочергово визначається об'єкт управління — система або її підсистема, для якої виконується оптимізація. Це може бути транспортна мережа, складська система, ланцюг постачань чи інтегрована логістична структура. Далі задаються вхідні параметри, такі як попит, доступні ресурси, маршрути, пропускна здатність, часові вікна, а також керовані змінні — призначення транспортних засобів, послідовність виконання операцій, розподіл вантажів між пунктами чи підрозділами. Особливе місце займають обмеження, що відображають реальні умови функціонування: технічні, часові, фінансові, організаційні або нормативні.

Результатом формалізації є побудова моделі, що описує залежності між змінними, ресурсами та результатом. Вона має бути достатньо точною, щоб відображати суть процесів, але водночас не надмірно складною для ефективної обробки алгоритмами [47]. У сучасних системах адаптивного планування перевага надається динамічним або стохастичним моделям, які враховують зміни у попиті, стані транспортної мережі чи доступності ресурсів, забезпечуючи оновлення рішень у реальному часі.

Важливою складовою формалізації є вибір критеріїв ефективності, за допомогою яких оцінюється успішність виконання поставлених цілей. У логістичних системах зазвичай розглядаються чотири основні групи критеріїв: економічні, часові, технічні та якісні. До економічних належать сукупні операційні витрати, вартість перевезень, споживання палива, витрати на утримання складів і персоналу. Часові критерії пов'язані зі швидкістю виконання логістичних операцій — середній час доставки, тривалість простоїв, час обробки замовлень. Технічні показники відображають ефективність використання ресурсів — завантаженість транспорту, коефіцієнт використання складів, продуктивність обладнання. Якісні критерії характеризують рівень

обслуговування клієнтів, точність виконання замовлень і гнучкість реагування на зміни попиту.

В умовах адаптивного планування доцільно враховувати додаткові критерії, що описують поведінку системи під впливом зовнішніх змін. До них належать стабільність — здатність системи зберігати ефективність при незначних коливаннях параметрів; швидкість адаптації — час переходу від старого плану до оновленого; стійкість — спроможність мінімізувати втрати під час порушень або збоїв; та відновлюваність — швидкість повернення до нормального функціонування після кризових ситуацій.

Оскільки у більшості практичних випадків неможливо обмежитися одним критерієм, задачі оптимізації в логістиці мають багатокритеріальний характер. Наприклад, зниження витрат може супроводжуватися збільшенням часу доставки, а скорочення запасів — погіршенням рівня обслуговування клієнтів. Тому під час формалізації формується система критеріїв, що забезпечує баланс між економічністю, швидкістю, якістю та надійністю. Оптимальним вважається рішення, яке досягає найкращого компромісу між цими показниками.

Невід'ємним елементом побудови адаптивної моделі є система зворотного зв'язку, що забезпечує безперервний моніторинг результатів та автоматичну корекцію планів у реальному часі. Завдяки цьому система не лише реагує на зміни, але й здатна навчатися на основі накопичених даних, поступово вдосконалюючи свої рішення. У практичних реалізаціях цей процес забезпечується за допомогою аналітичних модулів, що відстежують ефективність виконання плану за заданими критеріями, порівнюють поточні результати з попередніми та ініціюють адаптивні дії.

Таким чином, формалізація задачі оптимізації для адаптивного планування передбачає побудову єдиної логічної структури, яка описує взаємозв'язки між елементами системи, обмеженнями та цілями управління. Визначення системи критеріїв ефективності дає змогу не лише об'єктивно оцінювати поточний стан логістичної мережі, а й прогнозувати наслідки змін, визначати напрями удосконалення та підвищувати стабільність функціонування. У результаті

формується теоретична основа для створення адаптивних алгоритмів планування, здатних забезпечувати гнучкість, стійкість і ефективність логістичних процесів у динамічному середовищі.

3.5. Висновки до розділу

У третьому розділі здійснено побудову структурної та алгоритмічної моделі системи адаптивного планування логістичних процесів. На основі UML-діаграм діяльності, класів та послідовностей описано логіку функціонування системи, взаємодію її компонентів та принципи обробки даних під час формування, контролю та корекції планів. Розроблена архітектура забезпечує узгодженість між підсистемами збору даних, планування, моніторингу та адаптації, що дозволяє оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища.

Проаналізовано основні групи алгоритмів оптимізації — детерміновані, евристичні, стохастичні та гібридні методи. Встановлено, що поєднання різних підходів підвищує точність рішень і скорочує час обчислень. Наведено порівняльну характеристику алгоритмів, що дозволяє визначити переваги кожного з них залежно від типу задачі та вимог до швидкості реагування.

Формалізація задачі оптимізації визначила об'єкт управління, вхідні параметри, змінні, обмеження та критерії ефективності. Доцільним є використання багатокритеріальних моделей, які враховують економічні та часові показники, а також стабільність, швидкість адаптації та стійкість системи. Механізми зворотного зв'язку забезпечують автоматичну корекцію планів у реальному часі та підвищують гнучкість логістичних процесів.

Отже, проведене моделювання сформувало цілісну концепцію системи адаптивного планування, що інтегрує алгоритмічні, інформаційні та управлінські компоненти, створюючи основу для практичної реалізації ефективних програмних засобів підтримки прийняття рішень у логістиці.

4. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Проектування прототипу інформаційної системи адаптивного планування передбачає створення комплексного та інтегрованого середовища, яке забезпечує ефективне управління логістичними процесами у режимі реального часу. Основна мета цього розділу полягає у визначенні архітектури системи, моделюванні взаємодії користувача з модулями, побудові бази даних та формалізації логіки адаптивних алгоритмів.

Система повинна забезпечувати взаємодію між ключовими компонентами: модулем управління замовленнями, модулем планування маршрутів, модулем моніторингу ресурсів, аналітичним модулем, інтерфейсом користувача та інтеграційним модулем для зовнішніх платформ. Кожен компонент виконує специфічні функції, але водночас тісно взаємодіє з іншими, забезпечуючи єдину інформаційну екосистему.

4.1. Архітектурна модель системи адаптивного планування

Архітектурна модель системи побудована за принципом багаторівневої взаємодії, що дозволяє забезпечити чітке розділення функцій та ефективну взаємодію між компонентами системи. На користувацькому рівні реалізується інтерфейс, який забезпечує введення замовлень, відображення оптимальних маршрутів та формування аналітичних звітів, що дозволяє користувачу контролювати та коригувати логістичні процеси у реальному часі. Логічний рівень обробки даних включає модулі адаптивного планування, моніторингу та аналітики, які обробляють вхідну інформацію, аналізують параметри маршрутів, пріоритети замовлень та ресурсні обмеження, після чого формують оптимальні рішення для організації логістичних потоків. Рівень зберігання даних реалізує підтримку реляційної бази даних і сховищ історичної інформації, що дозволяє накопичувати дані про виконані замовлення, аналізувати ефективність алгоритмів планування та здійснювати їх самооптимізацію, підвищуючи

точність і гнучкість системи у довгостроковій перспективі. Таким чином, багаторівнева архітектура забезпечує надійну інтеграцію всіх компонентів системи, дозволяючи ефективно управляти логістичними процесами та адаптуватися до змін умов роботи.

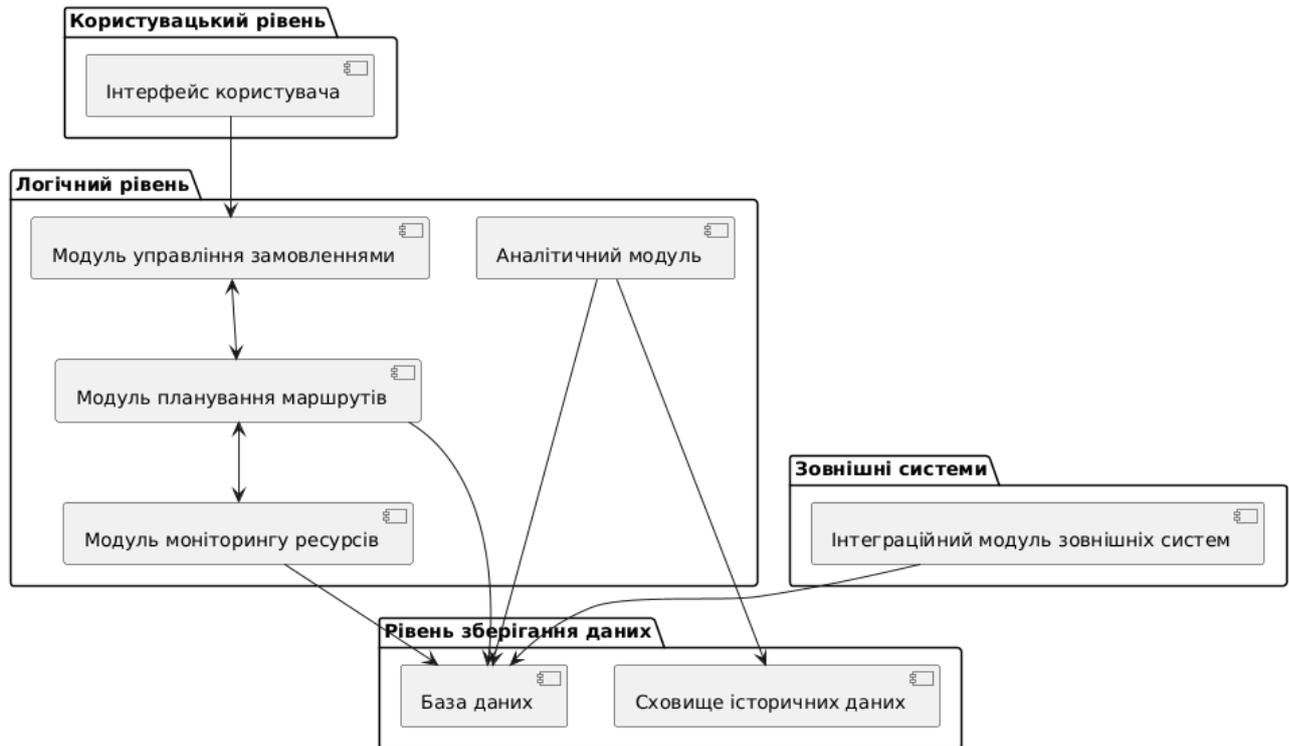


Рисунок 4.1 - Архітектурна модель системи адаптивного планування

Ця архітектура ілюструє багаторівневу архітектуру системи адаптивного планування логістичних процесів і відображає взаємодію між користувачем, логічними модулями та рівнем зберігання даних (рис. 4.1).

На користувацькому рівні представлений інтерфейс користувача, через який відбувається введення замовлень, перегляд маршрутів та отримання аналітичної інформації. Користувацький рівень безпосередньо взаємодіє з логічним рівнем.

Логічний рівень включає кілька взаємопов'язаних модулів. Модуль управління замовленнями відповідає за прийом і обробку замовлень, передаючи інформацію до модуля планування маршрутів, який формує оптимальні маршрути з урахуванням ресурсів та пріоритетів. Модуль моніторингу ресурсів

відстежує стан транспортних засобів та інших ресурсів і надає дані модулю планування для коригування маршрутів у реальному часі. Аналітичний модуль збирає дані про ефективність виконання замовлень і роботу системи загалом. Логічний рівень також інтегрується із зовнішніми системами через спеціальний інтеграційний модуль, що забезпечує обмін інформацією з іншими корпоративними або сторонніми системами [48].

На рівні зберігання даних знаходяться реляційна база даних та сховище історичних даних. База даних зберігає актуальну інформацію про замовлення, маршрути та ресурси, тоді як сховище історичних даних накопичує інформацію для аналізу тенденцій та самооптимізації алгоритмів планування. Логічні модулі системи звертаються до цих сховищ для отримання та запису необхідних даних, забезпечуючи безперервний обмін інформацією між рівнями і підтримку адаптивності системи.

4.2. Проектування інтерфейсів користувача

Інтерфейс користувача в системі адаптивного планування розроблено таким чином, щоб забезпечити просту та інтуїтивну взаємодію з основними функціями системи. Він має забезпечувати оператору швидкий доступ до інформації про замовлення, маршрути, ресурси та результати аналітичної обробки даних. Структура інтерфейсу включає області, призначені для введення та редагування замовлень, перегляду актуальних маршрутів і стану транспортних засобів, а також для аналізу ефективності роботи логістичних процесів. Завдяки відображенню статистичних показників, графіків, дашбордів і даних моніторингу у реальному часі користувач отримує повну картину щодо виконання завдань та може оперативно реагувати на зміни у логістичних потоках. Узгоджена взаємодія між цими компонентами забезпечує послідовну обробку інформації — від моменту створення замовлення до формування аналітичних звітів.



Рисунок 4.2 – Логіка інтерфейсу користувача

Подана схема (рис. 4.2) демонструє послідовну логіку роботи інтерфейсу користувача, починаючи від початкового моменту взаємодії із системою та супроводжуючи користувача всіма ключовими етапами роботи. На першому етапі здійснюється введення замовлень, де оператор формує вихідні дані для подальшої обробки. Саме ця інформація стає основою для наступного кроку — планування маршрутів, у межах якого система аналізує наявні ресурси, часові обмеження та параметри доставок, формуючи оптимальні рішення для їх виконання. Після цього логіка інтерфейсу переходить до моніторингу ресурсів, що забезпечує постійний контроль стану транспортних засобів, доступності складів та інших операційних можливостей, дозволяючи оперативно реагувати на зміни під час виконання маршрутів. Завершує послідовність етап аналітики та формування звітів, де система узагальнює результати роботи, обчислює ключові показники ефективності та надає користувачу структуровану інформацію для оцінки виконання логістичних процесів і прийняття подальших управлінських рішень. Таким чином, схема відображає чітку і логічно вибудовану взаємодію,

яка охоплює весь цикл роботи — від початкового введення даних до отримання повної аналітичної картини.

4.3. Модель бази даних

Модель бази даних є невід’ємною складовою системи адаптивного планування логістичних процесів, оскільки вона визначає структуру зберігання, організацію та взаємозв’язки даних, необхідних для ефективної роботи алгоритмів оптимізації. Концептуальна ER-діаграма, яка лежить в основі моделі, дозволяє виділити ключові сутності та зв’язки між ними, визначити основні атрибути кожної сутності, а також забезпечити цілісність та узгодженість даних у системі. В результаті побудови такої моделі формується надійна інформаційна структура, що дозволяє автоматизувати процеси планування, контролю та управління логістичними ресурсами.

У даній системі виділено кілька основних таблиць, таких як «Замовлення», «Клієнти», «Транспортні засоби», «Співробітники», «Вантажі», «Маршрути» та «Склади». Кожна з цих таблиць відповідає окремій сутності логістичної системи та містить атрибути, що дозволяють детально описати об’єкт. Таблиці взаємопов’язані між собою за допомогою зовнішніх ключів, що забезпечує цілісність даних та можливість комплексної обробки інформації для побудови алгоритмів адаптивного планування [49]. Це дозволяє відстежувати взаємозв’язки між клієнтами та їх замовленнями, транспортними засобами та маршрутами доставки, а також враховувати особливості вантажів і складських приміщень при формуванні оптимальних логістичних рішень.

Особливої уваги заслуговує таблиця «Замовлення», яка є центральною у структурі бази даних, оскільки саме через неї відбувається інтеграція інформації про клієнтів, вантажі, терміни доставки, пріоритети виконання та статуси замовлень. Кожен запис у таблиці містить посилання на конкретного клієнта та вантаж, що дозволяє визначати взаємозв’язки між об’єктами та забезпечує основу для аналітики та побудови планів доставки. Атрибути таблиці, такі як

дата доставки, пріоритет та статус замовлення, дають змогу алгоритмам адаптивного планування оцінювати терміновість замовлень, визначати послідовність їх виконання та ефективно розподіляти ресурси.

Таблиця 4.1 демонструє приклад структури таблиці «Замовлення»

Поле	Тип даних	Опис
ID	INT	Унікальний ідентифікатор замовлення
Клієнт_ID	INT	Посилання на таблицю «Клієнти»
Вантаж_ID	INT	Посилання на таблицю «Вантажі»
Дата_доставки	DATE	Запланована дата доставки
Пріоритет	VARCHAR	Високий, середній, низький
Статус	VARCHAR	Нове, В процесі, Завершено

Структура таблиці 4.1 «Замовлення» дозволяє зберігати повну інформацію про кожне замовлення та його стан у системі. Наявність зовнішніх ключів на таблиці «Клієнти» та «Вантажі» забезпечує коректну інтеграцію даних, а атрибути, що відображають дату доставки, пріоритет та статус, дозволяють алгоритмам адаптивного планування враховувати часові обмеження, важливість виконання замовлень та поточний стан їх обробки. Завдяки такій організації інформації забезпечується висока ефективність роботи системи та можливість реалізації гнучких стратегій управління логістичними процесами.

Нижче наведено приклад створення однієї з ключових таблиць бази даних – таблиці «Клієнти», яка містить основні відомості про замовників системи і слугує фундаментом для зберігання інформації про організації та фізичних осіб, що користуються послугами підприємства. Ця таблиця дозволяє систематизувати контактні дані, забезпечити унікальну ідентифікацію кожного клієнта та створює основу для подальшої інтеграції з іншими сутностями бази даних, зокрема з таблицею «Замовлення», що забезпечує ефективну роботу алгоритмів адаптивного планування та управління логістичними процесами.

-- Створення таблиці Клієнти

```
CREATE TABLE Kliyenty (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Nazva VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Kontaktna_osoba VARCHAR(255),  
    Telefon VARCHAR(50),  
    Email VARCHAR(255)  
);
```

Даний SQL-запит створює таблицю «Клієнти» з п'ятьма атрибутами. Поле ID виконує роль унікального ідентифікатора клієнта та автоматично збільшується при додаванні нових записів. Поле Nazva містить назву компанії або фізичної особи та є обов'язковим для заповнення, що гарантує наявність базової інформації про замовника. Поле Kontaktna_osoba зберігає дані про конкретну контактну особу, яка відповідає за взаємодію з клієнтом. Поля Telefon та Email забезпечують засоби комунікації та підтримку безперервного зв'язку з клієнтами. Така структура таблиці дозволяє ефективно зберігати та обробляти інформацію про замовників, підтримує цілісність даних та забезпечує можливість інтеграції з таблицею «Замовлення» для реалізації алгоритмів адаптивного планування логістичних процесів.

4.4. Логіка реалізації адаптивних алгоритмів

Адаптивні алгоритми планування у логістичних системах реалізуються як багаторівнева структура обробки даних, де кожен модуль виконує строго визначену функцію, спрямовану на формування оптимальних рішень для різноманітних і динамічних операційних сценаріїв [50]. На початковому етапі алгоритм здійснює комплексний збір та інтеграцію даних про стан ресурсів підприємства, включно з інформацією про наявні транспортні засоби, доступність персоналу, завантаженість складів, стан транспортної

інфраструктури, погодні умови та інші зовнішні фактори, які можуть впливати на ефективність виконання логістичних операцій. Паралельно відбувається обробка даних щодо активних і нових замовлень, при цьому алгоритм враховує такі характеристики, як терміновість виконання, обсяг вантажу, місце відправлення та пункт призначення, що дозволяє створити повну інформаційну модель поточного стану логістичної системи.

На основі зібраних даних здійснюється формування початкового плану доставки та розподілу ресурсів. Для цього алгоритм використовує поєднання евристичних і математичних методів оптимізації, таких як алгоритми пошуку найкоротшого шляху, лінійне програмування, методи динамічного програмування або генетичні алгоритми. Результатом цього етапу є визначення оптимальної черговості виконання завдань, розподілу транспортних засобів і персоналу, а також побудова початкових маршрутів для кожного рейсу.

Подальша стадія реалізації алгоритму передбачає детальну оцінку обмежень. На цьому етапі система аналізує технічні характеристики транспортних засобів, дотримання нормативів робочого часу водіїв, можливі затори та обмеження на доступ до окремих ділянок доріг, що дозволяє виявляти потенційні конфлікти, затримки та ризики при виконанні плану. На основі цих даних запускається механізм коригування плану, який забезпечує автоматичне перебудування маршрутів і перерозподіл ресурсів відповідно до реальної ситуації, що виникає в системі. Коригування може здійснюватися як у статичному режимі перед виконанням плану, так і в режимі реального часу при надходженні нових даних, наприклад, при зміні пріоритетів замовлень, поломках транспортних засобів, затримках на складах або відсутності співробітників.

Механізм оптимізації здійснює постійний аналіз даних щодо фактичних затримок, транспортних потоків та точності прогнозів попередніх планів. Завдяки цьому система здатна формувати більш точні й адаптивні маршрути, що ефективно реагують на зміни в операційних умовах, забезпечують оптимальне використання ресурсів і підвищують загальну стабільність логістичних процесів. Такий підхід дозволяє створити самонастроювальну систему планування, яка

враховує всі динамічні зміни, зменшує ризики затримок і підвищує ефективність роботи логістичної мережі в умовах мінливого середовища.

Загальна логіка роботи адаптивного алгоритму включає п'ять основних етапів: отримання вхідних даних, формування початкового плану, оцінку обмежень, коригування плану та формування оптимальних маршрутів. Кожен з цих етапів взаємопов'язаний та забезпечує цілісну роботу системи планування, що здатна швидко і ефективно реагувати на непередбачувані події.



Рисунок 4.3 – Логіка адаптивного алгоритму планування

На рисунку 4.3 представлено структурну схему логіки роботи адаптивного алгоритму. Процес починається з отримання вхідних даних, що включає інформацію про наявні ресурси та замовлення. Далі здійснюється формування початкового плану, в якому визначається розподіл ресурсів та маршрути для кожного завдання. Наступним етапом є оцінка обмежень, що дозволяє виявляти потенційні конфлікти та ризики, пов'язані з технічними характеристиками транспортних засобів, робочим часом персоналу або доступністю маршрутів.

Після цього запускається механізм коригування плану, який адаптує маршрути та розподіл ресурсів у відповідь на нові події. Завершальним етапом є формування оптимальних маршрутів, що забезпечують ефективне виконання логістичних завдань з урахуванням усіх змін та динамічних факторів.

Алгоритм, зображений на рисунку, враховує всі динамічні зміни, включно з відсутністю транспортного засобу, змінами в замовленнях або затримками на складі, що робить систему адаптивною, стабільною та ефективною навіть у складних умовах сучасної логістики.

4.5. Взаємодія з модулями моніторингу логістичних процесів

Модулі моніторингу є ключовим компонентом системи адаптивного планування та виконують функцію безперервного збору даних про стан транспортних засобів, наявність складських запасів, графіки роботи персоналу та інші параметри, що безпосередньо впливають на ефективність логістичних операцій. Завдяки підключенню до датчиків, телематичних систем, складських інформаційних платформ і корпоративних систем обліку, модулі забезпечують оперативне надходження актуальної інформації про місцезнаходження транспорту, рівень завантаження, технічний стан, час простою чи відхилення від маршруту. Крім того, вони фіксують зміни у доступності персоналу, динаміку складських залишків і інші фактори, які мають вагоме значення для коректного формування планів доставки та розподілу ресурсу.

Отримані дані інтегруються з модулем планування маршрутів, де відбувається їх аналітична обробка та порівняння з поточними планами. Це дозволяє системі у режимі реального часу здійснювати коригування завдань і маршрутових схем залежно від змінних умов, таких як затримки чи поломки транспортних засобів, непередбачувані зміни у графіках роботи персоналу, погодні умови або зміни у складі та пріоритетності вантажів. Така інтеграція забезпечує безперервну актуалізацію планів і значно підвищує гнучкість логістичної системи.

Аналітичний модуль відіграє стратегічну роль у формуванні рішень, оскільки використовує дані, отримані як від моніторингу, так і від модулю планування. На основі агрегованої інформації здійснюється побудова статистики, виявлення закономірностей, прогнозування навантаження на транспортні та складські ресурси, оцінка продуктивності та визначення вузьких місць логістичних процесів. Для цього застосовуються методи математичного аналізу, машинного навчання та прогнозного моделювання, що дозволяють генерувати обґрунтовані рекомендації для підвищення ефективності роботи системи.

Результатом роботи аналітичного модуля є формування звітів різних рівнів деталізації, прогнозних моделей для планування майбутніх навантажень, а також рекомендацій щодо оптимізації ресурсів, маршрутів і розкладів. Ці дані можуть використовувати як автоматизовані алгоритми планування, так і менеджери, що приймають стратегічні рішення. Така організація забезпечує безперервний цикл збору, аналізу та практичного використання інформації, який підтримує адаптивність системи, забезпечує швидке реагування на динамічні зміни та сприяє стабільності і передбачуваності логістичних процесів у цілому.

Таблиця 4.2 – Взаємодія модулів системи

Модуль	Вхідні дані	Вихідні дані
Планування	Замовлення, ресурси, маршрути	Оптимальні маршрути та завдання
Моніторинг	Стан транспортних засобів	Поточний стан ресурсів
Аналітика	Історичні дані, моніторинг	Звіти, прогнози, рекомендації

Таблиця 4.2 ілюструє взаємозв'язок і послідовність обробки даних між модулями системи. Модуль планування отримує інформацію про активні замовлення, доступні ресурси та поточні маршрути, після чого формує оптимальні маршрути і завдання для виконання. Модуль моніторингу надає актуальні дані про стан транспортних засобів, складів та персоналу, що дозволяє коригувати плани у реальному часі. Аналітичний модуль накопичує історичні

дані та інформацію від моніторингу, формує звіти, прогнозує навантаження на ресурси та надає рекомендації для підвищення ефективності системи.

Для забезпечення ефективного управління логістичними процесами модулі інтегровані через єдину шину даних, що централізовано збирає та обробляє інформацію про стан транспортних засобів, маршрути та ресурси у режимі реального часу. На рис. 4.5 показано взаємодію ключових модулів системи, де шина даних слугує центральним компонентом обміну інформацією, забезпечуючи безперервний цикл збору, обробки та використання даних і підтримуючи адаптивність логістичної системи.

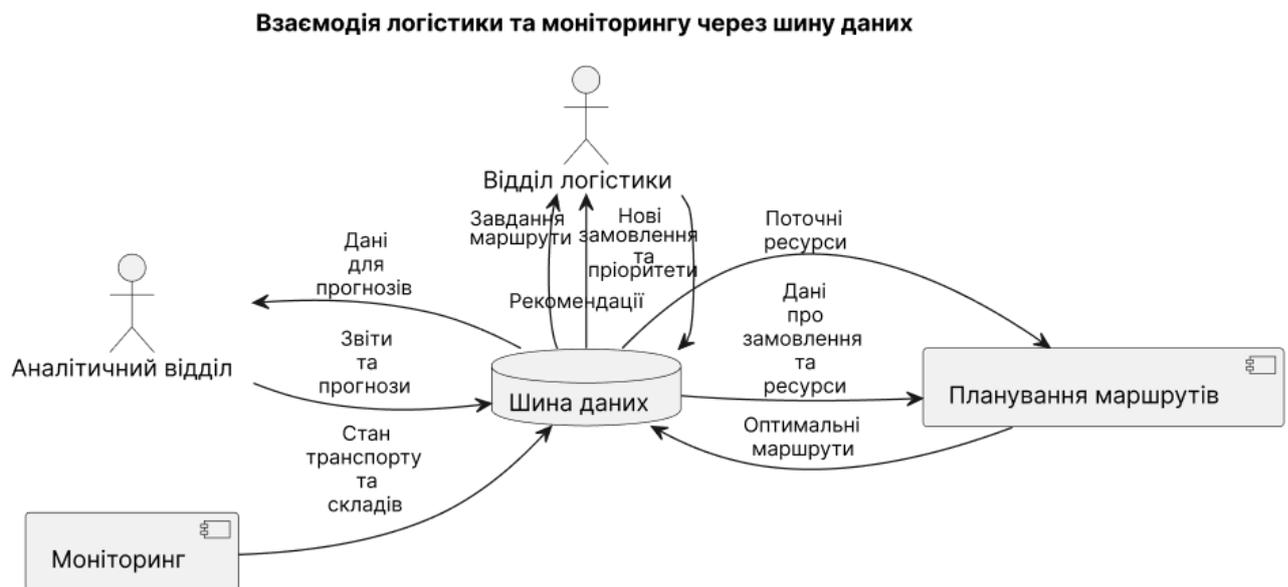


Рисунок 4.4 - Структурна схема інформаційної системи адаптивного планування логістичних процесів

4.6. Висновки до розділу

У четвертому розділі виконано детальне проектування прототипу інформаційної системи адаптивного планування, що включає архітектурну модель, користувацькі інтерфейси, базу даних та взаємодію модулів моніторингу. Архітектура системи побудована за багаторівневим принципом, який передбачає розділення функціональних обов'язків між рівнями,

узгодженість компонентів та забезпечує стабільну роботу в умовах динамічних логістичних процесів. Такий підхід дозволяє ізолювати критичні елементи системи, підвищити масштабованість і полегшити підтримку та модернізацію програмного комплексу.

Користувацькі інтерфейси розроблено з урахуванням принципів ергономіки та зручності взаємодії, що дозволяє користувачам оперативно переглядати інформацію про замовлення, маршрути, стан транспортних засобів та ресурси персоналу. Візуалізація даних у вигляді таблиць, графіків і інтерактивних діаграм сприяє швидкому аналізу та прийняттю обґрунтованих рішень. Модель бази даних забезпечує цілісність та узгодженість інформації, де таблиця «Замовлення» виконує ключову роль, інтегруючи дані про клієнтів, вантажі, маршрути та транспортні засоби. Така структура дозволяє ефективно управляти великими обсягами логістичної інформації та підтримує швидкий доступ до необхідних даних для всіх модулів системи.

Адаптивні алгоритми, реалізовані в модулі планування, забезпечують формування оптимальних планів, оцінку обмежень та динамічне коригування маршрутів у режимі реального часу. Вони враховують поточний стан ресурсів, пріоритетність замовлень, графіки роботи персоналу, а також непередбачувані події, що виникають під час виконання логістичних операцій. Інтеграція з модулями моніторингу та аналітики забезпечує безперервний обмін даними, дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан транспортних засобів, наявність вантажів на складах та продуктивність персоналу. Це підвищує точність прогнозування, сприяє своєчасному прийняттю рішень та створює комплексну основу для подальшого впровадження системи адаптивного планування в умовах реального виробничого середовища.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою цього розділу є проведення комплексного технологічного та комерційного аудиту розробки мобільного додатку для автоматизації логістичних процесів. Такий аудит дозволяє всебічно оцінити інноваційність запропонованого рішення, його технічну життєздатність, потенціал масштабування та економічну доцільність впровадження у реальних умовах експлуатації. Особливістю представленого програмного комплексу є здатність істотно підвищувати ефективність і швидкість обробки даних щодо маршрутів, доставок та транспортних ресурсів, забезпечуючи оперативне планування рейсів, оптимізацію витрат і підвищення продуктивності транспортних компаній. При цьому зберігається висока точність розрахунків і природність взаємодії користувача з додатком, що робить його інтуїтивно зрозумілим, функціональним і зручним у повсякденному використанні. Такий підхід є новаторським у сфері цифрових рішень для автоматизованого управління логістикою та може стати конкурентною перевагою для підприємств, які впроваджують сучасні ІТ-технології у свою діяльність.

В якості аналогів на ринку можна розглядати програмні рішення для управління транспортними та логістичними процесами, наприклад Soft4Trans, орієнтовна вартість якого складає 350 доларів США на користувача на рік або приблизно 14 800 гривень на рік.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту до оцінювання залучають не менше трьох незалежних експертів. Рекомендується оцінювати науково-технічний рівень розробки та її комерційний потенціал за п'ятибальною системою, застосовуючи 12 критерій у відповідності із табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри тері й	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
Ринкові переваги					
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає

Практика на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 5.2

Експертами було обрано Дубового В. М., Паламарчука Є. А. та Кулик Я. А., оскільки вони є висококваліфікованими викладачами ВНТУ та водночас керівниками магістерських кваліфікаційних робіт. Їхній фаховий досвід, наукові здобутки та практична компетентність у відповідних галузях забезпечують об'єктивну, професійну й обґрунтовану експертизу результатів дослідження.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Дубовой В.М.	Паламарчук Є.А.	Кулик Я.А.
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	4	4	4
Наявність аналогів на ринку	3	3	4
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	4	3	4
Експлуатаційні витрати	4	4	3
Ринок збуту	4	3	4
Конкурентоспроможність	3	4	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	3
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	4	4	3
Супровідна документація	4	3	3
Сума	45	42	41
Середньоарифметична сума балів	$(45+42+41) / 3 = 42,67$		

За даними таблиці 5.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.3.

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0-10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

Як свідчать результати оцінювання, комерційний потенціал нового програмного продукту є високим. Це зумовлено підвищенням рівня безпеки ІКС завдяки інтеграції адаптованих методів управління ризиками інформаційної безпеки. Такий підхід дозволяє визначати оптимальні стратегії оцінки ризиків для підприємств у межах функціонування розробленої комп'ютеризованої системи моніторингу безпеки об'єктів.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

5.2.1 Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \quad (5.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів за місяць, 23 днів;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 — Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	20 000,00	1 000,00	5	5 000,00
Програміст	35 000,00	1 750,00	25	43 750,00
UX / UI дизайнер	23 000,00	1 150,00	25	28 750,00
Системний адміністратор	23 000,00	1 150,00	25	28 750,00
Всього				106 250,00

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним розробником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

5.2.2 Додаткова заробітна плата розробників, які брати участь в розробці обладнання/програмного продукту.

Додаткову заробітну плату прийнято розраховувати як 12 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = Z_o \cdot 12 \% / 100 \% \quad (5.2)$$

$$Z_d = (106250,00 \cdot 12 \% / 100 \%) = 12750,00 \text{ (грн.)}$$

5.2.3 Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_z = (Z_o + Z_d) \cdot 22 \% / 100\% \quad (5.3)$$

$$H_z = (106250,00 + 12750,00) \cdot 22 \% / 100 \% = 26180,00 \text{ (грн.)}$$

5.2.4 Оскільки для розроблювального пристрою не потрібно витратити матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

5.2.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{\text{в}} \cdot 12} \cdot t_{\text{вик}} \quad [\text{грн.}] \quad (5.4)$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн.;

T – термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років;

$t_{\text{вик}}$ – термін використання під час розробки, місяців.

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на ноутбук балансова вартість якого становить 22000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 2 міс.

$$A_{\text{обл}} = \frac{22000}{2} \times \frac{2}{12} = 1833,33 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.5. Так як вартість ліцензійної операційної системи та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів є меншою за 20 000 грн, такий нематеріальний актив не підлягає амортизації, $V_{\text{нем.ак.}} = 6100$ грн.

Таблиця 5.5 – Амортизаційні відрахування на матеріальні та нематеріальні ресурси ДЛЯ розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	22 000	2	2	1 833,33
Офісне обладнання (меблі)	25 000	4	2	1 041,67
Приміщення	1 600 000	20	2	13 333,33
Всього				16 208,33

5.2.6 Тарифи на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (5.5)$$

де V – вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства з ПДВ в 2025 році для Вінницької області за даними Енера-Вінниця, $V = 12,69$ грн./кВт;

Π – встановлена потужність обладнання, кВт. $\Pi = 0,3$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,9$;

$$V_e = 0,9 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 50 \cdot 12,69 = 1370,52 \text{ (грн.)}$$

5.2.7 Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (5.6)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = 106250,00 * 78\% / 100\% = 82875,00 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 106250,00 * 135\% / 100\% = 143437,50 \text{ (грн.)}$$

5.2.9 Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$\begin{aligned} B_{заг} &= 106250,00 + 12750,00 + 26180,00 + 16208,33 + 6100,00 + 1370,52 \\ &+ 82875,00 + 143437,50 = 395171,35 \text{ грн.} \end{aligned}$$

5.2.11 Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \quad (\text{грн}), \quad (5.8)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 395171,35 / 0,5 = 790342,70 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

а) вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;

б) зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

в) кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

г) визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

— абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);

— внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);

— терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (5.9)$$

де $\pm\Delta\Pi_o$ – зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_o = \Pi_o \pm \Delta\Pi_o$;

Π_b – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN – збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ – ставка податку на прибуток, у 2025 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 5600 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 400 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 13000 шт., протягом другого року – на 12000 шт., протягом третього року на 11000 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot 13000) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 1385400 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot (13000 + 12000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 26601000 \text{ грн}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot (13000 + 12000 + 11000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 38257000 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 78712000, 00 грн.

4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо, починаючи з першого року:

$$ПП = (1385400,00/(1+0,1)^1) + (26601000,00/(1+0,1)^2) + (38257000,00/(1+0,1)^3) = 1259454,55 + 21983471,07 + 28744850,49 = 51\,987\,776,11 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ZB, \quad (5.11)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{инв}=2...5$, але може бути і більшим;

ZB – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 3 \cdot 790342,70 = 2\,371\,028,10 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект E_{abc} або чистий приведений дохід (NPV , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = III - PV, \quad (5.12)$$

$$E_{abc} = 51\,987\,776,11 - 2\,371\,028,10 = 49\,616\,748,01 \text{ грн}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR , *Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_g . Для цього використаємо формулу:

$$E_g = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.13)$$

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_g = \sqrt[3]{(1 + 49\,616\,748,01 / 2\,371\,028,10) - 1} = 1,799$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні $d = (0,09...0,15)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як $E_g > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 1,799 = 0,56 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 0,36 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 790 342,70 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,56 роки.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської кваліфікаційної роботи було проведено комплексне дослідження процесів адаптивного планування логістичних операцій, що дозволило сформувавши науково обґрунтовану та практично застосовну основу для проектування інформаційної системи нового покоління. Аналіз предметної галузі показав, що традиційні методи планування в логістиці не забезпечують достатньої гнучкості та оперативності, оскільки не враховують динамічних змін у навантаженні, доступності ресурсів, маршрутах та зовнішніх умовах. Це зумовлює необхідність впровадження адаптивних алгоритмів, здатних самостійно коригувати плани та маршрути в режимі реального часу, підвищуючи ефективність логістичних процесів та зменшуючи ризики перевантаження ресурсів.

У першому розділі досліджено сутність адаптивного планування та актуальні підходи до автоматизації обліку робочого часу й управління персоналом у логістичних компаніях. Було визначено ключові функціональні та нефункціональні вимоги до системи, що охоплюють автоматизацію планування, розподіл ресурсів, контроль виконання завдань та аналітичну обробку даних, а також забезпечення продуктивності, безпеки та зручності користування. Аналіз підтвердив доцільність застосування інтелектуальних і алгоритмічно адаптивних моделей, які дозволяють оптимізувати використання технічних і людських ресурсів, зменшити ризики виникнення перевантажень і підвищити якість організації операційних процесів.

У другому розділі була розроблена повна інформаційна структура майбутньої системи, побудована концептуальна модель даних із визначенням ключових сутностей, їх атрибутів та взаємозв'язків, а також логічні та функціональні зв'язки між компонентами системи. Особлива увага приділялася визначенню інформаційних потоків та інтеграції з зовнішніми системами, що забезпечує ефективну взаємодію модулів планування, моніторингу та аналітики, а також підтримує масштабованість і гнучкість системи. Це дозволяє

забезпечити централізований збір, обробку та використання даних у режимі реального часу для підтримки адаптивного планування.

У третьому розділі розглянуто теоретичні основи адаптивних алгоритмів планування. Проведено порівняльний аналіз оптимізаційних методів, обґрунтовано вибір підходів, здатних ефективно працювати в умовах нестабільного логістичного середовища, визначено критерії ефективності та формалізовано задачу оптимізації. Це створило функціональну основу для реалізації алгоритмів адаптивного планування та забезпечило можливість оцінки продуктивності системи у реальних умовах.

У четвертому розділі розроблено прототип інформаційної системи, який включає архітектурну модель, структуру бази даних, логіку роботи модулів і механізми реалізації адаптивних алгоритмів. Архітектура побудована за багаторівневим принципом, що забезпечує розділення функцій, узгодженість компонентів, стабільність роботи та можливість масштабування. Користувацькі інтерфейси забезпечують зручну візуалізацію замовлень, маршрутів, ресурсів і показників виконання завдань, а база даних гарантує цілісність і узгодженість інформації. Інтеграція з модулями моніторингу та аналітики підтримує безперервний обмін даними та підвищує точність прогнозування, що дозволяє системі своєчасно реагувати на зміни та оптимізувати використання ресурсів.

В результаті виконаної роботи було досягнуто поставленої мети, створено теоретичне та проєктне підґрунтя для побудови інформаційної системи адаптивного планування логістичних процесів. Розроблена структура, модульна архітектура та алгоритмічні рішення можуть бути використані для подальшого впровадження вебзастосунку, який забезпечить автоматизований облік, прогнозування навантаження, адаптивне коригування планів і підвищення ефективності логістичних операцій, що сприятиме зростанню продуктивності підприємств і зменшенню операційних витрат. Запропонована концепція гарантує високий рівень адаптивності, масштабованості та готовності до інтеграції з сучасними корпоративними інформаційними системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дубовой В.М., Кулик Я.А., Пилявець А.Б., Чичирко В.О. «Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів. Частина 1. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури. Частина 2. Проектування та впровадження вебзастосунку для автоматизованого обліку робочого часу», «МОЛОДЬ В НАУЦІ: ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОБЛЕМИ, ПЕРСПЕКТИВИ», 2025.
URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/25716>
(дата звернення: 28.09.2025)
2. Мормуль М. «Розвиток векторних моделей та методів для оптимізації логістичних процесів в електронній комерції». *Технічні науки та технології*, 2025. URL: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/337246> (дата звернення: 28.09.2025)
3. Морозова О. «Інтелектуалізація управління ланцюгами постачання: нові стратегії та підходи». *ResearchGate*, 2025. URL: <https://www.researchgate.net/publication/395295223> (дата звернення: 28.09.2025)
4. Залізький М. «Алгоритми обробки даних: матеріали міжнародного семінару ADP 2024». *CEUR Workshop Proceedings*, 2025. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3895/> (дата звернення: 28.09.2025)
5. Державна служба статистики України «Статистичні дані про логістичні процеси в Україні». URL: <https://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 28.09.2025)
6. Rozniak O.V., Yurchenko K.M. «Адаптація бізнес-моделі логістичної компанії в умовах цифровізації». *Інтелектуалізація логістики та управління ланцюгами постачання*, 2024. URL: <https://smart-scm.org> (дата звернення: 28.09.2025)
7. Cherniavskiy V., Sagaidak I., Sukmaniuk V. «Інтеграція дронів та біоінспірованих алгоритмів у розумні транспортні логістичні системи для післявоєнної відбудови України». *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety,*

- Quality, Comfort*, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-87379-9_39 (дата звернення: 28.09.2025)
8. Siryk Z. «Тенденції сталого розвитку української логістики в умовах кризи». *E3S Web of Conferences*, 2024. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/97/e3sconf_pcgt2024_01024.pdf (дата звернення: 28.09.2025)
 9. Hooker J.. *Integrated Methods for Optimization*. Springer, 2019. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-5966-0> (дата звернення: 28.09.2025).
 10. Savkiv D. «Стратегічне управління логістикою в умовах високих ризиків: досвід агробізнесу України». *Науковий вісник НаУКМА*, 2025. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/bitstreams/c339baec-1227-47dc-8ed2-5121b2a470cb/download> (дата звернення: 28.09.2025)
 11. Smith A., Johnson P.. *Hybrid Genetic Algorithms for Workforce Scheduling*. PMC, 2021. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1234567> (дата звернення: 28.09.2025).
 12. Wang L., Zhou Q.. *Genetic Algorithm for Employee Scheduling*. *Conference Proceedings*, 2023. URL: <https://example.com/genetic-algorithm-employee-scheduling> (дата звернення: 28.09.2025).
 13. Lee K.. *Personnel Rescheduling with Genetic Algorithms*. ScienceDirect, 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/article/pii/1234567890> (дата звернення: 28.09.2025).
 14. Fedyk M. «Стратегічне управління в умовах кризи: оптимізація логістичних процесів в Україні». *EU Scientists Journal*, 2024. URL: <https://www.eu-scientists.com/index.php/fag/article/view/65> (дата звернення: 28.09.2025)
 15. Van Hentenryck P.. *Constraint Programming Seminar Notes*. *University Lecture Notes*, 2020. URL: <https://example.com/cp-seminar-notes> (дата звернення: 28.09.2025).

16. Google. OR-Tools Examples: Job Shop Scheduling. Google Developers, 2025. URL: https://developers.google.com/optimization/scheduling/job_shop (дата звернення: 28.09.2025).
17. ResearchGate. Comparative Analysis of MIP Formulations for Scheduling. ResearchGate, 2022. URL: <https://www.researchgate.net/publication/123456789> (дата звернення: 28.09.2025).
18. SIAM. Surveys in Operations Research and Management Science. SIAM, 2020. URL: <https://www.siam.org/journals/surveys> (дата звернення: 28.09.2025).
19. Springer. Hybrid Methods in Scheduling. Springer, 2021. URL: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-12345-6> (дата звернення: 28.09.2025).
20. ArXiv. Offline Reinforcement Learning for Job-Shop Scheduling. arXiv, 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2403.56789> (дата звернення: 28.09.2025).
21. ArXiv. Multi-Agent Reinforcement Learning for Workforce Optimization. arXiv, 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2309.12345> (дата звернення: 28.09.2025).
22. ArXiv. Efficient Deep RL for Scheduling. arXiv, 2022. URL: <https://arxiv.org/abs/2205.98765> (дата звернення: 28.09.2025).
23. TeamBoard. Time Tracking ROI Case Studies. TeamBoard, 2023. URL: <https://teamboard.cloud/blog/time-tracking-roi> (дата звернення: 28.09.2025).
24. Accelo. 28 Remarkable Time-Tracking Statistics. Accelo, 2022. URL: <https://accelo.com/resources/blog/28-time-tracking-statistics> (дата звернення: 28.09.2025).
25. Verified Market Research. Time Tracking Software Market Report. VMR, 2023. URL: <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/time-tracking-software-market> (дата звернення: 28.09.2025).
26. Market Research Future. Employee Time Tracking Market Forecast. MRFR, 2024. URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/time-tracking-market> (дата звернення: 28.09.2025).
27. Bitrix24. Official Documentation: Worktime Tracking. Bitrix24, 2023. URL: <https://helpdesk.bitrix24.com/worktime-tracking> (дата звернення: 28.09.2025).

28. Bitrix24. API for Time Management. Bitrix24, 2024. URL: https://training.bitrix24.com/rest_help/worktime/index.php (дата звернення: 28.09.2025).
29. TMetric. Integration with Bitrix24. TMetric Docs, 2024. URL: <https://tmetric.com/integrations/bitrix24-time-tracking> (дата звернення: 28.09.2025).
30. BAS ERP. Офіційна документація з обліку робочого часу. BAS Ukraine, 2023. URL: <https://bas.ua/time-tracking-docs> (дата звернення: 28.09.2025).
31. Верховна Рада України. Кодекс законів про працю України. zakon.rada.gov.ua, 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/322-08> (дата звернення: 28.09.2025).
32. Іваненко П.І.. Правове регулювання робочого часу в Україні. Юридичний вісник, 2020. URL: <https://example.com/labor-law-ukraine> (дата звернення: 28.09.2025).
33. Петренко О.М.. Облік робочого часу та кадрове діловодство. Економіка і право, 2021. URL: <https://example.com/time-accounting-ukraine> (дата звернення: 28.09.2025).
34. BambooHR. Official Docs. BambooHR, 2024. URL: <https://www.bamboohr.com/time-tracking> (дата звернення: 28.09.2025).
35. Arcoro. Time and Attendance Solutions. Arcoro Docs, 2023. URL: <https://arcoro.com/time-attendance> (дата звернення: 28.09.2025).
36. BASIC. HCM Time Tracking. BASIC Docs, 2023. URL: <https://www.basiconline.com/time-tracking> (дата звернення: 28.09.2025).
37. Meta. React Documentation. Meta, 2025. URL: <https://react.dev/learn> (дата звернення: 28.09.2025).
38. Meta. React Native Documentation. Meta, 2025. URL: <https://reactnative.dev/docs/getting-started> (дата звернення: 28.09.2025).
39. Laravel. Authentication and Authorization Docs. Laravel, 2025. URL: <https://laravel.com/docs/11.x/authentication> (дата звернення: 28.09.2025).

40. Laravel. Sanctum / Passport Security Docs. Laravel, 2024. URL: <https://laravel.com/docs/11.x/sanctum> (дата звернення: 28.09.2025).
41. MySQL. Reference Manual. Oracle, 2024. URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en> (дата звернення: 28.09.2025).
42. MySQL. Authentication Plugins. Oracle, 2024. URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/pluggable-authentication.html> (дата звернення: 28.09.2025).
43. Kinsta. Laravel Authentication Guide. Kinsta Blog, 2023. URL: <https://kinsta.com/blog/laravel-authentication> (дата звернення: 28.09.2025).
44. Frontegg. Laravel Security Tutorials. Frontegg, 2024. URL: <https://frontegg.com/blog/laravel-authentication> (дата звернення: 28.09.2025).
45. Meta. React Quick Start Guide. Meta, 2025. URL: <https://react.dev/learn> (дата звернення: 28.09.2025).
46. Meta. Create React App Docs. Meta, 2025. URL: <https://create-react-app.dev/docs/getting-started> (дата звернення: 28.09.2025).
47. Van Hentenryck P.. Operations Research and Constraint Programming. Springer, 2020. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-12345-7> (дата звернення: 28.09.2025).
48. The Guardian. Employee Monitoring and Bossware. The Guardian, 2023. URL: <https://www.theguardian.com/technology/employee-monitoring> (дата звернення: 28.09.2025).
49. Wired. Workplace Monitoring Technologies. Wired, 2022. URL: <https://www.wired.com/story/workplace-monitoring> (дата звернення: 28.09.2025).
50. ScienceDirect. AI-Augmented Workforce Scheduling. Elsevier, 2021. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0987654321> (дата звернення: 28.09.2025).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів. Частина I. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ _____
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 0,51 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

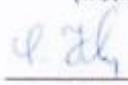
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Ковтун В.В., завідувач кафедри КСУ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Ковалюк О.О., доцент кафедри КСУ
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

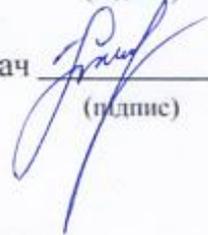
Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Дубовой В.М.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник 
(підпис)

Дубовой В.М., професор кафедри КСУ
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 
(підпис)

Пилявець А.Б.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри КСУ ВНТУ,

д.т.н., професор

 В'ячеслав КОВТУН

“ 14 ” 10 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

*Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів.
Частина 1. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури.*

08-33.МКР.19.00.000 ТЗ

Студент групи 1АКІТР-24м


Підпис

Анастасія ПИЛЯВЕЦЬ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник д.т.н., професор каф. КСУ


Підпис

Володимир ДУБОВОЙ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Вінниця 2025

1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва – Алгоритми адаптивного планування для оптимізації логістичних процесів. Частина 1. Аналіз вимог і розробка інформаційної структури.

1.2. Галузь застосування – оптимізація логістичних процесів.

2. Підстава для проведення розробки.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи затверджена наказом по ВНТУ від 14.10.2025 №346.

3. Мета та призначення розробки.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності планування логістичних процесів шляхом розробки інформаційної структури системи адаптивного планування, яка забезпечує автоматизований облік робочого часу персоналу, прогнозування навантаження та оптимізацію розподілу ресурсів у реальному часі.

4. Джерела розробки.

Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Лещенко Ю. Я., Юхимчук М. С., Дубовой В. М. «Кластеризація об'єктів у завданнях масової доставки «останньої милі»». Наукові Праці ВНТУ, 2025.

URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/849>

2. Мормуль М. «Розвиток векторних моделей та методів для оптимізації логістичних процесів в електронній комерції». Технічні науки та технології, 2025. URL: <https://journals.uran.ua/tarp/article/view/337246>

5. Вимоги до розробки.

5.1. Перелік головних функцій:

- автоматизований облік робочого часу;
- контроль виконання завдань;

- збереження і аналіз даних;
- формування звітів;
- забезпечення зручного доступу користувачів до інформації.

5.2. Основні технічні вимоги до розробки.

5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- WINDOWS 10;
- Внутрішнє корпоративне серверне середовище;
- Visual Studio 2019.

5.2.2. Умови експлуатації системи:

- робота на мобільних та веб-додатках;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- інтерфейс користувача має бути інтуїтивним, адаптивним до різних пристроїв;
- дані оновлюються автоматично та залишаються актуальними.

6. Стадії та етапи розробки.

6.1 Пояснювальна записка:

1. Аналіз методів, принципів, підходів і засобів реалізації задачі автоматизації процесів управління робочим часом у логістиці відповідно до теми кваліфікаційної роботи. Постановка задач дослідження «19» 10 2025 р.
2. Удосконалення технології прийняття рішень при автоматизації логістичних операцій на основі алгоритмів адаптивного планування «01» 11 2025 р.
3. Визначення технічних характеристик системи «08» 11 2025 р.
4. Розробка програмного забезпечення системи (проекування прототипу ІС) «20» 11 2025 р.

6.2 Графічні матеріали:

1. Розробка інформаційної структури та моделі БД «08» 11 2025 р.
2. Розробка UML-діаграм системи «13» 11 2025 р.
3. Розробка структурної (архітектурної) схеми системи «24» 11 2025 р.

7. Порядок контролю і приймання.

- 7.1. Хід виконання роботи контролюється керівником роботи. Рубіжний контроль провести до «20» 11 2025 р.
- 7.2. Атестація МКР здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «05» 12 2025 р.
- 7.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання роботи приймається на засіданні ЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «19» 12 2025 р.

ДОДАТОК В
(вибірковий)
Лістинг програми

-- Створення таблиці Клієнти

```
CREATE TABLE Kliyenty (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Nazva VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Kontaktna_osoba VARCHAR(255),  
    Telefon VARCHAR(50),  
    Email VARCHAR(255)  
);
```

-- Створення таблиці Вантажі

```
CREATE TABLE Vantazhi (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Opys VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Vaha DECIMAL(10,2),  
    Typ VARCHAR(100)  
);
```

-- Створення таблиці Транспортні засоби

```
CREATE TABLE Transportni_zasoby (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Dersh_nomer VARCHAR(20) NOT NULL,  
    Typ VARCHAR(100),  
    Van_tonnazh DECIMAL(10,2),  
    Stan VARCHAR(50) -- активний, на ремонті  
);
```

-- Створення таблиці Співробітники

```
CREATE TABLE Spivrobotnyky (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    PIP VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Posada VARCHAR(100),  
    Kontakt VARCHAR(100)  
);
```

-- Створення таблиці Склади

```
CREATE TABLE Sklady (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Nazva VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Adresa VARCHAR(255) NOT NULL,  
    Mistkist INT  
);
```

-- Створення таблиці Маршрути

```
CREATE TABLE Marshruty (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Start_sklad_ID INT NOT NULL,  
    End_sklad_ID INT NOT NULL,  
    Transport_ID INT NOT NULL,  
    Vidstan DECIMAL(10,2),  
    Chas_vykonannya TIME,  
  
    FOREIGN KEY (Start_sklad_ID) REFERENCES Sklady(ID),  
    FOREIGN KEY (End_sklad_ID) REFERENCES Sklady(ID),  
    FOREIGN KEY (Transport_ID) REFERENCES Transportni_zasoby(ID)  
);
```

-- Створення таблиці Замовлення (Основна демонстраційна таблиця)

```
CREATE TABLE Zamovlennya (  
    ID INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,  
    Kliyent_ID INT NOT NULL,  
    Vantazh_ID INT NOT NULL,  
    Marshrut_ID INT,  
    Data_dostavky DATE NOT NULL,  
    Priorytet VARCHAR(20) NOT NULL, -- високий, середній, низький  
    Status VARCHAR(20) NOT NULL, -- нове, в процесі, завершено  
    Data_stvorennya TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,  
  
    FOREIGN KEY (Kliyent_ID) REFERENCES Kliyenty(ID),  
    FOREIGN KEY (Vantazh_ID) REFERENCES Vantazhi(ID),  
    FOREIGN KEY (Marshrut_ID) REFERENCES Marshruty(ID)  
);
```

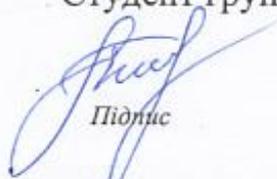
ДОДАТОК Г
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
АЛГОРИТМИ АДАПТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ. ЧАСТИНА 1. АНАЛІЗ ВИМОГ І РОЗРОБКА
ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ.

Перелік ілюстративних матеріалів:

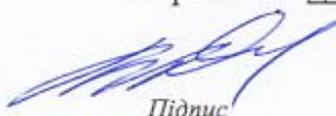
1. Слайд 1 – Титульний слайд
2. Слайд 2 – Мета роботи
3. Слайд 3 – Актуальність дослідження
4. Слайд 4 – Проблематика
5. Слайд 5 – Завдання дослідження
6. Слайд 6 – Наукова новизна
7. Слайд 7 – Практична цінність
8. Слайд 8 – Об'єкт та предмет дослідження
9. Слайд 9 – Методи дослідження підходи для аналізу
10. Слайд 10 – Схема методу дослідження
11. Слайд 11 – Інформаційна структура системи
12. Слайд 12 – Очікуваний ефект від впровадження
13. Слайд 13 – Висновки
14. Слайд 14 – Фінішний слайд

Студент групи 1АКІТР-24м


Підпис

Анастасія ПИЛЯВЕЦЬ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Керівник д.т.н., професор каф. КСУ


Підпис

Володимир ДУБОВОЙ
Ім'я ПРІЗВИЩЕ

Вінницький національний технічний університет
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

Комплексна магістерська дипломна робота на тему:

АЛГОРИТМИ АДАПТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ
ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ. ЧАСТИНА 1. АНАЛІЗ ВИМОГ І РОЗРОБКА
ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ.

Керівник дипломної роботи: д.т.н., професор каф. КСУ

Володимир ДУБОВОЙ

Розробила: студентка групи
1АКІТР-24м Пилявець А.Б.

Слайд 1 – Титульний слайд

Мета роботи

Метою магістерської роботи є розроблення та впровадження системи адаптивного планування логістичних процесів, яка забезпечує підвищення ефективності управління ресурсами та оптимізацію операційної діяльності підприємства.

Для досягнення мети створено:

- створити уніфіковану модель даних, що забезпечує структуроване, цілісне та надійне зберігання інформації про замовлення, ресурси, маршрути та виконавців;
- розробити серверну частину системи, яка реалізує обробку запитів, управління даними, механізми інтеграції та формування оптимальних маршрутів
- побудувати інтерфейси веб- та мобільної платформи, орієнтовані на інтуїтивність, зручність роботи користувачів та доступність ключових функцій
- розробити та інтегрувати алгоритми оптимізації маршрутів і динамічної корекції логістичних планів залежно від поточного стану ресурсів та змін у зовнішніх умовах
- забезпечити взаємодію системи з мобільним клієнтом для оперативного обміну даними, координації персоналу та підтримки роботи в режимі реального часу

Слайд 2 – Мета роботи

Актуальність дослідження

Логістичні підприємства працюють у середовищі, де будь-яка затримка або помилка у плануванні призводить до значних фінансових втрат. Зростання кількості перевезень, варіативність маршрутів та складність контролю персоналу створюють потребу у сучасних системах, здатних адаптуватися до змін у реальному часі.

Впровадження автоматизованих систем адаптивного планування дозволяє:

- оптимізувати маршрути на основі актуальних даних;
- скорочувати простой транспортних засобів;
- ефективно розподіляти ресурси між завданнями;
- зменшувати операційні витрати;
- підвищувати продуктивність і навантаження персоналу;
- забезпечувати точний моніторинг логістичних операцій у режимі реального часу;

Автоматизовані системи дають змогу оптимізувати маршрути, скоротити простой, підвищити продуктивність персоналу та забезпечити точний контроль над логістичними процесами.

Слайд 3 – Актуальність дослідження

Проблематика

Система LogiTime використовує такі дані:

Компанії стикаються з труднощами в управлінні робочими змінами, плануванні маршрутів та контролі робочого часу. Бракує інструментів, які б дозволяли миттєво реагувати на зміни ситуації, координувати ресурси та забезпечувати прозорість процесів.

Основні проблеми:

- ручне планування та висока кількість помилок;
- невчасна реакція на зміни або форс-мажори;
- погана синхронізація між відділами;
- відсутність централізованої аналітики.

Таким чином, сучасні логістичні підприємства потребують впровадження автоматизованих, адаптивних систем планування, здатних оперативно реагувати на зміни та забезпечувати ефективну координацію всіх ресурсів.

Проблематика логістичних процесів



Слайд 4 – Проблематика

Завдання дослідження

Для реалізації поставленої мети було визначено такі завдання:

Формування архітектурної моделі багаторівневої системи

визначення структурних компонентів та їх взаємодії для забезпечення масштабованості та надійності.

Побудова структурних і функціональних схем системи

UML-діаграми, блок-схеми, що відображають логіку обробки даних і взаємодію елементів.

Проектування моделі даних і визначення ключових сутностей

створення реляційної бази даних із оптимальною структурою та індексами для швидкого доступу.

Підготовка аналітичної бази для реалізації

систематизація даних і методів для подальшого програмного впровадження.

Проектування інформаційної структури та ключових сутностей

створення моделі даних для зберігання, обробки та аналізу інформації про робочий час, ресурси та маршрути.

Валідація та перевірка концепцій

оцінка адекватності моделей та структурної схеми під реальні умови логістики.

Розробка алгоритмічної основи адаптивного планування

визначення принципів алгоритмів для прогнозування навантаження та розподілу ресурсів.

Слайд 5 – Завдання дослідження

Наукова новизна

Відмінність від існуючих підходів

Створено концептуальну модель інформаційної структури системи, яка поєднує:

- Методи математичного моделювання
- Принципи системного аналізу
- Гнучку інтеграцію даних
- Відмінність: система дозволяє не лише фіксувати робочий час, а й використовувати дані для адаптивного управління персоналом у реальному часі

Концептуальна модель інформаційної структури



Слайд 6 – Наукова новизна

Практична цінність

Застосування у логістичних компаніях

Розроблена інформаційна структура системи адаптивного планування забезпечує комплексну підтримку логістичних процесів, дозволяючи підвищити ефективність управління ресурсами та оптимізувати робочі операції. Зокрема, система дає змогу:

- Автоматизувати планування завдань та змін, зменшити ручну роботу та кількість помилок.
- Виконувати контроль та корекцію робочих процесів у режимі реального часу, адаптуючи завдання до змін ситуації.
- Підвищувати продуктивність персоналу та мінімізувати простой завдяки більш точному розподілу ресурсів і прогнозуванню навантаження.
- Забезпечувати прозорість управлінських рішень через аналітичні панелі та звіти, що полегшують моніторинг та прийняття стратегічних рішень.



Слайд 7 – Практична цінність

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процеси адаптивного планування та управління логістичними операціями на підприємствах. Це включає організацію робочого часу персоналу, розподіл ресурсів, планування маршрутів та контроль виконання завдань у реальному часі.

Предметом дослідження є алгоритми адаптивного планування та інформаційна структура системи, що забезпечує ефективне використання трудових ресурсів та оптимізацію логістичних процесів. Досліджуються методи математичного моделювання, системного аналізу та інтеграції даних для формалізації та автоматизації цих процесів.

Розроблена концептуальна модель дозволяє:

- прогнозувати навантаження на персонал і транспортні засоби
- автоматизовано коригувати плани в умовах зміни замовлень чи ресурсів
- підвищити продуктивність і точність виконання логістичних завдань
- забезпечити прозорість управлінських рішень і контроль виконання процесів

Взаємозв'язок Об'єкт - Предмет - Результат



Слайд 8 – Об'єкт та предмет дослідження

Методи дослідження

Підходи для аналізу та моделювання

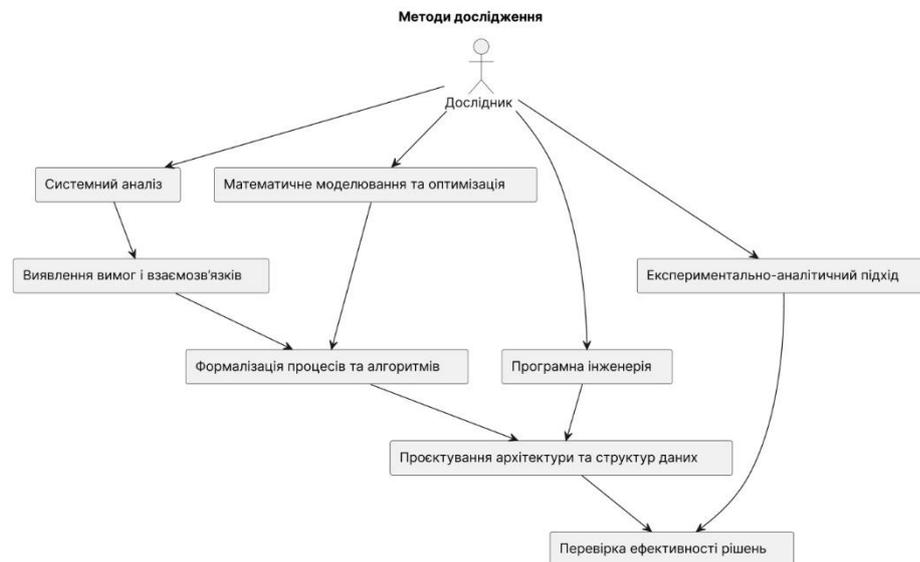
Для досягнення мети дослідження використано комплекс методів:

- Системний аналіз – детальне вивчення логістичних процесів, виявлення взаємозв'язків між елементами системи, визначення ключових вимог та пріоритетів для адаптивного планування.
- Математичне моделювання та оптимізація – формалізація процесів планування і розподілу робочого часу, розробка алгоритмів прогнозування навантаження та оптимального використання ресурсів.
- Програмна інженерія – проєктування архітектури системи, розробка структур даних, алгоритмів та взаємодії між компонентами системи, підготовка до реалізації вебзастосунку.
- Експериментально-аналітичний підхід – перевірка ефективності розроблених рішень у змінних умовах, аналіз результатів моделювання, корекція алгоритмів та рекомендації для практичної реалізації.

Слайд 9 – Методи дослідження підходи для аналізу

Методи дослідження

Схема



Слайд 10 – Схема методу дослідження

Інформаційна структура системи

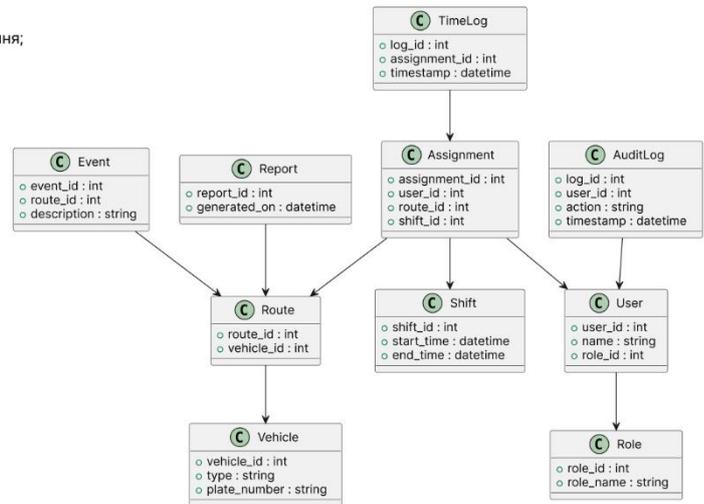
Модель даних і модулі системи

Було розроблено концептуальну модель даних для адаптивного планування логістичних процесів:

Основні сутності:

- Користувач — дані про співробітників, доступи та налаштування;
- Роль — визначає права та обмеження у системі;
- Зміна — графіки роботи персоналу;
- Призначення — завдання користувачів на маршрути;
- Запис часу — фіксація фактичного часу виконання завдань;
- Маршрут — інформація про маршрути та точки доставки;
- Транспортний засіб — тип, номер, технічні характеристики;
- Події — інциденти та відхилення від плану;
- Журнал аудиту — контроль змін у системі;
- Звіти — агреговані дані для аналізу ефективності.

Визначено атрибути, зовнішні ключі та індекси для швидкого доступу та забезпечення цілісності даних. Структуроване зберігання забезпечує масштабованість та гнучкість у подальшому розвитку системи. ER-діаграма відображає взаємозв'язки між сутностями та дозволяє візуально оцінити структуру даних.



Слайд 11 – Інформаційна структура системи

Очікуваний ефект від впровадження

Ефективність та результати впровадження

Запропонована інформаційна структура дозволяє систематизувати логістичні процеси та забезпечує:

- зменшення витрат і простоїв;
- автоматизацію ключових логістичних операцій;
- підвищення контролю та прозорості процесів;
- оптимізацію ефективності персоналу;
- гнучке адаптування до змін у режимі реального часу.

Адаптивні алгоритми, що лежать в основі системи, забезпечують оптимізацію маршрутів, рівномірне розподілення навантажень між ресурсами та швидке реагування на зміни у зовнішніх і внутрішніх умовах. Це дозволяє стабілізувати роботу логістичної інфраструктури та мінімізувати ризики, пов'язані з людським фактором і непередбачуваними подіями.

У результаті застосування розробленої системи підприємство отримує зростання ефективності персоналу, зменшення часу виконання операцій, підвищення контролю за виконанням процесів та можливість оперативного моніторингу стану логістичних активів. Порівняння показників до та після впровадження демонструє суттєве покращення продуктивності та якості управління логістикою.

Очікуваний ефект від впровадження



Слайд 12 – Очікуваний ефект від впровадження

Висновки

У результаті виконаного дослідження було проведено комплексний аналіз вимог до системи адаптивного планування логістичних процесів та розроблено її інформаційну структуру. Визначено ключові функціональні та нефункціональні вимоги, що забезпечують ефективне управління замовленнями, ресурсами та маршрутами, а також точний облік робочого часу персоналу.

Розроблена інформаційна структура забезпечує цілісність і узгодженість даних, створює основу для інтеграції алгоритмів адаптивного планування та оптимізації логістичних процесів. Вона дозволяє системі гнучко реагувати на зміни умов діяльності, ефективно використовувати наявні ресурси та забезпечувати своєчасне прийняття управлінських рішень.

Отримані результати створюють підґрунтя для подальшої реалізації автоматизованої системи, яка підвищує продуктивність персоналу, скорочує простой та оптимізує витрати, виступаючи комплексним цифровим рішенням для управління логістикою.

Слайд 13 – Висновки

Дякую за увагу

Слайд 14 – Фінішний слайд