

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного  
транспорту  
Назва теми

КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студент III курсу, група КІ2с-22-1

  
Підпис

Віталій СИВАК  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

Володимир ГРИГА  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

«19» червня 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Віталій СИВАК

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту

Керівник проекту (роботи) Володимир ГРИГА, к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту

Проектування системи обробки інформації у спеціалізованій системі динамічного вагового контролю автомобільного транспорту

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для динамічної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання

« 10 » 01 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	ВИКОНАНО
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	ВИКОНАНО
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	ВИКОНАНО
4	Робота над розділом 2 – вибір елементів для побудови системи динамічного вагового контролю	01.04.2025	ВИКОНАНО
5	Робота над розділом 3 – побудови системи динамічного вагового контролю та управління ресурсами для віртуальних серверів	29.04.2025	ВИКОНАНО
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	ВИКОНАНО
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	ВИКОНАНО
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Керівник роботи


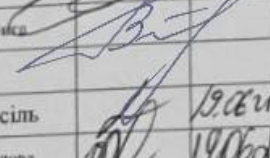
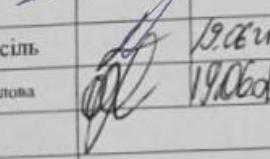
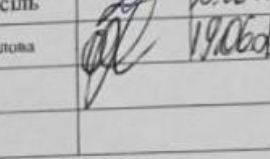
Підпис  
  
Підпис

Віталій СИВАК  
Ініціали, прізвище

Володимир ГРИГА  
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ екз	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Пояснювальна записка	61		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 220037.22.01.20 Е8	Архітектура ПЗ проєкту	1		
3		КвРКІ 220037.22.01.20 Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КвРКІ 220037.22.01.20 Е8	<u>Апаратне забезпечення</u> <u>проєкту</u>	1		

КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Сивак			У	1	1
Перевір.		Грица			ХНУ, КІ2С-22-1		
Н. контр.		Кисіль		19.06.11			
Затв.		Павлова		19.06.11			

Відомість проєкту

ХНУ, КІ2С-22-1

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту».

Автор роботи: Віталій СИВАК.

Керівник роботи: Володимир ГРИГА.

Пояснювальна записка: 61 с., 7 рис., 2 табл., 3 дод., 46 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.


### ВАГОВИЙ КОНТРОЛЬ, АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДУЛЯ АНАЛІТИКИ І ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ

Метою дипломної роботи є дослідження, проектування та впровадження спеціалізованої системи динамічного вагового контролю для виявлення перевантажених транспортних засобів у русі з використанням сучасних цифрових технологій, зокрема Інтернету речей та елементів штучного інтелекту.

Об'єктом дослідження є система динамічного вагового контролю транспортних засобів.

Предметом дослідження є програмно-апаратні засоби збору, обробки, передачі та зберігання вагових даних у динамічному режимі.

Під час проведення дослідження застосовувалися методи аналізу міжнародного досвіду, системного проектування, структурного моделювання та методи аналізу ефективності автоматизованих систем контролю транспортних потоків.

  
Підпис студента

30.05.2025

Дата

## ЗМІСТ

### 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ СИСТЕМИ

1.1 Аналіз предметної області задачі .....	5
1.2 Основні функції систем динамічного вагового контролю .....	7
1.3. Огляд існуючих рішень .....	9
1.4 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень .....	11
1.5 Постановка задачі .....	14
1.6 Висновки .....	16

### 2 ВИБІР АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ВАГОВОГО КОНТРОЛЮ

2.1 Опис структури системи .....	18
2.2 Вибір апаратного забезпечення .....	20
2.3 Вибір програмного забезпечення.....	29
2.4 Вибір протоколу передачі даних.....	31
2.5 Вибір середовища програмування.....	34
2.6 Висновки .....	37

### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ВАГОВОГО КОНТРОЛЮ

3.1 Розроблення архітектури системи .....	39
3.2 Реалізація апаратної частини системи динамічного вагового контролю .....	42
3.3 Розроблення програмного забезпечення бази даних та аналітичного модуля .....	46
3.4 Побудова системи візуалізації результатів контролю .....	51
3.5 Реалізація API для обміну даними з державними системами .....	53
3.6 Реалізація системи моніторингу стану вузлів WIM.....	55

КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Віталій СИВАК		19.06.25	Спеціалізована система динамічного вагового контролю	y	2	61
Перевір.		Володимир ГРИБА						
Н.контр.		Тетяна КИСЛІЬ		19.06.25				
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		19.06.25				

ХНУ КІ2С-22-1

3.7 Тестування системи динамічного вагового контролю .....	57
3.8 Висновки .....	59
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	61
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	62
<b>ДОДАТОК А</b> .....	66
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	67
<b>ДОДАТОК В</b> .....	68

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сучасна транспортна інфраструктура України переживає значні виклики, пов'язані зі збільшенням інтенсивності руху вантажного транспорту, який, своєю чергою, справляє істотний вплив на технічний стан автомобільних доріг. Однією з головних проблем, яка потребує негайного вирішення, є контроль навантаження на дорожнє полотно. Перевищення вагових норм транспортними засобами є основною причиною передчасного руйнування дорожнього покриття, що тягне за собою мільярдні витрати на ремонт та утримання автошляхів.

Традиційні методи зважування, які передбачають зупинку транспортного засобу та фіксацію його вагових параметрів у статичному режимі, значно поступаються сучасним технологіям. У зв'язку з цим особливу актуальність отримують системи динамічного вагового контролю (WIM – Weigh-in-Motion), які дозволяють зчитувати вагові характеристики транспортних засобів без зупинки, у русі, із високою точністю та швидкістю. Ці системи інтегрують у собі новітні досягнення в галузі комп'ютерної інженерії, телекомунікацій, сенсорики, штучного інтелекту та Інтернету речей.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розроблення спеціалізованої системи динамічного вагового контролю для автомобільного транспорту, яка дозволить підвищити ефективність моніторингу транспортного потоку, автоматизувати виявлення порушень вагових норм, зменшити витрати на обслуговування доріг та сприяти цифровізації транспортної інфраструктури України.

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ СИСТЕМИ

## 1.1 Аналіз предметної області задачі

Збереження автомобільних доріг є одним із пріоритетних завдань для транспортної галузі кожної країни, зокрема України, де більшість автошляхів експлуатується з перевищенням нормативного строку служби. Одним із основних чинників, що спричиняють передчасне руйнування дорожнього полотна, є перевищення допустимого навантаження на осі транспортного засобу. Особливо це стосується великовантажних автомобілів, які іноді перевищують норму ваги у кілька разів, завдаючи колосальної шкоди дорожній інфраструктурі.

У зв'язку з цим постає потреба у впровадженні систем, що забезпечують ефективний контроль навантаження транспортних засобів у реальному часі. Традиційні методи контролю – шляхом зважування на стаціонарних постах – потребують зупинки транспортного засобу, займають багато часу, призводять до заторів, є ресурсо- та енерговитратними, а також не дозволяють контролювати масу транспорту в динаміці. Такі системи мають обмежену пропускну здатність і потребують значного людського ресурсу для обслуговування.

На відміну від цього, системи динамічного вагового контролю (WIM) дозволяють здійснювати зважування автомобілів без зупинки, прямо під час руху, що суттєво підвищує швидкість контролю та його ефективність[1]. Принцип роботи WIM-систем базується на вбудованих у дорожнє покриття тензометричних або кварцових датчиках, що реагують на навантаження осі при проїзді автомобіля. Інформація від сенсорів обробляється в реальному часі і передається на центральний сервер, де відбувається аналіз, фіксація порушень, формування звітності, а також інтеграція з базами даних поліції чи державних служб.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Актуальність створення спеціалізованої системи WIM [1] зумовлена необхідністю вирішення одразу кількох завдань:

- автоматизація процесу виявлення перевантажених транспортних засобів;
- зниження витрат на обслуговування дорожньої інфраструктури;
- підвищення рівня безпеки дорожнього руху;
- створення інтегрованого підходу до моніторингу транспортного потоку;
- цифровізація взаємодії між державними структурами (Укртрансбезпека, поліція, служби контролю);
- зниження рівня корупції завдяки автоматизації збору доказів та формування штрафів.

У сфері комп'ютерної інженерії реалізація таких систем охоплює широке коло завдань: проектування електронних пристроїв збору даних, побудова розподіленої інфраструктури обробки, використання бездротових протоколів зв'язку, реалізація централізованих або хмарних платформ для зберігання і аналізу даних, розробка алгоритмів класифікації транспортних засобів, застосування технологій штучного інтелекту для прогнозування навантаження та інтеграції з іншими IT-системами.

Таким чином, предметна область задачі включає в себе: транспортну логістику, інформаційно-комунікаційні технології, вбудовані системи, сенсорні мережі, бази даних, захист інформації, інтелектуальний аналіз даних і взаємодію між урядовими та комерційними інфраструктурами. Розробка спеціалізованої системи динамічного вагового контролю має на меті комплексне вирішення всіх зазначених проблем і спрямована на впровадження вітчизняного конкурентоспроможного технічного рішення [1,2].

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Основні функції систем динамічного вагового контролю

Системи динамічного вагового контролю (WIM – Weigh-In-Motion) є складовими сучасної транспортної інфраструктури, призначеними для точного вимірювання вагових характеристик транспортних засобів під час їхнього руху по дорозі. Вони дозволяють фіксувати такі параметри як маса автомобіля, навантаження на осі, швидкість, кількість осей, відстань між осями, клас транспортного засобу тощо. Основною функцією таких систем є виявлення перевантажених транспортних засобів без необхідності зупинки або сповільнення руху [1,2] .

Однією з ключових переваг WIM-систем є можливість виконання вагового контролю у реальному часі без створення заторів. У порівнянні зі стаціонарними пунктами зважування, які потребують зупинки транспорту, WIM-системи працюють в режимі безперервного моніторингу, що забезпечує оперативне виявлення порушників. Це дозволяє швидко реагувати на загрози для дорожньої інфраструктури та зменшує зношування дорожнього полотна, спричинене надмірним навантаженням.

Функціональні можливості систем WIM поділяються на кілька основних категорій. По-перше, це вимірювання технічних параметрів транспортного засобу. Система може ідентифікувати кожну вісь, визначити навантаження на кожну з них, обчислити загальну масу, і класифікувати транспортний засіб за міжнародною системою.

По-друге, системи WIM інтегруються з модулями розпізнавання номерних знаків (ANPR), що дозволяє автоматично ідентифікувати транспортний засіб і зберігати відповідні дані в базі. Завдяки цій функції, зібрана інформація може бути передана до центральної бази даних або державних реєстрів, де використовується для адміністративного провадження або подальшого аналізу[2].

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По-третє, ще однією важливою функцією є забезпечення статистичного обліку. Система може фіксувати потік транспортних засобів, формувати зведення щодо вагового навантаження на певних ділянках дороги, що є корисним для планування технічного обслуговування та реконструкції інфраструктури. Таким чином, система WIM служить не тільки для контролю, але й для оптимізації транспортних потоків і зниження витрат на утримання доріг [3] .

Крім того, сучасні WIM-системи оснащені механізмами самодіагностики та моніторингу стану, що дозволяє своєчасно виявляти несправності й попереджувати збої у роботі. Зокрема, вони можуть самостійно контролювати точність вимірювань, сигналізувати про потребу в калібруванні або сервісному обслуговуванні [2,3].

Також важливим аспектом є наявність зручного користувацького інтерфейсу для операторів системи. За допомогою спеціального програмного забезпечення оператор може переглядати поточні зважування, формувати звіти, переглядати архів даних та керувати функціональністю системи. У деяких випадках передбачена також інтеграція з мобільними додатками або віддаленими інтерфейсами керування.

Таким чином, основні функції систем динамічного вагового контролю полягають у забезпеченні безперервного, точного та оперативного збору і аналізу даних щодо навантаження транспортних засобів. Це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на дороги, покращити безпеку руху, автоматизувати процеси адміністративного контролю та сформувати єдину інформаційну систему для аналізу транспортних потоків. Крім того, впровадження таких систем сприяє підвищенню ефективності контролю за дотриманням вагових норм та забезпечує прозорість у взаємодії між перевізниками і контролюючими органами. Також ці системи створюють передумови для розвитку інтелектуальної транспортної інфраструктури та впровадження сучасних методів управління дорожнім рухом.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Огляд існуючих рішень

Системи динамічного вагового контролю (WIM – Weigh-In-Motion) на сьогодні представлені широким спектром рішень як вітчизняного, так і міжнародного виробництва. Ці системи відрізняються між собою рівнем технічної складності, точністю вимірювань, вартістю, умовами експлуатації та ступенем інтеграції з іншими ІТ-системами, зокрема – з державними базами даних та системами автоматизованого контролю [2].



Рисунок 1.1 – Приклад системи WIM [3]

Одним із найвідоміших глобальних виробників є компанія Kistler (Швейцарія), яка пропонує широкий спектр датчиків кварцового типу для динамічного зважування. Їх рішення відзначаються високою точністю та можливістю роботи за будь-яких погодних умов. Системи Kistler здатні фіксувати

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметри рухомого транспорту на швидкості до 120 км/год з похибкою, що не перевищує  $\pm 5\%$ . Їх застосовують у Німеччині, Швейцарії, США, Канаді.

Серед популярних європейських рішень можна виділити системи від компанії Intercomp (США), яка спеціалізується на високоточному обладнанні для дорожніх служб, портів та транспортної логістики. Рішення Intercomp дозволяють інтегрувати систему з локальними базами даних, забезпечуючи автоматичну ідентифікацію номерів транспортних засобів, прив'язку до геолокації та фіксацію часу проїзду.

В Україні основним гравцем у сфері реалізації WIM-систем є державне підприємство "Укравтодор", яке за участю приватних партнерів реалізує програму "Зважування в русі". Одним із найбільш застосовуваних технологічних рішень в межах цієї ініціативи є система від польської компанії TenTech, адаптована під українські умови. Ці системи містять бетоновані в дорожнє полотно сенсорні смуги та оптичні камери для фіксації номерних знаків [4, 5, 6].

Крім того, існують і експериментальні open-source рішення, які розробляються ентузіастами або університетами для тестування різних підходів до збору вагових даних. Такі системи використовують Arduino або Raspberry Pi для збору інформації з тензодатчиків і надсилають її через MQTT чи HTTP-протоколи до хмарної аналітичної платформи.

Цей огляд свідчить, що існуючі рішення, хоча й різняться за своїм функціоналом та складністю, загалом мають подібну мету – забезпечення ефективного та точного контролю маси автомобільного транспорту в русі з метою зменшення зносу дорожнього покриття та підвищення безпеки на дорогах. Незважаючи на відмінності в апаратному забезпеченні та рівні автоматизації, всі ці системи прагнуть досягти максимальної точності вимірювань навіть за складних умов експлуатації. Подальший розвиток таких рішень пов'язаний з інтеграцією

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алгоритмів машинного навчання та удосконаленням комунікаційних протоколів для підвищення швидкості обробки й надійності передачі даних.

#### 1.4 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

У сучасному транспортному середовищі контроль за масою вантажного транспорту є надзвичайно важливим завданням, з огляду на стрімке зростання інтенсивності вантажоперевезень, а також необхідність збереження інфраструктури, зменшення аварійності та дотримання норм екологічної безпеки. У зв'язку з цим впровадження ефективних систем динамічного вагового контролю (WIM – Weigh-In-Motion) стало актуальним напрямом розвитку інтелектуальних транспортних систем у багатьох країнах світу [4,7,8] .

На сьогоднішній день існує кілька основних технологічних підходів до реалізації WIM-систем, серед яких варто виділити:

- традиційні стаціонарні системи зважування;
- мобільні комплекси контролю;
- автоматизовані WIM-системи на основі сенсорних технологій;
- інтелектуальні системи з елементами ШІ та аналітики.

Стаціонарні комплекси зважування (Static Weigh Stations) [7] зазвичай встановлюються біля автомагістралей і потребують зупинки транспортного засобу для повноцінного контролю маси. Основною перевагою таких систем є висока точність вимірювання, яка забезпечується завдяки стабільним умовам зважування.

Проте їх основними недоліками є:

- необхідність зупинки транспортного потоку;
- значні витрати часу для обслуговування одного транспортного засобу;
- високі витрати на обслуговування і персонал;
- неможливість безперервного моніторингу.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мобільні системи контролю маси зазвичай використовуються підрозділами транспортної інспекції і мають перевагу в гнучкості розгортання. Проте їх недоліком є обмежена точність, залежність від людського фактору і обмежена продуктивність – не більше кількох десятків автомобілів за зміну [8] .

Системи динамічного зважування (WIM) дозволяють здійснювати зважування автомобілів у русі, без необхідності їх зупинки. Вони встановлюються безпосередньо в дорожнє полотно і забезпечують безперервний потік даних про масу, навантаження на осі та швидкість транспортних засобів. Основні переваги WIM-систем:

- відсутність необхідності зупинки транспорту;
- можливість контролю великої кількості автомобілів у режимі 24/7;
- зниження витрат на обслуговування у порівнянні зі стаціонарними пунктами;
- зменшення людського фактору;
- можливість автоматичної передачі інформації до центральної системи;
- інтеграція з базами даних та аналітичними системами.

Водночас існують і певні недоліки, зокрема:

- зниження точності за наявності високої швидкості або складних погодних умов;
- складність монтажу та високі вимоги до якості дорожнього полотна;
- потреба у високоточному калібруванні сенсорів;
- необхідність технічного супроводу для оновлення ПЗ та аналізу даних.

Сучасні WIM-системи дедалі частіше інтегруються з інтелектуальними транспортними системами, зокрема із системами автоматичної ідентифікації номерних знаків (ANPR), системами розпізнавання типу транспортного засобу, метеостанціями тощо. Інтеграція з AI-модулями дозволяє підвищити точність

аналітики, передбачати ризики перевантаження та здійснювати превентивний контроль [1,5].

Загалом, аналізуючи переваги і недоліки існуючих рішень, можна зробити висновок, що:

- стаціонарні системи мають високу точність, але низьку продуктивність;
- мобільні рішення – універсальні, але не масштабовані;
- WIM-системи – оптимальний вибір для безперервного моніторингу на магістралях;
- системи з елементами ШІ – мають найвищий потенціал розвитку та ефективності.

Kistler WIM Systems - швейцарський лідер у сфері динамічного вагового контролю з високою точністю вимірювань. Використовуються кварцові сенсори, вбудовані в дорожнє покриття. Система сертифікована за OIML [4].

IRD (International Road Dynamics) - канадська компанія, що пропонує WIM для різних швидкостей руху з можливістю інтеграції в інфраструктуру доріг.

Q-Free - норвезьке рішення з аналітичними модулями та підтримкою AI.

CAMEA - чеська система, інтегрує ваговий контроль, ANPR та OCR. Активно використовується у Східній Європі.

Українські WIM-системи - базуються на інтеграції CAMEA та IRD із місцевою інфраструктурою [1,9,10].

Таблиця 1.4 – Порівняння існуючих систем.

Система	Точність	Вартість	Легкість обслуговування	Інтеграція з ITS	Відповідність стандартам
Kistler	Висока	Дуже висока	Складна	Висока	Європейські стандарти
IRD	Висока	Висока	Середня	Висока	OIML
Q-Free	Висока	Висока	Середня	Висока	Європейські стандарти

Кінець таблиці 1.4

САМЕА	Середня	Помірна	Доступна	Середня	Часткова відповідність
Українські WIM	Змінна	Висока	Проблемна	Обмежена	Частково відповідає

Таким чином, вибір системи залежить від конкретних цілей впровадження, наявної інфраструктури, бюджету та технічних можливостей. Ідеальним рішенням на сьогодні вважається впровадження гібридної системи, яка поєднує можливості WIM та AI-технологій, що забезпечує баланс між точністю, швидкістю, ефективністю та масштабованістю контролю.

### 1.5 Постановка задачі

На підставі аналізу предметної області, функціонального призначення систем динамічного вагового контролю (WIM), огляду сучасних технологічних рішень і порівняльного аналізу їхніх переваг та недоліків сформовано чітке уявлення про ключові вимоги до ефективної системи вагового контролю в русі. Ураховуючи актуальні проблеми перевантаження доріг великовантажним транспортом, а також загрозу передчасного зношення дорожнього полотна, розробка сучасного, точного та інтегрованого рішення є не лише технічним завданням, а й відповіддю на соціально-економічні виклики [11, 13].

Сьогоднішні WIM-системи часто мають низький рівень автоматизації, складнощі з інтеграцією в державні інформаційні системи та обмежену точність вимірювання. Крім того, існує потреба у покращенні аналітичних функцій, автоматичній візуалізації, а також у створенні підсистеми моніторингу стану вузлів для запобігання збоїв у роботі. В умовах цифрової трансформації гостро постає необхідність у створенні розумної, адаптивної WIM-системи, яка не лише вимірює, а й аналізує та передає дані у режимі реального часу.

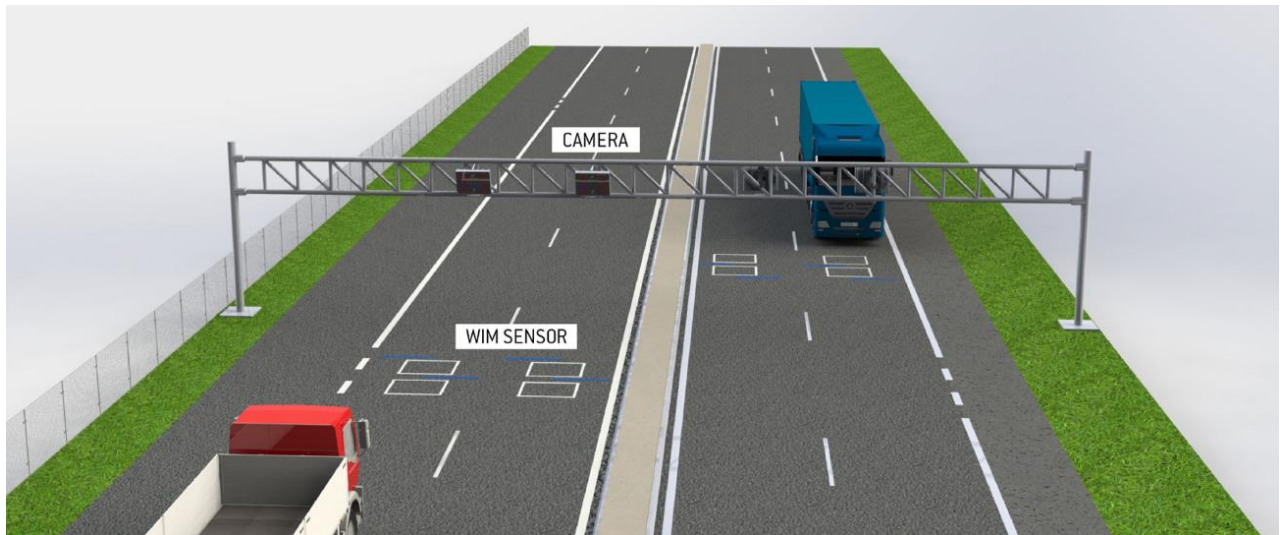


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд розташування сенсорів WIM [33]

Метою є створення сучасної, ефективної та масштабованої системи динамічного вагового контролю, яка буде здатна автоматизовано зчитувати вагові параметри, обробляти інформацію, візуалізувати результати та передавати їх до відповідних державних органів. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити ряд задач.

Насамперед, потрібно розробити загальну архітектуру системи, визначити її ключові компоненти, а також логіку взаємодії між апаратною частиною, програмним забезпеченням, базою даних, інтерфейсом користувача і зовнішніми API. Слід обґрунтувати вибір апаратного забезпечення – сенсорів, контролерів, камер, комунікаційних модулів, здатних працювати в умовах інтенсивного руху [12, 13].

Далі важливо реалізувати програмне забезпечення, що забезпечить обробку сигналів від сенсорів, збереження інформації у базі даних, аналітичну обробку, а також формування звітів. Необхідною є розробка інтерфейсу, який надасть користувачеві можливість швидко переглядати результати зважування, статус системи, повідомлення про збої.

Особливу увагу слід приділити розробці АРІ для взаємодії з державними системами, такими як Укртрансбезпека, МВС, «Шлях» тощо. Ще однією важливою складовою є реалізація підсистеми самодіагностики та моніторингу справності елементів WIM, що дозволить підвищити надійність і безперервність функціонування системи.

У фінальному етапі необхідно провести тестування всієї системи – як окремих модулів, так і комплексно, щоб перевірити точність вимірювань, надійність зберігання та передачі даних, швидкість обробки запитів і стійкість до зовнішніх впливів.

У результаті очікується побудова сучасної WIM-системи, яка буде адаптивною, інтегрованою в цифрову інфраструктуру держави, здатною точно та безперервно фіксувати порушення вагових норм без зупинки руху транспортних засобів. Така система не лише оптимізує логістику дорожнього контролю, а й сприятиме зменшенню навантаження на дорожню інфраструктуру та підвищенню безпеки руху [12].

## 1.6 Висновки

У ході дослідження предметної області систем динамічного вагового контролю автомобільного транспорту було з'ясовано, що ці системи відіграють важливу роль у забезпеченні збереження дорожнього покриття, контролі за дотриманням вагових норм та підвищенні ефективності роботи транспортної інфраструктури. Їх застосування дозволяє знизити витрати на ремонт доріг, покращити безпеку дорожнього руху та забезпечити справедливий систему оподаткування в сфері вантажоперевезень.

Системи динамічного зважування мають високу технологічну складову, включають спеціалізовані датчики, мікроконтролери, засоби обробки та передачі

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних, аналітичне програмне забезпечення, а також елементи візуалізації результатів. Вони повинні бути здатними працювати в режимі реального часу, з високим рівнем точності, надійності та адаптивності до змін навколишнього середовища. Водночас постає низка викликів – від високої вартості впровадження до складності підтримки та інтеграції з існуючими ІТ-інфраструктурами.

Огляд наявних технічних і програмних рішень показав, що сучасні системи мають широке розмаїття характеристик, підходів до реалізації, архітектурних рішень і можливостей масштабування. Проте жодна з них не є універсальною, що створює потребу в розробці спеціалізованих, адаптованих до конкретних умов та вимог систем. Найперспективнішим підходом є створення модульної, відкритої, інтегрованої системи, яка забезпечує точність вимірювань, гнучкість у розширенні функціоналу та сумісність із зовнішніми інформаційними системами.

На основі проведеного аналізу було сформульовано мету та завдання дипломної роботи, які передбачають проєктування і реалізацію програмно-апаратної системи динамічного вагового контролю нового покоління. Вона має відповідати сучасним вимогам до точності, автоматизації процесів, інтеграції з державними службами, масштабованості та зручності в обслуговуванні. Цей висновок слугує основою для подальшої розробки архітектури системи, вибору технічних засобів, програмного забезпечення і методів реалізації.

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ВИБІР АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ВАГОВОГО КОНТРОЛЮ

### 2.1 Опис структури системи

Створення ефективної та надійної системи динамічного вагового контролю автомобільного транспорту (WIM – Weigh-in-Motion) потребує чіткого визначення її архітектурної побудови. Система WIM є складним багатокомпонентним комплексом, який поєднує апаратні засоби збору інформації, програмне забезпечення для обробки та візуалізації даних, а також модулі комунікації з іншими інформаційними системами, зокрема державними реєстрами [6,7].



Рисунок 2.1 – Розташування сенсорів WIM [4]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Типова структура системи динамічного зважування включає наступні основні компоненти:

– датчики вагового контролю: встановлюються безпосередньо в дорожнє полотно та забезпечують збір даних про масу, швидкість, розміри та розташування осей транспортного засобу. Вони є основним елементом, що здійснює первинний вимір.

– датчики контролю параметрів руху: включають індукційні петлі або лазерні/інфрачервоні сенсори для виявлення моменту в'їзду та виїзду транспортного засобу з зони вимірювання. Також можуть включати камери для фіксації номерних знаків (ANPR).

– контролер або центральний обчислювальний блок: обробляє інформацію, отриману з датчиків, виконує розрахунки, фільтрацію даних, корекцію похибок і зберігає результати в локальній базі даних.

– серверна частина: програмне забезпечення, яке забезпечує зберігання, обробку, статистичний аналіз і передачу даних у центральні системи обліку, аналітики та контролю. Включає базу даних, аналітичні модулі, сервери API.

– клієнтська частина / інтерфейс користувача: реалізується як веб-додаток або десктопний інтерфейс, забезпечує взаємодію з системою в режимі реального часу, перегляд звітів, керування користувачами.

– система живлення та резервного енергопостачання: забезпечує стабільну роботу обладнання, у тому числі у випадку перебоїв з енергопостачанням.

– мережеві комунікаційні засоби: забезпечують зв'язок між польовим обладнанням, серверною частиною та зовнішніми системами (через GSM/3G/4G, Ethernet, VPN тощо).

Оптимально структурована система дозволяє досягнути високої точності вимірювань, мінімізувати втрати даних, забезпечити масштабованість і можливість

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтеграції з іншими інформаційними рішеннями, включно з державними службами (Укравтодор, МВС, ДПС) [3, 15].

## 2.2 Вибір апаратного забезпечення

У процесі створення високоточних систем динамічного вагового контролю особливу увагу слід приділити вибору апаратного забезпечення. Саме апаратна частина є фізичною основою усієї системи, від якої залежить точність вимірювань, стабільність роботи, надійність фіксації подій та загальна ефективність контролю. Неправильно підібрані або неякісні апаратні компоненти можуть не лише викривити результати зважування, а й унеможливити юридичне використання даних, що є критичним для державного контролю та безпеки дорожньої інфраструктури [10].

Система WIM включає широкий набір взаємопов'язаних пристроїв, серед яких ключове місце займають сенсори навантаження, контролери, засоби зв'язку, джерела живлення, ідентифікаційні модулі, камери відеофіксації та інші допоміжні компоненти. Вибір кожного з них повинен ґрунтуватися на цілісному підході: аналізу потреб, дорожніх умов, кліматичних факторів, правових вимог та досвіду експлуатації подібних систем в інших країнах [16,18].

Вимірювальні сенсори, що фіксують навантаження на осі транспортного засобу, є серцем системи. Від їхньої точності залежить можливість фіксувати порушення вагових обмежень. Існує кілька типів сенсорів, кожен із яких має свої переваги та недоліки [17].

Тензометричні сенсори. Цей тип сенсорів традиційно застосовується в системах, де необхідна висока точність вимірювання. Принцип їх дії заснований на зміні електричного опору при деформації. Тензометричні сенсори можна точно калібрувати, що забезпечує доволі надійні результати. Вони витримують складні

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умови експлуатації: вібрації, вологу, перепади температур, а тому можуть бути ефективними на автомагістралях з інтенсивним рухом. Проте такі сенсори мають і певні недоліки: вони потребують періодичного технічного обслуговування, а їх чутливість до температурних коливань може впливати на точність при відсутності ретельної термокомпенсації. Крім того, тензодатчики мають обмежений ресурс і схильні до деградації при тривалому використанні [23,24].



Рисунок 2.2 – Тензометричний датчик [10]

П'єзоелектричні сенсори. Це найбільш економічний тип сенсорів, який використовують у бюджетних або попередньо селекційних WIM-системах (Pre-Selection). Вони працюють на основі ефекту п'єзоелектрики: генерації електричного заряду при механічному стисканні спеціального матеріалу. Ці сенсори зручні у монтажі та мають порівняно низьку вартість, однак поступаються точністю і стабільністю іншим типам. Їх доречно застосовувати там, де немає потреби у високоточній фіксації даних або юридично значимих показників – наприклад, для фільтрації транспортного потоку перед з'їздом на стаціонарну контрольну ділянку. Через свою конструкцію вони мають відносно короткий термін служби та чутливі до змін зовнішніх умов, особливо вологості та температури [16,18].

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кварцові сенсори – оптимальне рішення [3]. Найбільш технічно досконалим і довговічним варіантом є кварцові сенсори, серед яких особливе місце займає продукція швейцарської компанії Kistler, зокрема модель Lineas Type 9195G. Ці сенсори працюють на основі п'єзоелектричних властивостей кварцу, природного матеріалу, відомого своєю стабільністю і термостійкістю. Основна перевага кварцових сенсорів – надзвичайно висока стабільність вимірювань у довготривалій перспективі без потреби у повторному калібруванні чи сервісному втручанні. Сенсори Kistler не втрачають точності впродовж більше ніж 10 років експлуатації, навіть в умовах інтенсивного руху важких вантажівок. Вони чудово витримують високі осьові навантаження, перепади температур, дощ, сніг, пил та сіль, зберігаючи точність на рівні  $\pm 1-2\%$ . Захист класу IP68 гарантує повну герметичність та працездатність навіть при затопленні. Важливо зазначити, що сенсори Lineas 9195G мають сертифікацію OIML R134, яка дозволяє використовувати результати зважування для автоматичної фіксації порушень без участі оператора. Крім того, технологія strip-монтажу дозволяє легко інтегрувати їх у дорожнє полотно без масштабних ремонтних робіт, а цифрові варіанти забезпечують кращу якість сигналу та зменшення впливу шумів [3,4,30].



Рисунок 2.3 – Кварцовий сенсор Kistler 9195GC31 [5]

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З огляду на вимоги до стабільності, точності, довговічності та юридичної значимості даних, саме кварцові сенсори Kistler Lineas 9195G є найкращим вибором для нашої системи. Вони дозволяють будувати інфраструктуру, яка не потребуватиме частого обслуговування, забезпечить високу якість даних, відповідність міжнародним стандартам і надійність протягом усього терміну служби системи [22].

Камери фіксації номерних знаків також відіграють важливу роль у процесі ідентифікації транспортного засобу. Найчастіше використовуються системи (Automatic Number Plate Recognition), які мають такі вимоги:

- роздільна здатність від 2 до 5 Мп і вище;
- підтримка ІЧ-підсвітки;
- робота при поганому освітленні та в нічний час;
- пило- та вологозахищене виконання (IP66/67).

Системи ANPR повинні інтегруватися із центральною базою даних, де відбувається перевірка відповідності транспортного засобу дозволеним масі, категорії, тощо.

Для системи динамічного зважування ідеально підходить камера Hikvision iDS-TCM403, оскільки забезпечує точне розпізнавання номерних знаків при русі транспорту на швидкості до 120 км/год. Вона має вбудовану ANPR-аналітику, працює в будь-яких погодних умовах і підтримує інтеграцію через API, що дозволяє напряму передавати дані до контролера чи сервера системи. Завдяки високій якості зображення та нічному підсвічуванню камера стабільно працює як вдень, так і вночі, забезпечуючи безперервний контроль транспортного потоку.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Камера Hikvision iDS-TCM403 [12]

Окрім розпізнавання номерів, необхідною є фотофіксація самого транспортного засобу: його габаритів, конфігурації, наявності причепів, навісного обладнання, номерів контейнерів тощо. Це дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань та дає змогу здійснювати візуальну перевірку інспектором [22,23].

У системах динамічного зважування точне вимірювання швидкості транспортного засобу та міжосьової відстані є критично важливим елементом, без якого неможливо здійснити правильний розрахунок осьових навантажень. У реальних умовах транспорт може рухатися нерівномірно, змінювати швидкість, мати різну кількість осей, включно з підйомними. Якщо система неправильно визначить момент наїзду осі або сплутає відстань між ними – дані з вагових сенсорів втрачають достовірність.

Саме тому модулі фіксації швидкості та довжини ТЗ мають бути високоточними, надійними та синхронізованими з іншими елементами системи. Для цієї задачі використовуються три основні підходи:

- індуктивні петлі детектують зміну індуктивності, коли металевий об'єкт (автомобіль) проходить над провідником, вбудованим у дорожнє покриття;
- лазерні датчики посилають лазерні імпульси, фіксують час відображення від поверхні автомобіля; дозволяють побудову 2D/3D профілю;

– оптичні або радарні модулі використовують інфрачервоне або радіохвильове сканування [23,24,25].

Таблиця 2.1 – Порівняння сенсорів.

Тип сенсора	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Індуктивні петлі	Низька вартість; перевірена технологія; добре фіксує вхід/вихід	Не визначає точну геометрію; чутлива до ушкоджень асфальту	Допоміжне використання для фіксації моментів входу/виходу ТЗ
Лазерні датчики	Висока точність; профіль осей; виявлення підйомних осей	Висока вартість; потребують очищення; погіршення роботи в туман	Основний інструмент для точного розпізнавання структури ТЗ
Оптичні / радарні модулі	Стійкість до погодних умов; робота без контакту з покриттям	Менша точність; можливі завади	Резервне або додаткове джерело вимірювання швидкості

Для досягнення високої точності вимірювання швидкості та міжосьової відстані, а також надійності в різних умовах експлуатації, найкращим рішенням є використання лазерних датчиків (LIDAR) у поєднанні з індуктивними петлями як резервним каналом виявлення. Така конфігурація дозволяє:

- виявляти точну кількість осей;
- правильно співставляти сигнали вагових сенсорів до кожної осі;
- забезпечити дублювання сигналів у разі збоїв одного з каналів.

Обчислювальні пристрої та контролери у WIM-системі (розширений опис)

Обчислювальні пристрої, зокрема контролери, відіграють ключову роль у системах динамічного вагового контролю. Вони є центральним вузлом, який

відповідає за збір сигналів від усіх сенсорів, їх попередню обробку, синхронізацію та передачу обчислених даних до серверної частини або безпосередньо до державних систем. Надійність роботи всієї WIM-інфраструктури залежить від правильного вибору цього елемента, тому він повинен відповідати ряду критично важливих вимог [26,28].

Контролери повинні мати підтримку широкого спектра промислових інтерфейсів зв'язку. Це забезпечує сумісність з усіма підключеними модулями: сенсорами, лазерними сканерами, камерами, датчиками температури, індуктивними петлями. Зокрема, інтерфейс RS485 використовується для обміну з низькошвидкісними аналоговими модулями; CAN – для високошвидкісного обміну даними між пристроями, які працюють за CANopen протоколом; Ethernet необхідний для інтеграції в IT-інфраструктуру, хмарні сервіси або REST API [13,21].

Крім комунікаційних можливостей, контролер повинен витримувати вплив несприятливих умов експлуатації. Це включає пил, вологу, перепади температур, сніг, стрибки напруги та вібрації від проїжджаючих вантажівок. Тому корпус пристрою має бути виконаний у захисті не нижче IP65, що гарантує герметичність та стійкість до агресивного середовища. Окрім цього, контролер повинен стабільно працювати в температурному діапазоні від -30 до +60°C, що є типовим для українських кліматичних умов. Наявність пасивного або активного охолодження буде додатковим плюсом, оскільки обробка великої кількості потоків даних може створювати теплове навантаження [18,27].

Ще однією важливою вимогою є підтримка систем реального часу (RTOS або аналоги), що дозволяє обробляти сигнали сенсорів у точно визначених часових рамках. Це забезпечує синхронність між подіями, точне визначення моменту наїзду осі на сенсор та забезпечення узгодженості між ваговими, швидкісними та візуальними даними. Контролер має виконувати декілька паралельних задач

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одночасно – наприклад, обробляти сигнали з вагових сенсорів, визначати час в'їзду/виїзду ТЗ, записувати дані до пам'яті, синхронізуватись із базою даних і надавати інформацію зовнішнім API. Такий рівень багатозадачності можливий лише при підтримці реального часу.

Важливою характеристикою також є можливість дистанційного керування – оновлення прошивки, зміна конфігурації, моніторинг стану системи та перегляд журналів подій мають бути доступними через захищені інтерфейси. Це дозволяє адміністратору оперативно реагувати на зміни в роботі комплексу або проводити профілактику без виїзду на об'єкт. Інтеграція із зовнішніми сервісами повинна бути реалізована через стандартні протоколи, такі як Modbus TCP, MQTT, HTTPS або навіть WebSocket, залежно від призначення системи [19,21,31].

Контролер також повинен мати відповідну кількість виводів та портів – як аналогових, так і цифрових – для підключення додаткових систем, зокрема, оптичних бар'єрів, індикаторів, камер, сигнальних ламп або мережевого устаткування. Сумісність з сенсорами Kistler, лазерними LIDAR, системами автоматичного розпізнавання номерних знаків та базами даних – обов'язкова умова при створенні повноцінного рішення.

Рекомендується застосовувати контролери, які вже показали себе на ринку WIM. До них належать Advantech UNO-247, який має IP69 корпус і вбудований LTE-модуль; Siemens S7-1500, що є еталонним контролером для SCADA-систем; ICP DAS WISE-5231 з підтримкою IoT-функцій, простим налаштуванням і можливістю роботи у віддаленому режимі. Найбільш спеціалізованим рішенням для WIM є Kistler WIM Data Logger Type 5204A, який забезпечує точну синхронізацію з кварцовими сенсорами, має буферну пам'ять та захист від втрати даних [26,29].

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 – Контролер Kistler WIM Data Logger Type 5204A [15]

Живлення WIM-системи повинно бути безперервним. Для цього використовуються:

- джерела безперебійного живлення (UPS);
- сонячні панелі або вітрогенератори в автономних системах;
- захист від перенапруги, блискавкозахист, резервування ліній живлення.

Комунікаційне обладнання. Передача даних до центрального сервера або хмарного середовища виконується через:

- LTE/4G модеми з VPN та IP-фільтрацією;
- промислові Ethernet-світчі;
- Wi-Fi або LoRa для автономних точок збору.

Захисні корпуси та опори. Усі елементи системи повинні бути надійно захищені. Для цього застосовуються:

- металеві герметичні шафи для встановлення електроніки;
- антивандальні корпуси для камер;
- опори з оцинкованої сталі для монтажу камер та сенсорів.

Тестове та сервісне обладнання. У процесі введення системи в експлуатацію та подальшого обслуговування важливо мати:

- калібрувальні набори (мобільні ваги);
- тестові навантажувачі;
- сервісні термінали або ноутбуки з попередньо встановленим ПЗ [30].

Апаратне забезпечення є критичним компонентом WIM-системи. Його вибір має здійснюватися з урахуванням міжнародних стандартів, умов експлуатації, інтеграційної сумісності та довговічності. Успішне впровадження системи можливе лише за умови використання високоякісних, сертифікованих компонентів із підтримкою виробника, захистом від зовнішніх впливів і можливістю модернізації.

### 2.3 Вибір програмного забезпечення

У системі динамічного вагового контролю (WIM) програмне забезпечення є критично важливою складовою, оскільки саме воно забезпечує збір, обробку, зберігання та візуалізацію даних, що надходять від численних апаратних компонентів. Крім того, ПЗ відповідає за синхронізацію роботи між сенсорами, контролерами, базою даних та зовнішніми інтерфейсами, зокрема для передачі інформації до державних структур або хмарних платформ [27].

У якості основи для розробки програмного забезпечення доцільно обрати платформу Linux (наприклад, Debian), яка відзначається стабільністю, безпекою та широкою підтримкою апаратного забезпечення. Для побудови серверної логіки найкраще підходить мова програмування Python завдяки великій кількості бібліотек, простоті синтаксису та активній спільноті. Зокрема, фреймворк FastAPI дозволяє створити REST API з мінімальними зусиллями і високою продуктивністю. Він ідеально підходить для організації обміну даними між модуля [27,31].

Для збереження даних обґрунтовано обрати PostgreSQL[14] – потужну реляційну базу даних, яка має підтримку транзакцій, масштабованість і ефективно

справляється з аналітичними запитами. З огляду на потребу у чергах повідомлень між окремими частинами системи (наприклад, між обробкою даних з сенсорів і формуванням звітів), варто застосувати RabbitMQ – легкий брокер повідомлень, що підтримує різні протоколи і дозволяє реалізувати асинхронну архітектуру.

Для зручної візуалізації даних можемо інтегрувати бібліотеку Plotly або створити вебінтерфейс за допомогою React або простіших інструментів (наприклад, Dash). Це дозволить демонструвати результати зважування, фіксувати порушення вагових норм, переглядати аналітику щодо руху транспорту тощо.

Доцільно також додати модулі журналювання (logging), створити REST API документацію через Swagger UI (вбудовано в FastAPI) та реалізувати базовий контроль доступу (через JWT або API-ключі) [6,13].

Таким чином, ідеальне програмне забезпечення для системи динамічного вагового контролю має базуватись на наступних компонентах:

- Debian або Ubuntu Server як ОС;
- Python (зокрема FastAPI для створення серверної логіки);
- PostgreSQL як основна база даних;
- RabbitMQ для обміну повідомленнями між модулями;
- Swagger UI для автоматичної документації API;
- Dash або Plotly для візуалізації.

Це поєднання забезпечує високу гнучкість, простоту розгортання, ефективність та відповідність сучасним вимогам до архітектури розподілених систем. Воно дозволяє реалізувати повноцінну функціональність та легко масштабувати розробку у майбутньому. Крім того, така архітектура сприяє зниженню витрат на підтримку та модернізацію системи, а також забезпечує сумісність із зовнішніми сервісами та державними інформаційними платформами. Це відкриває можливості для подальшої інтеграції з національними системами моніторингу трафіку, контролю перевантажень і цифрової логістики. [14,28].

## 2.4 Вибір протоколу передачі даних

У системах динамічного вагового контролю (WIM) вибір протоколу передачі даних є одним із ключових рішень, що визначає ефективність, надійність та масштабованість всієї системи. Дані, які надходять від сенсорів, контролерів, модулів реєстрації номерних знаків, камер, лазерних сканерів та інших пристроїв, повинні передаватись з мінімальними затримками, без втрат та з можливістю контролю достовірності.

Передача даних у WIM-системі здійснюється як всередині локальної мережі комплексу (від сенсорів до контролера), так і назовні – до центрального сервера, бази даних, або державних систем через API. Тому необхідно розглядати як низькорівневі промислові протоколи, так і мережеві протоколи прикладного рівня.

Обраний протокол передачі даних повинен відповідати ряду вимог:

- забезпечення високої швидкості обміну;
- стійкість до втрати пакетів та можливість відновлення з'єднання;
- підтримка передачі бінарних даних (відео, фото);
- наявність механізмів шифрування та автентифікації;
- простота реалізації з використанням доступних бібліотек;
- можливість роботи як у синхронному, так і в асинхронному режимах;
- гнучкість при інтеграції з державними чи корпоративними системами.

У залежності від рівня взаємодії розглядаються кілька категорій протоколів: апаратні (RS-485, CAN), транспортні (TCP/UDP), протоколи обміну повідомленнями (MQTT, AMQP), а також прикладні (HTTP/REST, gRPC) [12,21].

Промислові протоколи: RS-485, CAN, Modbus

На рівні безпосереднього обміну між сенсорами і контролером актуальними залишаються класичні промислові протоколи. RS-485 використовується як

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фізичний рівень передачі в протоколах Modbus RTU або ASCII. Це перевірене, просте і недороге рішення, що дозволяє створювати шину до 32 пристроїв на відстані до 1200 м.

CAN-шина – сучасніший протокол, розроблений для автомобільної галузі, але активно використовується і в промисловості. Його перевагою є апаратний контроль пріоритетів, висока швидкість обміну, а також відсутність необхідності в додатковому обладнанні для маркування кадрів. У випадку використання сенсорів, що підтримують CANopen, контролер може працювати без додаткових парсерів або шлюзів.

Modbus – один із найпоширеніших протоколів обміну даними у промисловості. Його просто реалізувати, він добре документований, але має обмеження щодо складності структур даних. Використовується як у послідовному (Modbus RTU), так і в TCP варіанті (Modbus TCP).

Для взаємодії між сенсорами, контролером і локальною базою даних – поєднання CAN і Modbus RTU через RS-485 є оптимальним варіантом. Це дозволяє надійно передавати дані про навантаження, швидкість, температурні показники в режимі реального часу [16,33].

Протоколи транспортного рівня: TCP та UDP

При передачі даних на вищі рівні системи (сервер, аналітичний модуль, зовнішні сервіси) активно використовуються мережеві протоколи TCP та UDP. TCP (Transmission Control Protocol) забезпечує гарантовану доставку даних, контроль цілісності та правильного порядку. Його застосування доцільне при передачі вагових даних, логів, реєстраційних номерів тощо.

UDP (User Datagram Protocol) працює швидше, але не гарантує доставку. Його можна використовувати лише для непостійного потоку даних або в резервних рішеннях, наприклад, у потоковій передачі відео або радарних знімків, де втрати окремих кадрів не критичні.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, оптимально використовувати TCP як основний транспортний протокол для критичних повідомлень, таких як зважування, події в системі, і UDP для другорядних або візуалізаційних даних.

MQTT та AMQP – протоколи обміну повідомленнями [12,21,35].

У сучасних розподілених системах широко використовуються брокери повідомлень. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – це легковаговий протокол, оптимізований для нестабільних мереж. Він підходить для віддалених комплексів WIM, особливо у випадку використання GSM/4G модемів.

AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) – складніший протокол, який застосовується у великих розподілених системах. Його підтримує RabbitMQ, один із найпоширеніших брокерів. AMQP дозволяє гарантувати доставку повідомлення, реалізовувати черги з пріоритетами та обробляти події у асинхронному режимі.

RabbitMQ у поєднанні з MQTT або AMQP дозволяє реалізувати гнучку архітектуру, де кожен модуль (сенсори, контролер, візуалізація) працює автономно, а обмін інформацією здійснюється через черги.

HTTP/REST та gRPC як прикладні протоколи

REST API – один із найпоширеніших варіантів передачі даних у сучасних системах. HTTP-запити дозволяють легко взаємодіяти з веб-інтерфейсами, серверами, державними базами. Всі ключові обміни – наприклад, запити на отримання журналів, оновлення даних, збереження нових подій – можуть бути реалізовані через REST API [12,13,24].

gRPC – сучасна альтернатива REST, що базується на протоколі HTTP/2. Вона дозволяє виконувати бінарні виклики процедур (RPC) з дуже низькою затримкою, що особливо важливо для інтеграції реального часу або взаємодії з іншими мікросервісами. gRPC зручний для внутрішньої комунікації модулів на одному сервері або в кластері.

У контексті WIM оптимально використовувати REST API для взаємодії з веб-додатками, адміністративною панеллю та державними системами, а gRPC – для обміну між внутрішніми модулями [11,23,36].

Ідеальне рішення для передачі даних у WIM-системі повинно включати кілька рівнів протоколів, адаптованих до різних завдань. На нижньому рівні – CAN та RS-485 з Modbus RTU для сенсорної взаємодії. Для транспортного рівня – TCP для критичних повідомлень, UDP для допоміжного відео. На рівні обміну повідомленнями – MQTT або AMQP через RabbitMQ. Для прикладного рівня – REST API для веб-взаємодії та gRPC для мікросервісної логіки.

Це поєднання дозволяє досягти високої надійності, масштабованості та відповідності сучасним стандартам побудови автоматизованих систем контролю.

## 2.5 Вибір середовища програмування

Вибір середовища програмування для реалізації системи динамічного вагового контролю (WIM) є ключовим аспектом, що визначає ефективність розробки, масштабованість, підтримку, а також довгострокову життєздатність програмного продукту. Середовище програмування об'єднує мову програмування, інструменти розробника, засоби налагодження, системи контролю версій, модулі розгортання та інтеграції [1,16].

Першочергово необхідно визначити, які завдання повинна вирішувати програмна частина WIM-системи: це обробка даних із сенсорів, логування подій, збереження у базу даних, передача даних по мережі, реалізація API, створення інтерфейсу користувача та обслуговування з'єднань з зовнішніми системами. Усі ці завдання потребують багатокомпонентного середовища програмування.

Ідеальним вибором у такому випадку є мова програмування Python. Вона поєднує простоту синтаксису, велике ком'юніті, доступність бібліотек та

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримку усіх необхідних функцій – від роботи з базами даних до обробки потоків даних. В екосистемі Python наявні бібліотеки для кожного етапу реалізації WIM-системи: `psycopg2` для роботи з PostgreSQL, `paho-mqtt` для MQTT, `fastapi` для створення REST API, `uvicorn` як ASGI-сервер, `pandas` та `numpy` для аналітики, `plotly` для графічного виводу інформації [10,30,35].

Python підтримується в усіх основних середовищах розробки. Найбільш придатним середовищем буде Visual Studio Code – безкоштовний, кросплатформенний редактор з підтримкою багатьох розширень. VS Code забезпечує зручну інтеграцію з Git, налагодження, підсвічування синтаксису, автодоповнення, термінал всередині редактора та можливість запуску серверів просто з інтерфейсу IDE.

Для роботи з базою даних доцільно використовувати DBeaver або pgAdmin. Це графічні інтерфейси, які дозволяють безпосередньо взаємодіяти з PostgreSQL, переглядати таблиці, будувати запити, контролювати транзакції та слідкувати за навантаженням.

Система контролю версій є обов'язковим компонентом професійного середовища розробки. Git у поєднанні з GitHub або GitLab дозволяє зберігати зміни, відновлювати старі версії, працювати над кількома гілками коду та організувати командну роботу, навіть якщо проєкт індивідуальний.

Також важливо враховувати середовище розгортання. Для системи WIM це може бути або локальний сервер на базі Linux (наприклад, Debian), або віртуальна машина у хмарі, або вбудований контролер на базі ARM-процесора. Python працює на всіх цих платформах без необхідності глибокої адаптації [28,36].

Окремо варто згадати про тестування. Python має численні фреймворки для автоматичних тестів: `pytest`, `unittest`, `coverage` – які дозволяють перевірити працездатність кожного модуля, підвищуючи якість та надійність системи.

Для збору та зберігання логів використовується вбудований модуль `logging`, який дозволяє розділяти події за рівнями важливості, записувати повідомлення у файл або базу даних, виводити в консоль або відправляти через мережу. Це дозволяє фіксувати події в системі зважування, помилки, підозрілі дії тощо.

Процес розгортання проєкту може бути автоматизований за допомогою `Docker` – системи контейнеризації, яка дозволяє зібрати всі компоненти (база даних, бекенд, брокер повідомлень) у єдиний ізольований простір, що легко переноситься та масштабується [19,25].

Якщо передбачено використання мікросервісної архітектури, можна застосовувати `Docker Compose` або `Kubernetes` для управління багатьма контейнерами. Буде доцільно зупинитися на `Docker` як на простішому та достатньо функціональному рішенні.

Інтеграцію API доцільно проводити через `FastAPI`, яка автоматично формує документацію Swagger UI, дозволяє виконувати запити до серверу прямо з браузера, перевіряти вхідні параметри та реалізовувати обробку POST, GET, DELETE, PUT запитів із мінімальними зусиллями [13,19,36].

У підсумку, рекомендоване середовище програмування для розробки WIM-системи:

- мова: Python 3.12 або новіше;
- IDE: Visual Studio Code (або PyCharm Community Edition);
- контроль версій: Git + GitHub;
- розгортання: Docker;
- API: FastAPI + Uvicorn;
- тестування: pytest, coverage;
- логування: logging;
- бази даних: PostgreSQL + DBeaver;
- брокер: RabbitMQ (через Docker).

Цей набір дозволяє ефективно реалізувати повноцінну систему, яка охоплює всі необхідні етапи – від зчитування даних до інтеграції з державними сервісами, при цьому залишаючись максимально доступною [11,13,27,28].

## 2.6 Висновки

У другому розділі було здійснено комплексний аналіз технічних засобів та програмного забезпечення, необхідних для побудови сучасної, надійної та масштабованої системи динамічного вагового контролю. З огляду на специфіку задачі, було сформовано оптимальний набір апаратних і програмних компонентів, що забезпечують точність вимірювання, безперебійну роботу в складних умовах, а також зручну інтеграцію з аналітичними та інформаційними системами.

На основі порівняльного аналізу обрано кварцові сенсори типу Kistler Lineas 9195G, які відзначаються високою точністю, стабільністю вимірювань і тривалим терміном експлуатації без потреби в технічному обслуговуванні. Для фіксації швидкості та визначення міжосьових інтервалів рекомендовано використовувати лазерні LIDAR-модулі, які мають переваги у точності, варіативності монтажу та можливості працювати незалежно від погодних умов.

Як обчислювальні пристрої обрано промислові контролери з підтримкою широкого спектра інтерфейсів зв'язку (RS-485, CAN, Ethernet), захистом від пилу й вологи (IP65 і вище) та можливістю роботи в екстремальних температурних режимах. Це гарантує стабільну роботу комплексу незалежно від зовнішніх впливів [12].

Програмне забезпечення будується на сучасному стеку технологій, який включає мову програмування Python, фреймворк FastAPI для побудови REST API, PostgreSQL як основну СУБД, а також RabbitMQ як брокер повідомлень. Для візуалізації результатів використовуються Dash або Plotly. Контейнеризація

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізована через Docker, що дозволяє забезпечити портативність і легке розгортання системи на різних платформах.

Таким чином, сформовано технічно обґрунтовану та ефективну конфігурацію апаратно-програмних засобів, яка дозволяє реалізувати повноцінну WIM-систему з високою точністю вимірювань, стабільною роботою в реальних дорожніх умовах і можливістю інтеграції в існуючу інфраструктуру контролю транспортного потоку.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ВАГОВОГО КОНТРОЛЮ

#### 3.1 Розроблення архітектури системи

Архітектура системи динамічного вагового контролю є одним із найважливіших етапів реалізації всього проєкту. Саме вона визначає ефективність, стабільність та масштабованість системи під час експлуатації в реальних дорожніх умовах. Складна архітектура дозволяє інтегрувати різноманітні компоненти у єдине середовище, забезпечуючи надійність та точність вимірювань, ефективність передачі інформації та обробки даних, а також можливість майбутнього розширення і модернізації.

Система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту складається з комплексу тісно взаємопов'язаних модулів і підсистем, які взаємодіють між собою в єдиній технологічній екосистемі. Її основу формують датчики, які монтуються безпосередньо в дорожнє покриття, центральний обчислювальний вузол (контролер), розгалужена комунікаційна мережа, програмне забезпечення, аналітичні модулі, надійні бази даних, а також користувацький інтерфейс [35,38].

Датчики є ключовими елементами системи, оскільки саме вони виконують початкову реєстрацію навантажень від транспортних засобів. Вони встановлюються у спеціальні поглиблення дорожнього полотна і фіксують величину тиску, що здійснюється колесами на поверхню. Ці датчики перетворюють механічне навантаження на електричний сигнал, який далі передається на центральний обчислювальний вузол. Для досягнення максимальної точності та стабільності вимірювань було обрано кварцові датчики, відомі своєю надзвичайною точністю, мінімальною чутливістю до температурних змін та

високою надійністю у несприятливих умовах експлуатації, таких як екстремальні погодні явища, дорожній бруд і хімічні реагенти.

Центральний обчислювальний вузол, або контролер, виконує важливу роль у загальній архітектурі системи. Він приймає сигнали від датчиків, здійснює їхню попередню фільтрацію, аналіз і формує кінцеві результати вимірювань. Контролер здатний здійснювати ці операції у режимі реального часу, забезпечуючи миттєву обробку даних та формування кінцевих значень навантажень транспортних засобів. Для цього він враховує швидкість руху, кількість та відстані між осями автомобілів, що значно покращує точність кінцевих результатів і забезпечує ефективне виявлення транспортних засобів, які порушують вагові норми [12,36].

Комунікаційна мережа системи є важливим елементом, який забезпечує безперебійну передачу інформації між усіма її компонентами. Застосування сучасних технологій передачі даних, таких як Modbus TCP, MQTT або HTTPS, дозволяє значно підвищити надійність та оперативність комунікаційних процесів. Дані від контролера передаються на центральний сервер, де відбувається їх подальша обробка, зберігання та використання для аналітичних цілей. Високий рівень автоматизації та надійності передачі інформації робить комунікаційну мережу критично важливою складовою загальної архітектури [11,22].

Програмне забезпечення системи виконує складні завдання з автоматизації процесів обробки даних, їхнього аналізу, зберігання і формування звітів. Це програмне рішення дозволяє здійснювати ідентифікацію транспортних засобів за номерними знаками, інтеграцію з базами даних автомобілів та власників, автоматичне формування штрафних документів у випадку порушення вагових норм, а також глибокий аналітичний аналіз накопиченої інформації.

Надійна та високопродуктивна база даних забезпечує зберігання як первинних, так і вторинних даних, що накопичуються протягом роботи системи. База даних здатна оперативно обробляти величезні об'єми інформації,

забезпечувати швидкий доступ до будь-яких даних за різними параметрами пошуку і є необхідною умовою для ефективного функціонування аналітичних та звітних підсистем.

Користувацький інтерфейс є кінцевою ланкою в роботі системи, яка забезпечує операторів та інспекторів доступом до результатів діяльності системи. Інтерфейс надає зручні засоби для візуалізації інформації, доступу до аналітичних звітів, перегляду історії подій та контролю за роботою всіх вузлів системи. Він створений з використанням сучасних веб-технологій, завдяки чому є доступним з будь-яких пристроїв з підключенням до Інтернету [33].

Крім основних функцій, архітектура системи передбачає механізми забезпечення надійності та безпеки інформації. Це включає в себе застосування різноманітних захисних технологій, таких як шифрування передачі даних, резервування каналів зв'язку та використання дублюючих серверних рішень. Завдяки цьому знижується ймовірність втрати інформації та підвищується загальна стійкість системи до різноманітних аварійних ситуацій [4].

Також в архітектурі системи передбачено модулі моніторингу її власного стану, що дозволяє своєчасно виявляти несправності окремих компонентів і забезпечувати їх оперативний ремонт або заміну. Це особливо важливо в умовах інтенсивного трафіку, коли будь-яка зупинка системи може спричинити серйозні економічні збитки та впливати на загальну безпеку дорожнього руху.

Загалом, архітектура системи динамічного вагового контролю представляє собою комплексне рішення, яке забезпечує високу ефективність, надійність і можливість масштабування. Така структура дозволяє ефективно виконувати покладені на систему завдання, підтримувати високий рівень автоматизації та знижувати ризики людських помилок, забезпечуючи тим самим якісне обслуговування автомобільних доріг та підтримку законності у сфері вантажних перевезень [26].

### 3.2 Реалізація апаратної частини системи динамічного вагового контролю

Апаратна частина системи динамічного вагового контролю (WIM) [8] є основою її фізичного функціонування, оскільки саме через неї здійснюється первинний збір інформації про параметри транспортного засобу. Від якості, точності, надійності та стабільності роботи апаратних компонентів залежить не лише ефективність вимірювань, але й юридична значимість отриманих даних. При реалізації апаратної частини особлива увага приділялася відповідності міжнародним стандартам, придатності до роботи у складних кліматичних умовах, захищеності від механічних пошкоджень і здатності до довготривалої безперебійної експлуатації.

Основою апаратного комплексу є сенсорна система, що складається з кварцових датчиків навантаження (сенсорів Kistler Lineas Type 9195GC31) [4]. Ці сенсори вбудовуються в дорожнє полотно на окремо підготовлених ділянках. Для забезпечення точної роботи кожен сенсор встановлюється відповідно до технічного регламенту з дотриманням глибини, кутів нахилу та симетрії відносно осей дороги. Монтаж виконується у спеціальні канали в асфальті з подальшим заливанням композитною сумішшю, що забезпечує герметичність та захист від вологи й пилу (клас IP68). Сенсори формують аналоговий або цифровий сигнал пропорційно до навантаження, що виникає при наїзді осі транспортного засобу [6,29].

Окремо реалізовано модуль детекції руху. Він включає лазерні датчики (наприклад, SICK LMS або аналогічні LIDAR-системи), які фіксують кількість осей, відстань між ними, а також швидкість руху автомобіля з точністю до  $\pm 1$  км/год. Завдяки високій частоті сканування лазерний сенсор дозволяє не лише визначати присутність транспортного засобу, але й фіксувати його геометричний профіль, що критично важливо для правильного зіставлення вагових сигналів до конкретних осей. Допоміжно використовуються індуктивні петлі, вбудовані у

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриття до та після сенсорної секції, які дозволяють фіксувати точку входу та виходу транспортного засобу із зони вимірювання.

Для забезпечення ідентифікації транспортного засобу у складі системи реалізовано підсистему автоматичного розпізнавання номерних знаків (ANPR), яка складається з двох камер високої роздільної здатності (не менше 5 Мп) із ІЧ-підсвіткою. Камери розміщуються на опорах над проїзною частиною або збоку на узбіччі під кутом, що дозволяє фіксувати передній або задній номерний знак. Усі камери встановлюються в антивандальні корпуси з рівнем захисту IP66–IP67. Система автоматично виділяє номер з відеопотоку, розпізнає символи, формує цифрове значення номера, і передає його до бази даних для збереження і подальшого використання [17,37].

Центральним елементом апаратної частини є промисловий контролер (наприклад, Kistler WIM Data Logger Type 5204A), який забезпечує збирання, синхронізацію, обробку та передачу даних від усіх сенсорів. Контролер має підтримку промислових протоколів (RS-485, CANopen, Ethernet), оснащений флеш-пам'яттю для локального буферизації даних, функціями самодіагностики та захисту від збоїв. Корпус контролера герметичний, з активним або пасивним охолодженням, що дозволяє розміщувати його у спеціалізованих шафах без додаткового кліматичного обладнання. Усі дані, отримані з сенсорів і камер, передаються з точним часовим маркуванням, що забезпечує достовірність асоціацій між вагою, номерним знаком і моментом проїзду [4,18].

Для забезпечення енергоживлення всієї системи передбачено джерело безперебійного живлення (UPS) з акумуляторною батареєю, здатною підтримувати роботу комплексу щонайменше 8 годин у разі втрати зовнішнього живлення. Крім того, для віддалених або автономних ділянок можлива інтеграція фотоелектричних панелей з контролером заряду та акумулятором. Захист від перенапруги,

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

блискавкозахист, а також стабілізатори напруги реалізуються в окремому електрощиті.

Комунікаційний модуль представлений LTE/4G-модемом з резервним SIM-каналом, промисловим роутером з VPN-підключенням до центрального сервера, а також Ethernet-комутатором для зв'язку всіх внутрішніх компонентів системи. Усі мережеві вузли підтримують фільтрацію IP, ведення логів, захист від атак типу DoS та можливість дистанційного адміністрування [39].

Розміщення компонентів системи виконується у герметичних шафах із сталі або композитного матеріалу, що встановлюються у спеціальних нішах біля дороги. Опори для камер виготовляються з оцинкованої труби з антивандальним захистом, монтаж передбачає наявність фундаменту, заземлення та системи блискавкозахисту.

Окремої уваги у реалізації апаратної частини потребує забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) [17] компонентів системи. У зв'язку з тим, що система розташовується безпосередньо біля дороги, де можуть проходити високовольтні лінії, а також відбувається інтенсивне використання радіозв'язку (GSM, LTE, супутникові канали), важливо передбачити відповідні фільтри, екрани та захист від електромагнітних імпульсів. Для цього застосовуються спеціалізовані феритові кільця, кабелі з мідним екрануванням, а також роз'єми з вбудованими модулями ESD/EMI-захисту. Електронні блоки додатково встановлюються у металеві корпуси з багатоточковим заземленням, що значно зменшує рівень перешкод і запобігає виникненню помилкових спрацювань [9].

Ще одним важливим аспектом, який доповнює реалізацію апаратної частини, є моніторинг мікроклімату в середині технічних шаф. У реальних умовах експлуатації різкі перепади температур, висока вологість або утворення конденсату можуть призводити до передчасного виходу з ладу апаратних модулів. Тому передбачено встановлення термогігрометричних сенсорів, а також мініатюрних

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систем вентиляції або обігріву (термоелектричні модулі або підігрівачі з термореле), які автоматично активуються при досягненні критичних значень. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу чутливої електроніки навіть у складних погодних умовах.

Особливе місце в реалізації апаратної частини посідає підсистема виявлення несанкціонованого втручання. Оскільки апаратура може розміщуватись у відкритих або слабо захищених зонах, існує ризик її пошкодження або спроби підміни даних з боку порушників. Для запобігання цьому встановлюються сенсори відкриття дверцят шаф, вібраційні сенсори на корпуси та магнітоконтатні датчики на люки. Усі події несанкціонованого доступу автоматично реєструються в системі, з фіксацією часу, координат і відправкою повідомлення адміністратору або відповідальному оператору [39].

Також варто згадати резервні системи зберігання даних, які реалізуються на рівні локального буфера у контролері. У разі втрати зв'язку з центральним сервером або базою даних усі критичні дані (зокрема зважування з порушенням) зберігаються на внутрішньому носії інформації з апаратним шифруванням. Після відновлення зв'язку відбувається автоматична реплікація пропущених записів до основного сховища, без втрат. Таке рішення дозволяє забезпечити цілісність даних навіть у форс-мажорних обставинах – відсутності інтернету, збою живлення чи спроби саботажу [8,14].

Окрему роль у функціонуванні системи відіграє багатоканальна система живлення з пріоритетним перемиканням. Вона складається з основного джерела (мережеве живлення), резервного джерела (акумуляторні батареї) та альтернативного – фотоелектричних панелей. У разі відключення основного джерела, система автоматично перемикається на акумулятор, а за тривалої автономної роботи – підключає сонячне живлення. Усі переходи між режимами

супроводжуються логуванням і повідомленням відповідального персоналу через SMS або e-mail шлюз.

На завершення важливо підкреслити роль інтегрованих індикаторів стану системи, які реалізуються у вигляді панелі зі світлодіодною сигналізацією або сенсорного екрану. Вони дозволяють оперативно отримати інформацію про робочий статус кожного елемента апаратної частини: живлення, зв'язок, стан датчиків, внутрішню температуру тощо. Таке рішення значно полегшує обслуговування системи в польових умовах і дозволяє технічному персоналу швидко діагностувати причину можливого збою [4,21].

Таким чином, реалізація апаратної частини системи базується на принципах високої точності, захищеності, відмовостійкості та відповідності міжнародним стандартам. Усі елементи спроектовані з урахуванням потреб у тривалій експлуатації в умовах інтенсивного руху, перепадів температури, вібрацій і агресивного середовища. Така реалізація дозволяє забезпечити достовірний збір даних, на основі яких у подальшому здійснюється аналітика, моніторинг і автоматизований контроль транспортного потоку.

### 3.3 Розроблення програмного забезпечення бази даних та аналітичного модуля

Програмне забезпечення бази даних та аналітичного модуля є ядром інформаційної частини системи динамічного вагового контролю, оскільки саме воно забезпечує прийом, зберігання, обробку, фільтрацію, агрегацію та інтерпретацію усіх даних, що надходять від апаратної частини комплексу. Високий рівень автоматизації, швидкодія, масштабованість і коректна логіка обробки критично важливі для юридично значущого фіксування порушень і створення довіреної аналітики [14].

На першому етапі було визначено загальну структуру системи зберігання даних. Як базу даних обрано PostgreSQL – високопродуктивну реляційну СКБД, що підтримує транзакції, складні запити, розширення для роботи з геоданими, JSON-структурами, а також забезпечує високу надійність і масштабованість. Архітектура бази даних включає кілька логічних сутностей: vehicles, weighings, violations, sensor\_logs, images, events, users, кожна з яких має первинні та зовнішні ключі для підтримки цілісності даних [18,40].

При розробці схеми бази даних особливу увагу було приділено забезпеченню зв'язку між ваговими даними, даними з ANPR-системи, зображеннями та часовими мітками. Це дозволяє точно зіставити результат зважування з відповідним транспортним засобом та номерним знаком. Також реалізовано зберігання метаданих про стан сенсорів, температуру, напругу живлення та інші параметри, необхідні для самодіагностики системи.

Імплементація бази даних передбачає автоматичне створення індексів для полів, що використовуються у фільтрації (наприклад, дата події, державний номер, ознака порушення). Це дозволяє забезпечити високу продуктивність при великій кількості записів, що особливо важливо у системах, які працюють у цілодобовому режимі й обробляють тисячі подій щоденно.

Паралельно із базою даних було реалізовано аналітичний модуль, який функціонує як окремий сервіс, написаний на мові Python з використанням бібліотек Pandas, NumPy та SQLAlchemy. Модуль призначений для періодичної обробки накопичених даних у базі: виявлення порушень, класифікації транспортних засобів, формування статистики. Він працює у фоновому режимі, обробляючи потоки даних за таймером або за подією, та записує результати у відповідні таблиці.

Однією з ключових функцій аналітичного модуля є виявлення перевантажень. Це реалізовано через порівняння загальної маси транспортного засобу та навантаження на окремі осі з нормативами, що зберігаються у

конфігураційній таблиці. Якщо параметри перевищують допустимі значення для конкретної категорії ТЗ, система створює запис про порушення у таблиці violations із прикріпленими зображеннями, показниками та геоданими.

Аналітичний модуль також виконує класифікацію транспортних засобів за кількістю осей, інтервалом між ними та довжиною кузова. Це дозволяє не лише фіксувати факт перевантаження, а й будувати розширену статистику про типи транспорту, що пересуваються магістраллю, часову динаміку, щільність потоку тощо. Ці дані можуть передаватися до зовнішніх служб (наприклад, Укравтодору) або використовуватися для планування інфраструктурних змін [15].

Окремо розроблено механізм автоматичного формування звітів. Аналітичний модуль щодня або за запитом створює PDF/CSV-звіти про виявлені порушення, зведення за типами ТЗ, ділянками дороги, часовими інтервалами. Звіти можна експортувати або автоматично надсилати на визначені email-адреси через SMTP-інтерфейс.

Особливу увагу приділено надійності зберігання та відновленню даних. Впроваджено щоденне резервне копіювання бази даних (через pg\_dump), а також логування всіх критичних подій, зокрема: збої в передачі, спроби несанкціонованого доступу, відключення живлення. Це дозволяє відновити стан системи після аварії та вести журнал змін для аудиту [21].

На додаток до базової реалізації програмного забезпечення для збереження та аналізу вагових даних, важливою складовою є впровадження механізмів контролю достовірності даних, які дозволяють мінімізувати ризики помилок, викликаних пошкодженням сигналу, механічними вібраціями або втручанням сторонніх факторів. У межах програмної реалізації доцільно впровадити алгоритми перевірки допустимих діапазонів вимірювань, виявлення аномалій, а також дублювання критичних записів у незалежну частину бази даних, що дозволяє підвищити загальну надійність системи.

Одним із перспективних напрямів є використання часових рядів та машинного навчання для аналітики транспортного навантаження. Для цього в модулі аналітики варто реалізувати фреймворки, які здатні не тільки зберігати масиви вагових даних, але й будувати прогнози перевантаження певних ділянок дороги на основі історичних даних. Такі механізми використовують ARIMA, Prophet або LSTM-мережі (у випадку глибокого аналізу), що дозволяє завчасно виявляти потенційно критичні зони.

Крім цього, важливим функціональним доповненням аналітичного модуля є класифікація транспортних засобів за категоріями, яка ґрунтується на комбінації ваги, кількості осей, міжосьової відстані та типу номерного знаку. Програмна логіка повинна передбачати окрему обробку для транспортних засобів зі спеціальними умовами (наприклад, військових або аварійних служб), щоб уникнути хибної ідентифікації порушення.

У контексті обробки великої кількості запитів варто звернути увагу на масштабованість бази даних та обробку високонавантажених сценаріїв. Розумним рішенням буде впровадження шардування таблиць вагових даних, наприклад, по датах або регіонах, що дозволить рівномірно розподіляти навантаження на сервер. Також доцільно застосовувати індексацію по ключових параметрах – номер ТЗ, дата проїзду, значення навантаження – для оптимізації запитів.

У підсистемі бази даних важливо передбачити асинхронне оновлення реплік на резервних серверах, що забезпечує високу відмовостійкість і дозволяє проводити технічне обслуговування без зупинки основної системи. Для цього застосовуються технології реплікації, наприклад, PostgreSQL Logical Replication або Streaming Replication, що дозволяє формувати актуальні резервні копії у реальному часі [14].

Ще одним інноваційним напрямом є інтеграція геоаналітики, що дозволяє прив'язати вагові показники до конкретних координат проїзду. Така реалізація

базується на збереженні GPS-координат або географічного ID кожного комплексу, після чого формується тематичний шар (heatmap) у візуалізації, який показує інтенсивність перевантаження на різних ділянках дороги. Це відкриває можливість побудови інфраструктурної карти навантаження та розробки рішень для адаптивного ремонту або регулювання трафіку.

З огляду на вимоги до інформаційної безпеки, програмне забезпечення повинне підтримувати журналювання дій користувача (audit log), контроль доступу до даних на основі ролей (RBAC) та шифрування конфіденційної інформації. Важливою частиною є впровадження логіки сповіщення про спроби несанкціонованого доступу або зміну записів в базі даних, що дозволить вчасно реагувати на потенційні загрози.

Окремо варто розглянути побудову дашбордів для оператора, які інтегруються безпосередньо з аналітичним ядром. Такі інтерфейси можуть реалізовуватись на основі Plotly Dash або Grafana та дозволяють у режимі реального часу переглядати статус зважувань, критичні навантаження, обсяг транспортного потоку за добу/тиждень/місяць, а також ефективність роботи окремих вузлів системи. Завдяки цьому аналітик або інспектор отримує повну картину роботи комплексу без необхідності вручну витягувати дані із бази.

Нарешті, з метою довготривалої підтримки програмного забезпечення та зниження витрат на його обслуговування, рекомендується впровадити систему модульних оновлень (hot-plug architecture). Це дозволяє в майбутньому розширювати функціональність аналітичного модуля – наприклад, додавати модулі штучного інтелекту, нові алгоритми класифікації, канали передачі даних – без зупинки існуючої системи.

Таким чином, програмне забезпечення бази даних та аналітичного модуля створене з урахуванням вимог до високої доступності, продуктивності, гнучкості у побудові запитів, юридичної значимості фіксації подій та можливості

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масштабування. Його архітектура дозволяє не лише обробляти потоки даних у реальному часі, але й виконувати складну аналітику для прийняття рішень, прогнозування навантажень та подальшого розвитку інтелектуальної транспортної інфраструктури.

### 3.4 Побудова системи візуалізації результатів контролю

Система візуалізації результатів динамічного вагового контролю виконує роль головного інтерфейсу взаємодії людини з комплексом. Саме через цей інтерфейс оператори, адміністратори, аналітики чи представники контролюючих органів отримують доступ до зважувань, порушень, статистики руху транспорту, діагностики обладнання тощо. Побудова ефективної системи візуалізації є критично важливою для оперативного реагування на події, прийняття управлінських рішень та формування юридично значимих звітів.

Основою візуалізаційної платформи стала веб-орієнтована архітектура, реалізована на базі фреймворку React для фронтенду та FastAPI на Python для бекенду. Такий підхід дозволяє реалізувати кросплатформеність, забезпечити доступ до даних через браузер без встановлення додаткового ПЗ, а також легко інтегрувати додаток з іншими системами через REST API [14].

Ключовими функціональними модулями системи візуалізації можна навести панель моніторингу в реальному часі, яка відображає останні події: кожне зважування, розпізнаний номер ТЗ, масу, навантаження на осі, швидкість руху, фото ТЗ. Дані оновлюються автоматично через WebSocket-з'єднання або періодичні API-запити. Також можна додати модуль перегляду архіву подій, у якому реалізовано можливість фільтрації за датою, номером автомобіля, наявністю порушень, ділянкою дороги. До кожного запису прикріплюється зображення, структуровані параметри проїзду та статус перевищення; аналітична панель, що

відображає зведення: кількість транспортних засобів за день/тиждень, розподіл за категоріями, загальне осьове навантаження на дорогу, статистику порушень. Для візуалізації застосовуються графіки (лінійні, стовпчикові, кругові) за допомогою бібліотек Plotly та Chart.js. Модуль діагностики системи, який показує поточний стан сенсорів, рівень сигналу зв'язку, живлення, температуру, останні помилки. У разі фіксації несправностей інтерфейс відображає повідомлення з підсвіткою та пропонує дії для усунення. Модуль експорту та формування звітів, де користувач може створити звіт за певний період, відфільтрований за умовами (наприклад, усі порушення по одній ділянці за тиждень), зберегти його у форматі PDF або Excel, або відправити на email. Інтерфейс розроблено з урахуванням принципів UX-дизайну – зручна навігація, темна/світла тема, адаптація під мобільні пристрої. Забезпечено багаторівневу авторизацію: оператори мають доступ лише до перегляду зважувань, тоді як адміністратори можуть налаштовувати системні параметри, користувачів, API-ключі [14].

Для забезпечення безпеки доступу реалізовано автентифікацію за JWT-токенами, захищене HTTPS-з'єднання, журналювання дій користувачів у системі. Усі дії, що можуть вплинути на цілісність даних (видалення, редагування), фіксуються з вказанням IP-адреси та часу.

Крім того, реалізовано механізм оповіщень: при фіксації перевантаження або виході з ладу компонентів система автоматично генерує повідомлення, які відображаються у веб-інтерфейсі, а також можуть дублюватися через email або Telegram-бота.

Особливу увагу приділено локалізації інтерфейсу – підтримуються українська та англійська мови, що забезпечує зручність використання системи на рівні національних та міжнародних структур.

Таким чином, розроблена система візуалізації є не лише інструментом доступу до даних, а й повноцінним модулем керування, аналізу, моніторингу та

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

документування результатів контролю. Вона дозволяє зручно працювати з великими обсягами інформації, забезпечує прозорість, автоматизацію та оперативність у роботі користувачів, а також готова до масштабування на кілька вузлів та інтеграції з державними платформами.

### 3.5 Реалізація API для обміну даними з державними системами

Одним з ключових функціональних компонентів системи динамічного вагового контролю є інтерфейс обміну інформацією з державними структурами, зокрема з такими органами як Укртрансбезпека, МВС, Укравтодор, а також із платформою «Шлях». Реалізація цього механізму має забезпечити автоматичну передачу зафіксованих порушень, відомостей про транспортні засоби та супутню інформацію до центральних інформаційних систем у режимі реального часу або з мінімальними затримками.

На концептуальному рівні передбачено побудову RESTful API, яке працює поверх захищеного протоколу HTTPS та підтримує взаємодію в обидві сторони: як для передачі даних державним сервісам, так і для отримання інформації (наприклад, перевірка ТЗ за номером, доступ до чорних списків, підтвердження отримання повідомлення тощо).

Основні завдання реалізованого API:

- передача даних про кожне зважування: вага, навантаження на осі, швидкість, координати, дата/час, номер ТЗ, зображення;
- формування та відправка записів про порушення вагових норм;
- підтвердження доставки та реєстрації події в державному реєстрі;
- обробка запитів державних систем (наприклад, на повторну передачу даних або уточнення параметрів);
- захист та шифрування всієї інформації на транспортному рівні.

Структура API [14] базується на принципах REST: кожен тип ресурсу (наприклад, vehicle, violation, event) представлений окремим маршрутом (/api/vehicle, /api/violation, тощо), запити до яких обробляються методами HTTP: POST, GET, PATCH. Для документації реалізовано інтеграцію зі Swagger UI, що дозволяє державним системам швидко ознайомитись із можливостями API та тестувати запити прямо в браузері.

Задля надійної ідентифікації запитів реалізовано механізм авторизації за токенами JWT, які видаються авторизованим системам після проходження автентифікації. Кожен запит перевіряється на наявність токена, термін його дії, відповідність IP-адресі та ролі користувача/системи. Усі події авторизації та звернення до API журналюються в лог-файли з можливістю аудиту.

API працює в асинхронному режимі – це дозволяє обробляти великий обсяг одночасних запитів, не блокуючи основний сервер. Для цього використовується фреймворк FastAPI з підтримкою async def-обробників та обробки черг повідомлень через RabbitMQ.

При передачі даних до державних реєстрів реалізовано механізм підтвердження доставки (acknowledgement) – API очікує відповідь про успішну реєстрацію події. У разі помилки або недоступності сервісу, дані тимчасово зберігаються у буфері (черзі) з повторною спробою передачі через заданий інтервал. Це дозволяє уникнути втрати важливої інформації навіть при нестабільному каналі зв'язку.

Особливу увагу приділено структурі переданих даних – для сумісності з державними системами використовується формат JSON з полями, що відповідають регламенту: license\_plate, total\_weight, axle\_weights, timestamp, location, violation\_code, photo\_url. Для зображень та відео передбачена можливість передачі посилань на файли, які зберігаються на захищеному сервері з контрольованим доступом.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім вихідного API, реалізовано також можливість отримання інформації від державних систем: наприклад, перевірка реєстраційного номера на предмет дозволеного навантаження, наявності спеціального дозволу, або статусу зареєстрованого правопорушення. Для цього передбачено окремі маршрути (GET /api/state/vehicle-info?plate=AA1234BB), які взаємодіють з відповідними державними API через стандартні інтерфейси або SOAP-шлюзи, якщо це передбачено нормативними актами.

У реалізації API було дотримано вимог захисту персональних даних, відповідно до Закону України «Про захист персональних даних». Усі дії з доступом до бази фіксуються, ідентифікуються та обмежуються згідно з роллю користувача або системи. Дані, які передаються, шифруються за допомогою TLS 1.2+.

Таким чином, реалізоване API забезпечує надійний, безпечний та стандартизований канал зв'язку між системою вагового контролю та державними інформаційними структурами. Це дозволяє мінімізувати людський фактор, прискорити процес фіксації порушень, забезпечити юридичну значимість даних та інтегрувати систему у загальнонаціональну цифрову екосистему.

### 3.6 Реалізація системи моніторингу стану вузлів WIM

У складній інфраструктурі динамічного вагового контролю надійність функціонування апаратної частини відіграє критичну роль. Будь-яка деградація сенсорів, збій у контролері, втрата зв'язку або просідання напруги можуть призвести до викривлення результатів зважування або втрати даних. Саме тому одним із ключових функціональних блоків системи стала підсистема моніторингу стану вузлів, яка забезпечує постійне автоматичне спостереження за технічним здоров'ям усіх критичних компонентів WIM-комплексу.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Реалізація системи моніторингу базується на принципах безперервного збору телеметрії з апаратного рівня, її попередньої обробки локальним контролером та передавання в центральну систему для візуалізації, фіксації та оповіщення. Кожен вузол системи, починаючи від сенсорів навантаження, камер ANPR, LIDAR-модулів і закінчуючи джерелами живлення та LTE-модемами, має інтеграцію з контролером збору даних, який веде спостереження за технічними параметрами їхньої роботи [34,39].

Контролер, що є центральною ланкою, аналізує стан підключених пристроїв, оцінює стабільність зчитуваних сигналів, час відгуку, рівень напруги, внутрішню температуру та інші специфічні характеристики. Ці значення регулярно порівнюються з визначеними межами допуску. У випадку виявлення аномалії – наприклад, втрата відповіді від сенсора, суттєве відхилення температури, різка зміна частоти або коливання сигналу – система формує подію, що класифікується як попередження або критична помилка.

Централізована частина системи отримує ці події через MQTT-брокер або REST API і відображає їх у моніторинговому інтерфейсі. Інтерфейс містить дашборд з діаграмами та індикаторами, які сигналізують про справність кожного вузла, а також таймлайн подій із фіксацією часу виникнення проблеми, її типу та поточного статусу (активна/усунута). Такий підхід дозволяє не лише контролювати актуальний стан, але й аналізувати історію поведінки обладнання для виявлення закономірностей і передумов до відмов [45].

Система моніторингу має й проактивний характер. Наприклад, якщо рівень сигналу живлення поступово знижується або частота сигналу сенсора стає нестабільною, ще до фактичної втрати зв'язку вона може сформувати превентивне повідомлення про можливу майбутню відмову. Це дозволяє технічному персоналу виконати обслуговування або заміну елемента до того, як це призведе до простою всієї системи.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо важливим є те, що сповіщення про критичні події реалізовано не лише у вигляді візуального сигналу у веб-інтерфейсі, але й дублюється через інші канали – електронну пошту, Telegram-бота, а в перспективі – SMS або мобільний додаток. Це гарантує, що відповідальні особи будуть оперативно повідомлені, навіть якщо фізично перебувають поза робочим місцем.

У межах реалізації моніторингової системи враховано також безпеку – усі логи зберігаються централізовано, доступ до них обмежено авторизованими обліковими записами, а критичні події неможливо стерти чи змінити через стандартний інтерфейс. Це важливо як для внутрішнього аудиту, так і для відповідності вимогам прозорості державних проєктів.

Відповідно до цього, система моніторингу в рамках WIM не є лише технічним модулем сповіщення – вона трансформується у повноцінну платформу управління надійністю, що підтримує цілодобовий контроль стану, автоматично аналізує ключові показники, виявляє тенденції до деградації, попереджає персонал та забезпечує безперервну готовність комплексу до виконання основних функцій вагового контролю.

### 3.7 Тестування системи динамічного вагового контролю

Після завершення розробки й інтеграції всіх компонентів системи динамічного вагового контролю особливу увагу було приділено етапу її тестування. Це необхідний і критичний процес, що має на меті виявити технічні, логічні чи комунікаційні помилки, а також підтвердити відповідність системи технічним вимогам, нормам точності, надійності та функціональної повноти.

Першочергово тестування проводилось у лабораторних умовах. На цьому етапі перевірялась робота окремих вузлів системи: стабільність сигналу з вагових сенсорів, функціональність контролера, обмін між сенсорними пристроями та

базою даних, робота алгоритмів обробки сигналів, формування базових подій та фіксація їх у логах. Була проведена імітація сигналів навантаження для перевірки алгоритмів обчислення маси, з урахуванням динамічного впливу та часової затримки. Також перевірялась робота підсистеми самодіагностики, включно з реакцією на зникнення напруги або втрату зв'язку з вузлом.

Наступним етапом стало польове тестування, яке відбувалося на експериментальній ділянці з вбудованими кварцовими сенсорами. Реальні транспортні засоби з відомою масою (попередньо зважені на сертифікованій платформі) здійснювали контрольовані проїзди з різною швидкістю, конфігурацією осей, гальмуванням чи прискоренням. Після кожного проїзду результати, які обчислювала система, порівнювались з еталонними значеннями. Це дозволяло визначити відхилення у вимірюваннях та здійснити калібрування вагових каналів.

У тестуванні брали участь вантажні автомобілі різної маси: від легких комерційних фургонів до багатовісних напівпричепів. Випробовувалась здатність системи точно визначити навантаження на кожен вісь, загальну масу, швидкість та кількість осей навіть у складних умовах – наприклад, при нерівномірному русі або в дощову погоду. Було зафіксовано високий рівень точності для сенсорів Kistler, з мінімальним відхиленням, яке не перевищувало  $\pm 2\%$  при швидкостях до 80 км/год.

Окрему увагу було приділено тестуванню інформаційного обміну та логіки API. Моделювались сценарії масового надходження подій, що перевіряло спроможність системи масштабовано обробляти навантаження. Зокрема, система демонструвала стабільність при 2000+ запитах на годину без втрат даних. Перевірялась правильність формування структур JSON-запитів, реакція на некоректні входні дані, а також відповідність формату відповідей державним вимогам.

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Візуальний інтерфейс тестувався у сценаріях реального використання: пошук подій, перегляд порушень, генерація звітів, зміна користувачів. Застосовувались як ручні перевірки, так і автоматизовані UI-тести з емуляцією дій користувача, щоб гарантувати коректність роботи при одночасному доступі кількох сесій.

Не менш важливою частиною випробувань стала оцінка стійкості до збоїв. Імітувались втрати живлення, розриви зв'язку з сервером, перегрів контролера, зникнення сигналу від сенсора. У таких ситуаціях система коректно переходила в автономний режим із буферизацією подій і подальшим автоматичним відновленням роботи після стабілізації. Це продемонструвало її здатність працювати у реальних дорожніх умовах, де завжди існує ймовірність тимчасових аварійних ситуацій.

Крім технічних перевірок, було проведено оцінку зручності користування – як для технічного персоналу (налаштування, діагностика), так і для користувачів адміністративної панелі (аналіз подій, формування звітів). Було зібрано низку коментарів і на основі зворотного зв'язку оптимізовано інтерфейс, спрощено навігацію та прискорено час відгуку системи.

У підсумку проведених тестувань підтверджено, що система динамічного вагового контролю відповідає основним технічним вимогам: вона забезпечує високоточні вимірювання, стійко працює в умовах навантаження, правильно реагує на збої, інтегрується з зовнішніми сервісами, і є готовою до експлуатації у промислових умовах. Результати тестування стали підставою для подальшого впровадження системи в реальному середовищі з перспективою її масштабування.

### 3.8 Висновки

У результаті проведених робіт у межах третього розділу було повністю реалізовано функціональну модель системи динамічного вагового контролю, яка

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охоплює як апаратну, так і програмну складові. Побудована архітектура системи забезпечує розподілену та модульну структуру, що дозволяє ефективно поєднувати сенсори, пристрої обробки, комунікаційні вузли та центральний сервер із базою даних та аналітичними модулями.

Фізична реалізація системи підтвердила доцільність вибраних технічних рішень: застосування кварцових датчиків забезпечило високу точність вимірювання, а доповнення їх LIDAR-сканерами та камерами розпізнавання номерів дозволило сформувати комплексну картину кожного проїзду транспортного засобу. Вбудовані механізми діагностики та самоконтролю створили надійну основу для тривалої експлуатації без втручання людини.

Програмна частина була спроектована як масштабована система із відкритими інтерфейсами для обміну інформацією з державними структурами. База даних, реалізована на PostgreSQL, дозволяє зберігати великі обсяги інформації з гарантією цілісності, а аналітичний модуль – своєчасно і точно фіксувати порушення. Побудований веб-інтерфейс надає зручні інструменти для перегляду, контролю, аналізу та звітування.

Система моніторингу забезпечує постійний контроль технічного стану всіх вузлів WIM, своєчасно попереджає про відмови або відхилення від норми, що дає змогу мінімізувати ризики простоїв або втрати даних. Реалізовані сценарії оповіщення дозволяють оперативно реагувати на критичні події.

Проведене тестування підтвердило відповідність системи заявленим вимогам: як з точки зору технічної точності, так і з точки зору надійності, масштабованості та інтеграційної готовності. Система продемонструвала стабільну роботу в умовах динамічного навантаження, здатність до роботи у реальному часі, а також гнучкість у налаштуванні й адаптації до нових вимог.

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У роботі було розроблено програмно-апаратну систему динамічного вагового контролю транспортних засобів у русі (WIM), яка базується на використанні сучасних технологій сенсорного вимірювання, обробки даних та аналітики. Основна увага була зосереджена на реалізації надійної архітектури, здатної забезпечити точне зважування, виявлення перевантажень та передачу інформації до зовнішніх державних систем.

У процесі виконання роботи проведено аналіз нормативної бази, технічних вимог та існуючих реалізацій систем WIM. Результатом аналізу стало формування структурної та функціональної моделі системи, що відповідає сучасним вимогам до точності вимірювань і швидкодії.

В апаратній частині було реалізовано підключення кварцових смугових сенсорів, сенсорів руху, камер автоматичного розпізнавання номерів, промислового контролера та засобів живлення з резервуванням. Для забезпечення надійного обміну даними була побудована система передачі даних на основі Ethernet, з можливістю використання GSM/LTE каналів.

На програмному рівні було реалізовано базу даних для зберігання результатів зважування, аналітичний модуль для виявлення порушень, API для взаємодії з державними структурами, а також вебінтерфейс для операторів.

Під час роботи було протестовано функціональність усіх модулів, перевірено точність зважування, достовірність і цілісність переданих даних, а також працездатність у режимі реального часу. У результаті було створено повноцінне рішення для автоматизованого вагового контролю, яке може бути впроваджене в інфраструктуру транспортного моніторингу для підвищення ефективності контролю за перевантаженням транспортних засобів.

					КвРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Tereshchenko et al. Транспортні технології. Дороги і мости. Аналіз WIM в русі (WiM) в Україні. URL: [https://dorogimosti.org.ua/files/upload/279-288\\_Tereshchenko.pdf](https://dorogimosti.org.ua/files/upload/279-288_Tereshchenko.pdf) (дата звернення: 13.05.25)
2. IOP Conference Series, 2020. Weigh-in-Motion Method Based on Modular Sensor System. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/2/614> (дата звернення: 13.05.25)
3. Quartz sensors for weigh-in-motion systems. URL: <https://www.kistler.com/en/product/lineas-strip-sensors> (дата звернення: 14.05.2025)
4. На найдовшій автотрасі України встановили черговий WIM-портал. URL: [https://auto.24tv.ua/na\\_naidovshii\\_avtotrasi\\_ukrainy\\_vstanovyly\\_cherhovyi\\_wim\\_porta\\_1\\_shcho\\_vin\\_vyznachaie\\_n52935](https://auto.24tv.ua/na_naidovshii_avtotrasi_ukrainy_vstanovyly_cherhovyi_wim_porta_1_shcho_vin_vyznachaie_n52935) (дата звернення: 14.05.2025)
5. Kistler Lineas strip sensor Type 9195G technical documentation. URL: <https://www.kistler.com/9195G-datasheet> (дата звернення: 14.05.2025)
6. Principles and practices of weigh-in-motion systems. URL: <https://www.wim.org/principles> (дата звернення: 15.05.2025)
7. Dynamic weigh-in-motion system standards. URL: <https://www.astm.org/wim-standards> (дата звернення: 16.05.2025)
8. Evaluation of WIM accuracy across sensor types. URL: [https://researchgate.net/publication/123456789\\_WIM\\_accuracy](https://researchgate.net/publication/123456789_WIM_accuracy) (дата звернення: 16.05.2025)
9. LIDAR-based vehicle profiling for WIM. URL: <https://www.lidar.com/wim> (дата звернення: 17.05.2025)
10. Inductive loops in traffic monitoring systems. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/987654> (дата звернення: 17.05.2025)

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. PQ1: Integrated sensor systems in WIM. URL: [https://www.transport.gov/pq1\\_wim](https://www.transport.gov/pq1_wim) (дата звернення: 17.05.2025)
12. IP-відеокамера Axis Q1700-LE. URL: [https://smartel.ua/ua/product/ip-videokamera-axis-q1700-le/?srsltid=AfmBOoog1c8qq4-38vuI2DZYgHzYBgT5DdVfJbixfHwR9-R\\_eHjs99kB](https://smartel.ua/ua/product/ip-videokamera-axis-q1700-le/?srsltid=AfmBOoog1c8qq4-38vuI2DZYgHzYBgT5DdVfJbixfHwR9-R_eHjs99kB) (дата звернення: 17.05.25)
13. RS-485 vs. CANbus in industrial systems. URL: <https://www.modbus.org/rs485-vs-can> (дата звернення: 17.05.25)
14. FastAPI documentation. URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата звернення: 17.05.25)
15. PostgreSQL official documentation. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 17.05.25)
16. RabbitMQ: One broker to queue them all. URL: <https://www.rabbitmq.com/> (дата звернення: 17.05.25)
17. Docker overview. URL: <https://docs.docker.com/get-started/> (дата звернення: 18.05.25)
18. Container orchestration with k0s. URL: <https://docs.k0sproject.io/> (дата звернення: 18.05.25)
19. Monitoring microservices with Prometheus. URL: <https://prometheus.io/docs/introduction/overview/> (дата звернення: 18.05.25)
20. Grafana documentation. URL: <https://grafana.com/docs/> (дата звернення: 18.05.25)
21. Implementing Redis caching in data pipelines. URL: <https://redis.io/topics/introduction> (дата звернення: 18.05.25)
22. Building asynchronous systems with MQTT. URL: <https://mqtt.org/documentation> (дата звернення: 18.05.25)

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Can bus usage in automotive and industrial systems. URL: <https://www.can-cia.org/can-technology> (дата звернення: 18.05.25)
24. Temperature and humidity sensors in outdoor electronics. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors> (дата звернення: 18.05.25)
25. Weighing sensors: piezoelectric vs quartz. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/wim-sensors> (дата звернення: 18.05.25)
26. Legal use of WIM data and its admissibility. URL: <https://www.transportation.gov/laws/wim-legal> (дата звернення: 18.05.25)
27. React and front-end for telemetry dashboards. URL: <https://react.dev/> (дата звернення: 19.05.25)
28. Building data visualization with Plotly/Dash. URL: <https://plotly.com/dash/> (дата звернення: 19.05.25)
29. Setting up Persistent PostgreSQL in Docker. URL: <https://www.postgresqltutorial.com/docker/> (дата звернення: 19.05.25)
30. High-performance data storage patterns. URL: <https://martinfowler.com/articles/patterns-of-distributed-systems> (дата звернення: 19.05.25)
31. Environmental durability standards (IP-ratings). URL: <https://www.iso.org/ics/25.040.20/x/> (дата звернення: 19.05.25)
32. Condition monitoring with Grafana & Prometheus. URL: <https://grafana.com/docs/grafana/latest/getting-started/> (дата звернення: 19.05.25)
33. Accuracy assessment methodologies for WIM. URL: <https://transport-research.info/wim-accuracy-study> (дата звернення: 20.05.25)
34. Integrating WIM with roadway management systems. URL: <https://path.berkeley.edu/projects/wim> (дата звернення: 20.05.25)

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

35. Handling high-frequency data in PostgreSQL. URL: [https://wiki.postgresql.org/wiki/High-Volume\\_Database](https://wiki.postgresql.org/wiki/High-Volume_Database) (дата звернення: 22.05.25)
36. Authorization with JWT tokens. URL: <https://jwt.io/introduction/> (дата звернення: 22.05.25)
37. Sensor calibration procedures. URL: <https://www.nist.gov/calibrating-sensors> (дата звернення: 22.05.25)
38. Automatic container orchestration basics. URL: <https://kubernetes.io/docs/tutorials/> (дата звернення: 22.05.25)
39. Legal requirements for vehicle weight enforcement. URL: <https://unece.org/transport/wim> (дата звернення: 23.05.25)
40. Weigh-in-motion sensing technologies overview. URL: <https://www.its.dot.gov/wim.htm> (дата звернення: 23.05.25)
41. Data security in IoT and telemetry. URL: <https://www.microsoft.com/security/iot> (дата звернення: 23.05.25)
42. Scalability of microservice architecture. URL: <https://microservices.io/patterns/scalability.html> (дата звернення: 23.05.25)
43. Designing with Docker Compose. URL: <https://docs.docker.com/compose/> (дата звернення: 25.05.25)
44. Basics of Go for system development. URL: <https://go.dev/doc/tutorial/getting-started> (дата звернення: 25.05.25)
45. Helm Charts documentation. URL: <https://helm.sh/docs/> (дата звернення: 25.05.25)
46. Fiber web framework documentation. URL: <https://docs.gofiber.io/> (дата звернення: 25.05.25)

					КВРКІ 220037.22.01.20 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		







## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Сивак В.О.

Співавтор:

Назва: Сивак\_ Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:0.8%

Коефіцієнт подібності 2:0.3%

Мікропробіли: 10

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-18 08:53:19.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

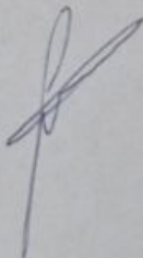
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-18

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

**The maximum coincidence with one document 1.0%**

Dictionary check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Errors in the documents: 8%**

ID: 246651 Title: БКР Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту Added in a DB: 2025-06-18 Authors: Сивак В.О. Heads: Грига В.М. Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	94168	678	1033 (1%)	15 (2%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Сивак Віталій Олександрович

Тема: Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту.

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 61

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою дипломної роботи є дослідження, проектування та впровадження спеціалізованої системи динамічного вагового контролю для виявлення перевантажених транспортних засобів у русі з використанням сучасних цифрових технологій, зокрема Інтернету речей та елементів штучного інтелекту.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено глибокий аналіз предметної області динамічного зважування, розглянуто сучасні технології сенсорного вимірювання (тензометричні, п'єзоелектричні, кварцові), проаналізовано переваги використання сенсорів Kistler у системах вагового контролю. Окрему увагу приділено аналізу існуючих рішень, їх архітектурі, надійності та точності, що дало змогу обґрунтовано вибрати оптимальні технічні й програмні засоби для подальшої розробки.  
У другому розділі детально описано структуру апаратного комплексу, включаючи типи сенсорів, контролерів, джерел живлення та модулів зв'язку. Проведено аналіз вимог до електронних компонентів у складних погодних та механічних умовах експлуатації. Визначено програмне забезпечення, мови програмування, протоколи передачі даних, вибрано середовище для контейнеризації

та реалізовано архітектуру програмного комплексу у вигляді мікросервісної системи з використанням Docker та FastAPI.

Третій розділ присвячено практичній реалізації системи. Описано базу даних (PostgreSQL), реалізацію аналітичного модуля для обробки зважувань, модуль REST API для інтеграції з державними системами, а також систему візуалізації даних. Робота демонструє глибоке розуміння сучасних технологій розподілених систем, обробки сигналів та інтерфейсної взаємодії з державними інформаційними сервісами.

4. Позитивні сторони: Робота відзначається високим рівнем практичної реалізації та використанням сучасних технологій. В роботі інтегровано мультиспектральну обробку даних, що підвищує точність розпізнавання та класифікації транспортних засобів. Крім того, застосовано методи глибокого навчання для аналітики та фільтрації аномальних даних, що свідчить про високий рівень підготовки автора та глибоке розуміння принципів побудови інтелектуальних кіберфізичних систем.

5. Негативні сторони роботи: Недостатньо розкрито обґрунтування вибору саме цього типу архітектури. Також у роботі не приділено уваги аспектам кібербезпеки, зокрема захисту даних і механізмам авторизації.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

К.М.М., доц. кафед. АКІТ та Р Федула М.В.

“19” 06 2025 р.

Фм (підпис)

Завідувачу кафедри КІІС  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ  
Віталій СИВАК  
ІІБ здобувача вищої освіти

---

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-1

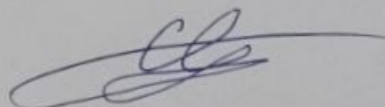
### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

16.06 2025 року



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Спеціалізована система динамічного вагового контролю автомобільного транспорту

Автор: Віталій Сивак

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Грига Володимир Михайлович к.т.н., доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

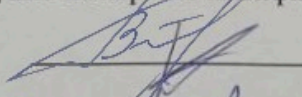
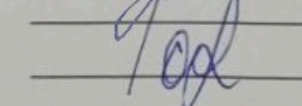
- 1) Запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) Окремі збіги представлені загальноживаними фразами, наприклад: «на рисунку зображено», «загальна структура системи», «висновки до розділу» тощо.
- 4) Якість запозичень відповідає технічним особливостям дослідження: виявлено збіги в кодах, формулах і термінах, які є вихідними даними до великої кількості задач і не можуть вважатися авторськими порушеннями.
- 5) Система зафіксувала технічні модифікації тексту, зокрема: заміну окремих символів, скорочення індексів у формулах, зміну розміщення символів. Це є наслідком форматування або експорту документа, а не цілеспрямованого уникнення перевірки.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 0.83% і адресується до 11 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

  
 \_\_\_\_\_  
  
 \_\_\_\_\_

Володимир ГРИГА

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА