

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему:

«Розробка автоматизованої системи зважування автотранспорту»

Виконав: здобувач 4 курсу групи Акт-42сп

Спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

Яремко Р.М.

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.е.н., доцент Станько В.Ю.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
д.т.н., проф. А.М. Тригуба
“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Яремко Роман Миколайович

1. Тема роботи: «Розробка автоматизованої системи зважування автотранспорту»

Керівник роботи Станько Володимир Юрійович, к.е.н., доцент
Затверджені наказом по університету 25.02.2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Вимоги до побудови інформаційних систем.
2. Науково-технічна і довідкова література. 3. Засоби створення, обладнання
мова програмування. 4. Методика створення інформаційних систем.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Вступ

Теоретичні основи та класифікація систем зважування автотранспорту

Апаратна архітектура автоматизованої системи

Проектування автоматизованої системи зважування автотранспорту

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки та пропозиції

Бібліографічний список

5. Перелік графічного матеріалу: 1) Презентація із головними результатами
кваліфікаційної роботи

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	<i>Станько В.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання 26.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	<i>26.02.2025 – 10.03.2025</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	<i>11.03.2025 – 25.03.2025</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу, розрахунків та розробка листів</i>	<i>26.03.2025 – 15.04.2025</i>	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»</i>	<i>16.04.2025 – 01.05.2025</i>	
5.	<i>Тестування проекту та оцінка ефективності проектних рішень</i>	<i>02.05.2025 – 20.05.2025</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів графічної частини</i>	<i>21.05.2025 – 05.06.2025</i>	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>06-10.06.2025</i>	

Студент _____ Яремко Р.М.
(підпис)

Керівник роботи _____ Станько В.Ю.
(підпис)

УДК 004.738.5:339

Кваліфікаційна робота: 46 сторінок текстової частини, 7 таблиць, 5 рисунків, 38 джерел літератури, 1 додаток.

«Розробка автоматизованої системи зважування автотранспорту». Яремко Роман Миколайович. – Кваліфікаційна робота. Кафедра інформаційних технологій. Дубляни, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025 р.

У роботі представлено комплексне дослідження, присвячене розробці сучасної автоматизованої системи зважування автотранспорту.

Розглянуто ключові аспекти, починаючи від порівняльного аналізу статичного та динамічного методів зважування, їх переваг, недоліків та сфер застосування.

Детально проаналізовано апаратну архітектуру системи, включаючи сенсорні технології, пристрої збору даних та периферійне обладнання для повної автоматизації процесу, таке як камери розпізнавання номерів та RFID-зчитувачі.

Розроблено концепцію програмного комплексу, що охоплює алгоритми обробки даних, проектування бази даних та механізми інтеграції з корпоративними системами управління.

Робота обґрунтовує необхідність системного підходу до проектування, де апаратні, програмні та інфраструктурні компоненти функціонують як єдине ціле, що дозволяє підвищити точність обліку, мінімізувати людський фактор та досягти значного економічного ефекту.

Ключові слова: автомобільні ваги, статичне зважування, динамічне зважування, цифрова обробка сигналів.

Keywords: truck scales, static weighing, dynamic weighing, digital signal processing.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ЗВАЖУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТУ	7
1.1. Порівняльний аналіз статичного та динамічного зважування	7
1.2. Сфери застосування та стратегічні завдання.....	10
1.3. Конструкції вагових платформ для статичного зважування.....	11
1.4. Вимоги до монтажу ділянок динамічного зважування	13
РОЗДІЛ 2 АПАРАТНА АРХІТЕКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	16
2.1. Сенсорні технології.....	16
2.2. Пристрої збору даних та керування	20
2.3. Підсистеми автоматизації.....	24
2.4. Передові методи цифрової обробки сигналів для забезпечення високої точності.....	25
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗВАЖУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТУ	28
3.1. Архітектурне проектування програмного комплексу	28
3.2. Комунікаційні протоколи та інтеграція з корпоративними системами.....	29
3.3. Аналіз ключових національних та міжнародних стандартів.....	31
3.4. Етапи впровадження системи	34
3.5. Інтеграція з Інтернетом речей (IoT) та хмарними платформами	36
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	38
4.1. Організація безпечного робочого місця для розробників веб-сайтів ...	38
4.2. Профілактика професійних захворювань при тривалій роботі за комп'ютером	40
4.3. Інструкція з охорони праці під час роботи за комп'ютером.....	41
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	50

ВСТУП

Зважування автотранспорту є фундаментальним процесом, що лежить в основі функціонування ключових галузей сучасної економіки, зокрема сільського господарства, гірничодобувної промисловості, металургії та логістики. Точне визначення маси вантажів є невід'ємною умовою для ведення комерційного обліку, забезпечення справедливості торгових операцій та ефективного управління товарними потоками. Водночас, ваговий контроль виконує критично важливу державну функцію – захист національної інфраструктури. Перевантажені транспортні засоби завдають колосальної шкоди дорожньому покриттю, мостам та іншим інженерним спорудам, що призводить до передчасного зносу та вимагає значних бюджетних витрат на ремонт.[2]

Традиційні методи вагового контролю, що покладаються на ручні операції та участь оператора, стикаються з низкою системних проблем. До них належать низька пропускна здатність, висока ймовірність людських помилок при веденні обліку, а також значні корупційні ризики, пов'язані з можливістю маніпуляцій даними. Ці недоліки не лише призводять до прямих фінансових збитків для підприємств та держави, але й нівелюють ефективність контролю за дотриманням вагових норм. Перехід від застарілих ручних процесів до інтегрованих автоматизованих систем є нагальною вимогою часу. Проте розробка такої системи є комплексним науково-технічним завданням, що вимагає глибоких знань у галузях апаратного забезпечення, програмної інженерії, метрології, нормативного регулювання та економічного аналізу.

Метою даної бакалаврської роботи є проведення комплексного науково-технічного дослідження, спрямованого на розробку концепції сучасної автоматизованої системи зважування автотранспорту. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести порівняльний аналіз статичного та динамічного методів зважування, визначити їх переваги, недоліки та сфери застосування.

2. Дослідити інженерно-конструктивні аспекти побудови вагових комплексів, включаючи типи платформ та вимоги до фундаментів.
3. Проаналізувати апаратну архітектуру системи: сенсорні технології, пристрої збору даних та керування, а також периферійне обладнання для повної автоматизації.
4. Розробити архітектуру програмного комплексу, включаючи алгоритми обробки сигналів, структуру бази даних та протоколи інтеграції з корпоративними системами.
5. Проаналізувати метрологічну та нормативно-правову базу, що регулює застосування ваговимірювальної техніки в Україні.
6. Оцінити економічну ефективність впровадження автоматизованої системи та розглянути етапи її практичної реалізації.
7. Дослідити перспективні напрямки розвитку технологій зважування, зокрема використання штучного інтелекту та Інтернету речей.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ЗВАЖУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТУ

1.1. Порівняльний аналіз статичного та динамічного зважування

В основі всіх систем вагового контролю лежить один із двох фундаментальних методів вимірювання маси: статичний або динамічний. Вибір між ними визначається першочерговими цілями – чи є пріоритетом максимальна точність для комерційних розрахунків, чи висока пропускна здатність для моніторингу транспортних потоків.

Статичне зважування – це процес вимірювання маси транспортного засобу, коли він перебуває у нерухомому стані на ваговій платформі.[24] Цей метод є "золотим стандартом" точності. Коли автомобіль повністю зупиняється, динамічні сили, пов'язані з рухом, коливаннями підвіски та перетіканням рідких вантажів, зводяться до мінімуму, що дозволяє датчикам виміряти силу тяжіння з максимальною прецизійністю. Саме тому статичне зважування є єдиним методом, що визнається для комерційних та торгових операцій, де вага безпосередньо конвертується у фінансову вартість товару.[1]

Динамічне зважування, відоме як Weigh-in-Motion (WIM), – це технологія вимірювання маси транспортного засобу під час його руху через вимірювальну ділянку. Головною перевагою цього методу є виняткова ефективність та висока пропускна здатність. Оскільки транспортним засобам не потрібно зупинятися, WIM-системи не створюють перешкод для транспортного потоку, що робить їх ідеальним інструментом для моніторингу навантаження на автомагістралях. Однак ця ефективність досягається ціною точності. Динамічні навантаження на вісь, що вимірюються сенсорами WIM, є лише наближенням до статичних значень через вплив безлічі факторів, таких як швидкість руху, стан дорожнього покриття, характеристики підвіски автомобіля та поведінка водія.[19] Тому точність динамічного зважування завжди буде значно нижчою, ніж у статичного.

Таким чином, виникає фундаментальний компроміс між точністю та ефективністю, який визначає сферу застосування кожного методу. Статичні ваги є незамінними на підприємствах для обліку продукції, тоді як WIM-системи є інструментом для збору статистичних даних, попереднього відбору потенційних порушників для подальшої перевірки на стаціонарних постах та планування обслуговування дорожньої інфраструктури. Окремо варто зазначити, що зважування наливних вантажів у цистернах через динаміку рідини може здійснюватися виключно у статичному режимі для отримання достовірних результатів.[23]

Таблиця 1.1 – Аналіз методів статичного та динамічного зважування

Параметр	Статичне зважування	Динамічне зважування (WIM)
Принцип	Повна зупинка на платформі	Вимірювання в русі (поосьове)
Точність	Висока (до 0.05%) (дозволяє комерційний облік)	Значно нижча (від 2% до 15%), залежить від багатьох факторів
Пропускна здатність	Низька (потребує повної зупинки ТЗ)	Висока (зважування без зупинки потоку)
Основне застосування	Комерційний та технологічний облік, точне визначення маси нетто/брутто (підприємства, елеватори, кар'єри)	Моніторинг трафіку, попередній відбір порушників, збір статистики для дорожніх служб на дорогах загального користування
Вартість інфраструктури	Висока для повнорозмірних платформ, нижча для поосьових ваг	Залежить від типу, але вимоги до якості дорожнього полотна можуть значно збільшити вартість
Вплив людського фактору	Вищий у ручних системах, мінімізується при автоматизації	Мінімальний, процес повністю автоматизований
Мобільність	Стаціонарні платформи немобільні; підкладні ваги є мобільними	Датчики вмонтовуються в дорогу; існують мобільні версії (підкладні)

Історія ваговимірювальної техніки демонструє чітку еволюцію від механічних пристроїв до складних електронних та цифрових систем, де кожен

новий етап розвитку був зумовлений зростаючими потребами економіки та технологій.

Перші автомобільні та вагонні ваги базувалися на складних важільно-механічних системах. Сила тяжіння від вантажу через систему важелів врівноважувалася гирями, а результат визначався візуально. Ці системи, хоч і були інженерним досягненням свого часу, мали суттєві недоліки: низьку швидкість зважування, громіздкість, високі вимоги до обслуговування та повну відсутність можливостей для автоматизації. На сьогоднішній день механічні ваги практично не виробляються.[15]

Справжньою революцією став перехід до електронних систем зважування, що базуються на тензометричному принципі. Основою такої системи є тензорезисторний датчик (тензодатчик). Принцип його дії полягає у перетворенні механічної деформації, що виникає під дією сили тяжіння вантажу, в пропорційний електричний сигнал. Цей сигнал потім обробляється мікропроцесорним пристроєм (ваговим терміналом), який обчислює та відображає масу в цифровому вигляді. Цей технологічний стрибок відкрив шлях до автоматизації: цифрові дані стало можливо зберігати, передавати на комп'ютер та інтегрувати в облікові системи підприємства.[8]

Динамічні сенсорні технології виникли через потребу у зважуванні транспортних засобів на високій швидкості. Це вимагало розробки принципово нових сенсорів, здатних вловлювати короткочасні динамічні навантаження. Ключовою технологією тут стали п'єзoeлектричні датчики.[6] Вони використовують властивість певних кристалів (наприклад, кварцу) генерувати електричний заряд під дією механічного тиску. Такі датчики, вмонтовані безпосередньо в дорожнє полотно, реєструють силу тиску від кожного колеса автомобіля, що проїжджає над ними. Система обробляє послідовність цих сигналів, визначаючи навантаження на кожен вісь та обчислюючи загальну масу. Саме п'єзoeлектричні та подібні до них динамічні сенсори є основою сучасних високошвидкісних систем WIM (HS-WIM), здатних працювати на швидкостях до 250 км/год.

Таким чином, розвиток технологій зважування є прямим відображенням зростаючих вимог до точності, швидкості та рівня автоматизації. Якщо механічні системи задовольняли базову потребу у визначенні маси, то електронні відкрили еру обліку та контролю, а динамічні сенсори стали інструментом для управління масштабними транспортними потоками та захисту інфраструктури.

1.2. Сфери застосування та стратегічні завдання

Автоматизовані системи зважування є не просто технічними пристроями, а стратегічними інструментами, що вирішують широкий спектр завдань на комерційному, логістичному та державному рівнях.

Комерційний та промисловий облік для підприємств у таких галузях, як сільське господарство, гірничодобувна промисловість, металургія та переробка вторсировини, точне зважування є основою фінансового обліку. Автомобільні ваги використовуються для контролю ваги сировини, що надходить, та готової продукції, що відвантажується. Це дозволяє уникнути фінансових втрат через недопоставку або переплату, вести точний складський облік та забезпечувати прозорість у розрахунках з контрагентами. Автоматизація цього процесу, шляхом інтеграції ваг з обліковими системами, виключає людські помилки та зловживання, забезпечуючи достовірність даних.[5]

В логістиці системи зважування вирішують завдання оптимізації завантаження транспорту. Контроль навантаження на осі дозволяє уникнути штрафів за перевантаження, які є значною статтею витрат для перевізників. Правильний розподіл вантажу по осях також забезпечує рівномірний знос елементів шасі та шин, продовжуючи термін служби транспортного засобу. Динамічні системи зважування на виїзді з підприємства дозволяють оперативно перевіряти кожен партію, підвищуючи пропускну здатність логістичного вузла.

На державному рівні головним завданням систем WIM є захист дорожньої інфраструктури від руйнівного впливу перевантажених вантажівок.

Впровадження мережі автоматичних комплексів WIM, як це робить "Укравтодор" в Україні, дозволяє здійснювати безперервний моніторинг транспортних потоків без їх зупинки. Це забезпечує:

- підвищення безпеки на дорогах шляхом виявлення потенційно небезпечних перевантажених автомобілів;
- збереження дорожнього покриття, що веде до економії бюджетних коштів на ремонті доріг;
- поповнення бюджету за рахунок автоматичної фіксації порушень та накладення штрафів;
- збір даних для планування, що дозволяє дорожнім службам отримувати достовірну інформацію про інтенсивність руху та навантаження для планування ремонтно-будівельних робіт.

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) та "Розумні міста". Дані, що збираються системами WIM, є безцінним ресурсом для ширших ініціатив у сфері ІТС та концепції "Smart City". Інформація про вагу, швидкість, габарити та класифікацію транспортних засобів у реальному часі дозволяє створювати складні моделі транспортних потоків, оптимізувати роботу світлофорів, управляти рухом вантажного транспорту в містах та приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку транспортної інфраструктури.[38]

Таким чином, автоматизована система зважування є багатофункціональним інструментом, що забезпечує економічну ефективність для бізнесу, безпеку та збереження інфраструктури для держави, а також є джерелом даних для побудови інтелектуальних систем управління майбутнього.

1.3. Конструкції вагових платформ для статичного зважування

Вагова платформа є основним вантажоприймальним пристроєм, конструкція якого залежить від специфіки завдань зважування, необхідної точності та бюджету проекту.

Повнорозмірні платформні ваги (Стаціонарні) – це найбільш поширений тип ваг для комерційного обліку на підприємствах з інтенсивним рухом. Платформи мають довжину від 12 до 24 метрів, що дозволяє зважувати весь автопоїзд (тягач з причепом або напівпричепом) за один раз. Така конструкція забезпечує найвищу точність визначення загальної маси, оскільки весь транспортний засіб знаходиться на єдиній стабільній поверхні. Платформи можуть бути модульними, складаючись з декількох секцій, з'єднаних поперечними балками. Матеріалом слугує або суцільнометалева конструкція, або залізобетонні модулі зі спеціальною арматурною сіткою, що встановлюються на тензометричні датчики.[5]

Платформи для поосьового зважування. Для завдань, де не потрібна максимальна точність комерційного обліку або бюджет є обмеженим, використовуються ваги для поосьового зважування. Вони складаються з короткої платформи (довжиною 6-8 метрів) або вузької "смужки" (ваги-смужка), на яку автомобіль заїжджає послідовно кожною віссю. Загальна маса автомобіля розраховується шляхом сумування навантажень від кожної осі. Перевагами такого підходу є значно менша вартість самої платформи та менші вимоги до площі фундаменту. Недоліком є потенційно нижча точність визначення загальної маси, яка залежить від рівності під'їзних шляхів та стабільності зупинки на платформі.

Підкладні (портативні) ваги – це найбільш мобільний та бюджетний варіант, що являє собою набір з декількох невеликих платформ, які встановлюються під кожне колесо або пару коліс автомобіля. Вони дозволяють організувати зважування практично в будь-якому місці на будь-якій відносно рівній поверхні (грунт, асфальт, бетон). Процес зважування відбувається шляхом послідовного наїзду кожною віссю на платформи, фіксації ваги та її підсумовування у вагопроцесорі. Через свою конструкцію та чутливість до нерівностей поверхні, підкладні ваги використовуються переважно для технологічного, а не комерційного зважування.[4]

1.4. Вимоги до монтажу ділянок динамічного зважування

На відміну від статичних ваг, де головну роль відіграє стабільність фундаменту, для систем WIM ключовим фактором, що визначає точність, є якість дорожнього полотна на ділянці вимірювання. Дорога в цьому випадку стає частиною вимірювальної системи. Будь-які нерівності викликають динамічні коливання підвіски автомобіля, що призводить до миттєвих змін навантаження на вісь, які фіксуються датчиками як "шум" і спотворюють результат.

Європейська специфікація COST 323, яка є де-факто стандартом у цій галузі, встановлює жорсткі вимоги до ділянки WIM [33]:

- рівність та гладкість дорожнього покриття на ділянці 50 метрів до та 25 метрів після датчиків повинно бути максимально рівним. Нерівності є головним джерелом динамічних коливань та похибок вимірювань;
- поздовжній ухил повинен бути мінімальним і постійним, ідеально менше 1% для ділянок найвищого класу точності (клас I), щоб уникнути перерозподілу навантаження між осями автомобіля;
- глибока колійність може призвести до фізичного руйнування крихких сенсорів та викликати ударні навантаження, що спотворюють вимірювання. Великі прогини дорожнього одягу впливають на повторюваність результатів та можуть призвести до втоми матеріалу датчиків;
- однорідність покриття, датчики повинні встановлюватися в однорідний шар асфальтобетону, без тріщин та швів у зоні монтажу;
- ділянка WIM повинна знаходитись на прямій ділянці дороги, подалі від перехресть, світлофорів, з'їздів та інших зон, де водії можуть прискорюватися, гальмувати або змінювати смугу руху. Це необхідно для забезпечення проїзду транспортних засобів з рівномірною швидкістю.

Недотримання цих вимог робить досягнення високої точності WIM неможливим, незалежно від якості самих датчиків.

Фундамент є основою стабільності та довговічності вагового комплексу. Його вибір залежить від типу ваг, геологічних умов ділянки та бюджету.

Естакадний (пандусний) варіант, вагова платформа встановлюється на висоті 30-40 см над рівнем дороги на окремі опорні бетонні блоки або стрічкові фундаменти. Для заїзду та з'їзду використовуються металеві або бетонні пандуси. Це найбільш економічний варіант з точки зору земляних та бетонних робіт. Він також забезпечує легкий доступ до тензодатчиків для обслуговування. Недоліком є більша площа, яку займає комплекс через пандуси, та потенційно менша пропускна здатність порівняно з вагами, встановленими врівень з дорогою.[6]

Фундаментний варіант (в приямок) використовується коли платформа ваг встановлюється врівень з дорожнім полотном у спеціально підготовлений залізобетонний приямок. Цей варіант є оптимальним для ділянок з обмеженим простором та забезпечує максимальну швидкість проїзду транспорту. Однак він вимагає значного обсягу земляних та бетонних робіт, а головне – надійної системи дренажу для відведення води з приямку. Накопичення вологи може призвести до корозії металоконструкцій та виходу з ладу електроніки, а взимку – до намерзання льоду, що заклинює платформу.[17]

Безфундаментний варіант застосовується для портативних або тимчасових ваг. Ваги встановлюються на спеціальну металеву опорну раму, яка, в свою чергу, розміщується на підготовленому рівному майданчику – бетонних плитах, асфальті або навіть щільно втрамбованій піщано-щебеневій подушці. Це найшвидший у розгортанні варіант, але найменш надійний. Неякісна основа може просідати під впливом навантажень та погодних умов, що призведе до постійного збивання показань ваг.

Монолітні та збірні фундаменти використовують для стаціонарних ваг найвищої надійності, які можуть бути стрічковими, плитними або у вигляді просторового армованого каркаса. Просторова конструкція є найнадійнішою, оскільки запобігає будь-яким зміщенням опорних точок тензодатчиків. Як альтернатива, існують збірні залізобетонні фундаменти заводського

виготовлення, які доставляються разом з вагами і монтуються за одну зміну, що значно прискорює введення об'єкта в експлуатацію.[30]

Вибір типу фундаменту є стратегічним рішенням. Неправильний вибір, зроблений без урахування геології ділянки (просідаючі ґрунти, високий рівень ґрунтових вод), може призвести до швидкого руйнування фундаменту, втрати точності ваг та необхідності дорогого ремонту. Таким чином, інженерно-будівельна складова є невід'ємною частиною забезпечення метрологічної надійності всієї системи.

РОЗДІЛ 2

АПАРАТНА АРХІТЕКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Сенсорні технології

Сенсори є первинними перетворювачами, що трансформують фізичну величину (силу тяжіння) в електричний сигнал. Вибір типу сенсора залежить від режиму зважування – статичного чи динамічного.

Тензорезистивні (тензометричні) датчики. Це основний тип датчиків для статичних та низькошвидкісних динамічних ваг. Їхній принцип дії базується на зміні електричного опору провідника (тензорезистора) при його механічній деформації разом із пружним елементом, на який діє навантаження.[26]

Характеристики тензодатчиків забезпечують високу точність, стабільність та лінійність при статичних навантаженнях, що робить їх стандартом для комерційного зважування.

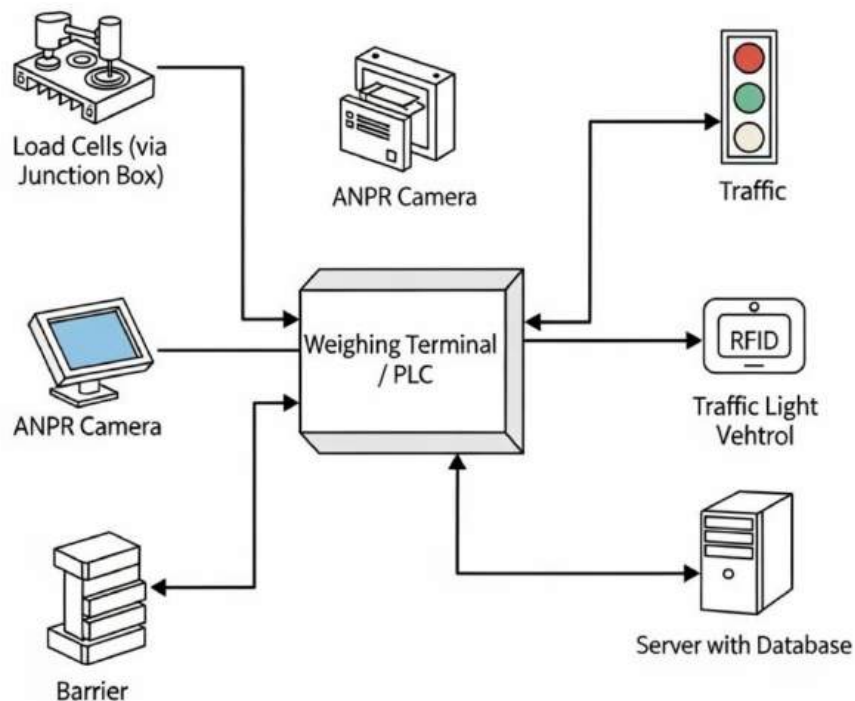


Рисунок 2.1 – Апаратна архітектура системи

Конструкція та виробники на ринку представлено безліч, що створює конкурентне середовище. Серед провідних – Keli (моделі ZSFY), Zemic (HM9B, HM14H1), HBM (C16) та Flintec (RC3). Часто моделі різних виробників є взаємозамінними аналогами.[27]



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд та комплектація тензодатчика Keli ZSFY-A 30t

Ключові технічні параметри (згідно з OIML R60) аналогового тензодатчика колонного типу Keli ZSFY-A 30t який застосовується для автомобільних, залізничних, бункерних ваг. Тензодатчик зроблений із високолегованої сталі, що забезпечує довготривалу експлуатацію навіть в агресивному середовищі. Сучасна система захисту IP68 запобігає проникненню вологи та пилу, а це зумовлюється повною герметизацією всієї конструкції тензодатчика. До комплектації входить екранований морозо-жаростійкий кабель із домішками, не

придатними для їжі гризунам. Високий температурний діапазон тензодатчика - 30 °C +70 °C передбачений для використання у важких кліматичних умовах.[27]

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики тензорезистивного датчика Keli ZSFY-A (30т)

Назва характеристики	Показник
Тип	Колонний (стержневий) аналоговий тензодатчик.
Призначення	Автомобільні, вагонні, бункерні ваги.
Номінальне навантаження (E _{max})	30 т.
Довжина кабелю	8-16м
Матеріал	Легована сталь / Нержавіюча сталь
Клас захисту	IP68
Максимальна напруга	15 В (DC)
Рекомендована напруга живлення	10~12 В (DC)
Руйнівне навантаження	250% НПВ
Гранично допустиме безпечне навантаження	150% НПВ
Діапазон робочих температур	-30~+70°C
Діапазон термокомпенсації	-10~+40°C
Опір ізоляції	≥5000 MΩ
Вихідний опір	352±3Ω(ZSF)/706±7Ω(ZSFY)
Вхідний опір	400±20Ω(ZSF)/700±20Ω(ZSFY)
Температура відхилення нуля	±0.02%НПВ/10°C
Температура відхилення чутливості	±0.02%НПВ/10°C
Повзучість (30 хв.)	±0.02% НПВ
Гістерезис	±0.03% НПВ
Загальна похибка	±0.03% НПВ
Чутливість	2.0±0.002 мВ/В
Клас точності	C3

П'єзоелектричні (кварцові) датчики є технологічною основою високошвидкісних систем WIM. Їхня робота базується на прямому п'єзоелектричному ефекті, коли кристали кварцу генерують електричний заряд, пропорційний прикладеній силі.

Характеристики п'єзодатчиків мають надзвичайно високу власну частоту, що дозволяє їм реагувати на дуже короткочасні імпульси від коліс автомобіля, що рухається. Вони міцні, мають чудову лінійність у широкому діапазоні навантажень та, що важливо для дорожніх умов, практично нечутливі до коливань температури та електромагнітних завад. Їхній основний недолік –

неможливість вимірювання статичних навантажень через поступовий витік згенерованого заряду.[25]



Рисунок 2.3 – П'єзоелектричний (кварцовий) датчик Kistler Lineas Type 9195G

Застосування в HS-WIM Для підвищення точності датчики встановлюються у кілька рядів (два або три), що дозволяє отримати кілька вимірювань для кожної осі та усереднити результат, зменшивши похибку.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики п'єзоелектричного (кварцового) датчика Kistler Lineas Type 9195G

Назва характеристики	Показник
Тип	Кварцовий датчик сили для динамічного зважування (WIM).
Призначення	Високошвидкісні системи WIM для моніторингу та прямого стягнення штрафів.
Технологія	П'єзоелектрична, на основі кристалів кварцу.
Клас точності (OIML R134)	2 (при похибці $\pm 1\%$).
Діапазон навантаження на колесо	0 - 150 кН.
Чутливість	$1.7 \pm 12\%$ пКл/Н.
Лінійність	$< \pm 1.0\%$ FSO.
Діапазон робочих температур	від -40 до $+80$ °C.
Температурний коефіцієнт чутливості	$-0.02\%/^{\circ}\text{C}$.
Клас захисту (EN 60529)	IP68.
Довжина сенсора	1.5 м / 1.75 м / 2.0 м.
Вимоги до монтажу	Встановлюється в дорожнє покриття за допомогою спеціального епоксидного компаунду під наглядом сертифікованого інженера.

Провідний виробник та модель: Лідером ринку є швейцарська компанія Kistler зі своєю лінійкою кварцових сенсорів Lineas, модель Type 9195G. Ці датчики сертифіковані за OIML R134, мають робочий діапазон температур від -40 до +80 °C та ступінь захисту IP68.

2.2. Пристрої збору даних та керування

Після перетворення фізичної сили в електричний сигнал, його необхідно обробити, обчислити вагу та передати для подальшого використання. Цю функцію виконують вагові термінали або програмовані логічні контролери. Вибір між ними є ключовим архітектурним рішенням.

Спеціалізовані вагові термінали – це пристрої, спеціально розроблені для ваговимірювальних завдань. Вони поєднують в собі аналого-цифровий перетворювач (АЦП), мікропроцесор для обчислень та дисплей для відображення результатів.[28]

Термінали виконують базові операції (зважування, тарування, обнулення), а також можуть мати розширені функції: зважування тварин, дозування, підсумовування, ведення архівів, підключення периферії (принтерів, сканерів, RFID-зчитувачів) через інтерфейси RS-232/485, USB, Ethernet.[11]

Найсучасніший ваговий термінал TWP-37 розробки та виробництва НВП «Техноваги». Обладнаний кольоровим 7” сенсорним дисплеєм із зручним інтуїтивно зрозумілим україномовним меню.

Використовується такий термінал як:

- архівуючий – може зберігати до 4 мільйонів записів з можливістю створювати довільні таблиці, такі як номенклатури товарів, операцій;
- для зважування в русі та статиці;
- при необхідності розширених комунікаційних можливостей;
- при необхідності роботи із програмою зважування користувача (PLC Скрипт);

- для підключення великого спектру додаткових пристроїв, наприклад: принтер, сканер, комп'ютер, клавіатуру, мишку, дублююче табло, , може здійснювати керування світлофорами, шлагбаумами, зчитувачами RF ID міток та чн.

Обладнаний інтерфейсами: RS-232 / RS-485 / RS-422, USB, Ethernet, WiFi (опція).

Прилад використовується для комплектації ваговимірювальної техніки ТЗОВ НВП «Техноваги»



Рисунок 2.4 – Ваговий термінал TWP-37 «Техноваги»

ТВП-25 – промисловий термінал для автомобільних та вагонних ваг з дворядковим дисплеєм та можливістю перегляду навантаження на кожному платформі окремо.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вагового терміналу "Техноваги"
TWP-37

Назва характеристики	Показник
Тип	Промисловий ваговий термінал з сенсорним керуванням.
Клас точності (ДСТУ EN 45501)	II, III.
Дисплей	TFT 7", кольоровий, сенсорний.
Клавіатура	Мембранна.
Інтерфейси	2xRS (RS-232/RS-485), Ethernet, 2xUSB 2.0 Type-A.
Підтримка периферії	Принтери чеків/етикеток, сканери штрих-кодів, RFID-зчитувачі, дублюючі табло, USB-накопичувачі, Wi-Fi адаптер.
Програмні режими	
Автомобільні ваги	статичне та динамічне зважування, визначення навантаження на вісь, швидкості руху.
Промислові ваги	зважування тварин, рахування деталей, контроль ваги (компаратор), ведення архівів.
Вагонні ваги	визначення зміщення центру мас.
Ступінь захисту	IP65 (панельне виконання), IP20 (настільне).
Діапазон робочих температур	від -10 до +40 °C.
Живлення	12-24 В DC.

Окрім звичайних функцій: зважування, тарування та ін. термінал для кожного типу ваг має додаткові можливості.

Для промислових ваг:

- зважування тварин;
- багатодіапазонні ваги;
- створення таблиць номенклатури та користувачів;
- статистика;
- рахування однакових деталей;
- контроль $\pm$ відносно маси еталону;
- тарування;
- можливість експорту архівів зважувань на USB Flash носій у форматі XML.

Для автомобільних ваг:

- зважування у статиці та в динаміці під час руху автомобіля;
- автоматичний та ручний режими зважування в русі;
- визначення загальної маси автомобіля;
- визначення навантаження на кожен вісь;
- визначення швидкості руху автомобіля;
- можливість введення номерних знаків автомобіля;
- архівування результатів зважування.

Для вагонних ваг визначення зміщення центру мас

Програмовані логічні контролери (ПЛК) – це промисловий комп'ютер, призначений для автоматизації технологічних процесів. У системі зважування ПЛК може виконувати набагато ширші функції, ніж просто обчислення ваги.

В системі ПЛК виступає як центральний керуючий пристрій, який не тільки отримує дані про вагу (від вагового терміналу або напряму від АЦП), але й керує всією логікою процесу: відкриттям/закриттям шлагбаумів, сигналами світлофорів, зчитуванням даних з RFID-зчитувачів та датчиків положення, а також обміном даними з системами верхнього рівня (SCADA, MES, ERP).

Перевагою системи є висока надійність, призначена для роботи в жорстких промислових умовах, модульність (можливість розширення входів/виходів), гнучкість програмування та потужні комунікаційні можливості. Використання ПЛК є доцільним, коли вагова є не ізольованим об'єктом, а інтегрованою частиною складного автоматизованого виробничого або логістичного ланцюга.

Для створення унікальних або вбудованих вагових приладів, де використання стандартних терміналів чи ПЛК є недоцільним, застосовується розробка на базі мікроконтролерів (МК), наприклад, STM32. Це передбачає проєктування власної електронної плати, підключення тензодатчиків через спеціалізований АЦП (наприклад, HX711, який містить підсилювач та 24-бітний АЦП) та написання низькорівневого програмного забезпечення для зчитування даних, калібрування та фільтрації.[32]

2.3. Підсистеми автоматизації

Для виключення людського фактора та створення повністю автоматизованого вагового комплексу необхідна інтеграція низки периферійних підсистем.

Ідентифікація транспортних засобів та автоматичне розпізнавання є ключем до автономної роботи.

ANPR (Automatic Number Plate Recognition) спеціалізовані відеокамери, часто з інфрачервоним підсвічуванням, здатні зчитувати та розпізнавати державні номерні знаки автомобілів вдень та вночі за будь-яких погодних умов. Розпізнаний номер автоматично прив'язується до результату зважування в базі даних.[2]

Сучасна технологія розпізнавання номерів, є потужним інструментом автоматизації та оптимізації транспортних процесів. Система розпізнавання автомобільних номерів від компанії Kobi Software пропонує ефективні рішення для виявлення, зчитування та аналізу автономерів, забезпечуючи точність і надійність у найрізноманітніших умовах.

Компанія Kobi Software розробила інноваційні рішення для автоматичного розпізнавання автомобільних номерів. Система базується на передовому програмному забезпеченні ZetPro VMS, що забезпечує інтеграцію з будь-якими IP-камерами через RTSP-протокол. Рішення ідеально підходить для об'єктів із невеликою кількістю камер (1-20), де важливі компактність, простота налаштування та економічність.

Інший варіант – інтеграція системи розпізнавання номерних знаків авто безпосередньо в камері. Камери ZetPro підтримують обробку даних на борту з точністю до 95%, розпізнають номери на швидкості до 170 км/год і можуть ідентифікувати не лише номери, а й марку, модель та колір автомобіля. Така система дозволяє зменшити навантаження на сервери й обробляти великі обсяги інформації одночасно.

RFID (Radio-Frequency Identification) система складається з RFID-міток (пасивних або активних), що кріпляться на автомобіль, та зчитувачів, встановлених біля вагової. При під'їзді автомобіля зчитувач автоматично ідентифікує його, що слугує сигналом для початку процедури зважування. Ця технологія особливо ефективна на закритих територіях (заводи, кар'єри, агропідприємства) з постійним парком транспорту.

Керування рухом та позиціонуванням через шлагбауми та світлофори. Ці пристрої, керовані ПЛК або ваговим терміналом, регулюють рух через ваговий комплекс. Вони забезпечують, щоб на платформі знаходився лише один автомобіль, і дозволяють рух лише після коректного завершення зважування.

Датчики положення, зазвичай це інфрачервоні бар'єри, встановлені по краях платформи. Вони контролюють, чи автомобіль повністю заїхав на ваги і чи не торкається він заїздних пандусів. Система може блокувати зважування доти, доки автомобіль не займе правильне положення, що унеможливорює спроби шахрайства.

Інтеграція цих підсистем в єдиний комплекс, керований центральним контролером, дозволяє створити повністю автономний ваговий пост, що працює 24/7 без участі оператора, забезпечуючи високу пропускну здатність, точність обліку та безпеку.

2.4. Передові методи цифрової обробки сигналів для забезпечення високої точності

Сигнал, що надходить від тензометричних або п'єзоелектричних датчиків, особливо в динамічних умовах, неминуче містить шуми та завади. Це можуть бути механічні вібрації, електромагнітні наводки від силового обладнання, температурний дрейф та інші фактори. Завдання цифрової фільтрації – виділити корисний сигнал з цього шуму. Цифрові фільтри, реалізовані програмно, є значно гнучкішими та стабільнішими, ніж їхні аналогові аналоги.

Фільтр ковзного середнього (Moving Average, MA). Це найпростіший алгоритм, який усереднює певну кількість останніх вимірювань (N) для отримання поточного значення. Він ефективно зменшує випадковий білий шум, але має суттєві недоліки: вносить значну затримку (фазовий зсув), що є критичним для динамічних систем, та погано справляється з придушенням певних частот (має повільний спад амплітудно-частотної характеристики). Існують адаптивні версії, які змінюють розмір вікна для покращення реакції на різкі зміни сигналу.

Фільтр Баттерворта (Butterworth Filter). Це тип рекурсивного фільтра (IIR – Infinite Impulse Response), відомий своєю максимально пласкою амплітудно-частотною характеристикою в смузі пропускання. Це означає, що він не спотворює корисний сигнал, пропускаючи його, і водночас забезпечує значно крутіший спад на частоті зрізу порівняно з MA-фільтром. Це робить його набагато ефективнішим для відсікання високочастотних завад. Фільтри Баттерворта широко використовуються для обробки біомедичних сигналів (наприклад, ЕМГ), які за своєю природою схожі на зашумлені сигнали від датчиків.

Фільтр Калмана. Це значно складніший, але й найефективніший алгоритм для оцінки стану динамічних систем. На відміну від простих фільтрів, які лише згладжують дані, фільтр Калмана є рекурсивним оцінювачем, що працює у два етапи.

Перший етап прогнозування (Prediction) на основі математичної моделі руху системи (наприклад, рівнянь динаміки автомобіля) та попереднього стану, фільтр прогнозує поточний стан (наприклад, вагу) та його невизначеність (коваріацію).

Другий етап оновлення (Update/Correction), Фільтр отримує нове, зашумлене вимірювання від датчика. Він порівнює це вимірювання з прогнозом і коригує прогнозований стан, надаючи більшу вагу тому значенню (прогнозу чи вимірюванню), яке має меншу невизначеність.

Цей цикл "прогноз-корекція" дозволяє фільтру Калмана оптимально оцінювати справжню статичну вагу на основі послідовності зашумлених динамічних вимірювань. Він є значно ефективнішим за звичайні фільтри для систем WIM, оскільки враховує фізику процесу, а не просто усереднює дані. Саме застосування таких складних алгоритмів дозволяє наблизити точність WIM-систем до рівня, придатного для прямого стягнення штрафів.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗВАЖУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТУ

3.1. Архітектурне проектування програмного комплексу

Сучасні системи зважування будуються за модульним, багаторівневим принципом, що забезпечує гнучкість, масштабованість та надійність. Типова архітектура включає декілька рівнів.

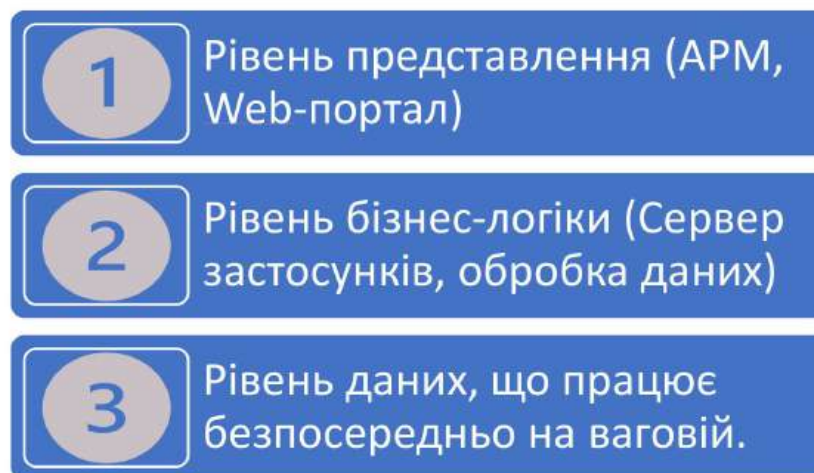


Рисунок 3.1 – Програмна трирівнева архітектура

Нижній рівень (Embedded/Local) – програмне забезпечення, що працює безпосередньо на ваговій. Це може бути прошивка вагового терміналу або програма для ПЛК. Його завдання – збір даних з датчиків в реальному часі, їх первинна обробка (фільтрація), керування локальною периферією (шлагбауми, світлофори, зчитувачі) та передача оброблених даних на верхній рівень.

Середній рівень (Back-Office Server) – центральний сервер, який є ядром системи. Він приймає та агрегує дані з одного або декількох вагових постів, зберігає всі дані у центральній базі даних, реалізує бізнес-логіку ведення довідників (автомобілі, вантажі, клієнти), формування звітів, управління

користувачами та їх правами доступу, надає програмні інтерфейси (API) для взаємодії з іншими системами.

Верхній рівень (Client Interfaces) програми для взаємодії користувачів із системою.

АРМ (Автоматизоване робоче місце) може бути десктопна або веб-програма ("web-портал") для адміністраторів, операторів, бухгалтерів. Вона надає інтерфейси для перегляду даних в реальному часі, формування звітів, налаштування системи, управління довідниками тощо.

Мобільний додаток для смартфонів, призначений для мобільних співробітників (інспекторів, водіїв, керівників), що забезпечує доступ до ключових функцій системи "в полі".[37]

3.2. Комунікаційні протоколи та інтеграція з корпоративними системами

Для того, щоб система зважування стала повноцінною частиною ІТ-інфраструктури підприємства, а не ізольованим "островом", необхідні стандартизовані протоколи зв'язку.

Промислові протоколи Modbus (RTU та TCP) – це де-факто стандартний протокол в промисловій автоматизації завдяки своїй простоті та надійності. Modbus RTU використовується для зв'язку по послідовних лініях (зазвичай RS-485), з'єднуючи ПЛК з ваговими терміналами, модулями вводу-виводу та іншими пристроями. Modbus TCP є його реалізацією поверх мереж Ethernet, що дозволяє інтегрувати промислове обладнання в загальну комп'ютерну мережу. Детальна карта регістрів Modbus для проектного вагового терміналу наведена на у таблиці 3.1.

Приклад запиту (Read Gross Weight):

- Slave Address: 0x01
- Function Code: 0x04 (Read Input Registers)
- Starting Address: 0x0000 (Регістр 30001)

– Quantity of Registers: 0x0002 (2 регістри для повної ваги)

Таблиця 3.1 – Карта регістрів Modbus для вагового терміналу

Адреса (Dec)	Адреса (Hex)	Регістр	Тип даних	R/W	Опис
Регістри вводу (Read Only)					
30001	0x0000	Gross Weight (High)	16-bit Int	R	Старший розряд ваги брутто (ціла частина)
30002	0x0001	Gross Weight (Low)	16-bit Int	R	Молодший розряд ваги брутто (дробова частина)
30003	0x0002	Net Weight (High)	16-bit Int	R	Старший розряд ваги нетто
30004	0x0003	Net Weight (Low)	16-bit Int	R	Молодший розряд ваги нетто
30005	0x0004	System Status	16-bit Flags	R	Бітове поле стану: Bit0: Стабільність, Bit1: Нуль, Bit2: Тара, Bit3: Перевантаження
Регістри зберігання (Read/Write)					
40001	0x0000	Command Register	16-bit Int	R/W	Регістр для відправки команд: 1=Тарувати, 2=Обнулити
40002	0x0001	Preset Tare (High)	16-bit Int	R/W	Встановлення значення попередньої тари (старший розряд)
40003	0x0002	Preset Tare (Low)	16-bit Int	R/W	Встановлення значення попередньої тари (молодший розряд)
40004	0x0003	Device ID	16-bit Int	R	Ідентифікатор пристрою в мережі
40005	0x0004	Baud Rate	16-bit Int	R/W	Налаштування швидкості передачі даних (кодоване значення)

Програмні інтерфейси REST (Representational State Transfer) API – сучасний архітектурний стиль для побудови веб-сервісів, що дозволяє різним програмним системам легко та платформно-незалежно обмінюватися даними через стандартні HTTP-запити (GET, POST, PUT, DELETE).

Серверна частина системи зважування надає REST API, який стає "універсальним перекладачем" для інших систем. Наприклад, корпоративна ERP-система або бухгалтерська програма може через простий HTTP-запит отримати дані про всі зважування за певний період, створити рахунок-фактуру або оновити складські залишки. Це усуває необхідність у ручному перенесенні даних та складних, крихких інтеграціях, роблячи бізнес-процеси гнучкішими та ефективнішими.

Таким чином, сучасна архітектура програмного забезпечення для вагових комплексів є багаторівневою, де кожен рівень виконує свої завдання – від обробки сигналів до надання зручних інтерфейсів користувачам та стандартизованих API для інтеграції в єдиний інформаційний простір підприємства.

3.3. Аналіз ключових національних та міжнародних стандартів

Нормативна база України у сфері ваговимірювальної техніки значною мірою гармонізована з міжнародними рекомендаціями Міжнародної організації законодавчої метрології (OIML), що спрощує як розробку вітчизняного обладнання, так і використання імпортованих компонентів.

ДСТУ OIML R 76-1:2014 "Ваги неавтоматичної дії". Цей стандарт є основоположним для всіх ваг, що виконують зважування у статичному режимі. Він є ідентичним міжнародній рекомендації OIML R 76-1 і встановлює класи точності

Ваги поділяються на чотири класи: спеціальний (I), високий (II), середній (III) та звичайний (III). Автомобільні ваги для комерційного обліку зазвичай належать до середнього (III) класу точності.

Метрологічні вимоги стандарту визначають такі параметри, як ціна повірочної поділки (e), найменша та найбільша границі зважування (Min, Max),

а також границі допустимої похибки (Maximum Permissible Error, MPE) для кожного класу точності.

ДСТУ OIML R 134-1:2010 "Прилади автоматичні для зважування дорожніх транспортних засобів у русі". Цей стандарт є специфічним для систем WIM і є ідентичним міжнародній рекомендації OIML R 134-1. Він регламентує класи точності для WIM. На відміну від R 76-1, тут класи точності позначаються числами (наприклад, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20), які відповідають відсотковій похибці.

Стандарт встановлює надзвичайно жорсткі вимоги до рівності зони зважування, ухилу та стану дорожнього покриття перед та після датчиків, оскільки це безпосередньо впливає на точність вимірювань.

Границі допустимої похибки встановлюються у відсотках від виміряної маси. Наприклад, для цілей габаритно-вагового контролю в Україні часто застосовується похибка до 10% для загальної маси та до 16% для навантаження на вісь.

COST 323 "Європейська специфікація WIM". Хоча це не офіційний стандарт, а технічна специфікація, COST 323 отримала широке міжнародне визнання і часто використовується як практичний посібник для класифікації та тестування WIM-систем. Специфікація визначає класи точності від A(5) (похибка $\pm 5\%$) до E(30) (похибка $\pm 30\%$) і чітко пов'язує їх з можливими сферами застосування:

Будь-який засіб вимірювальної техніки (ЗВТ), що використовується у сфері законодавчо регульованої метрології, повинен пройти встановлені державою процедури, які підтверджують його відповідність вимогам.

Технічний регламент це основний нормативно-правовий акт. "Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки", затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 94 від 13 січня 2016 року. Він встановлює суттєві вимоги до ЗВТ, які надаються на ринку та вводяться в експлуатацію.

Оцінка відповідності перед першим введенням в експлуатацію виробник або його уповноважений представник повинен провести процедуру оцінки відповідності ЗВТ вимогам технічного регламенту. Ця процедура виконується за допомогою так званих модулів оцінки відповідності:

Періодична перевірка засобів зважування, що вже перебувають в експлуатації. Порядок її проведення регулюється Наказом Мінекономрозвитку № 193 від 08.02.2016. Процедура включає зовнішній огляд, випробування та визначення метрологічних характеристик за допомогою еталонних гир.

Міжповірочний інтервал для автомобільних ваг в Україні встановлено Наказом Мінекономрозвитку № 1747 і становить 1 рік. Це означає, що щорічно власник ваг зобов'язаний проводити їх перевірку для підтвердження придатності до експлуатації.

Розуміння меж допустимих похибок є ключовим для оцінки придатності ваг для конкретного завдання.

Статичні ваги (OIML R 76-1) для ваг середнього класу точності (III), які найчастіше використовуються для зважування автотранспорту, границі допустимої похибки (MPE) при первинній повірці визначаються залежно від навантаження (m), вираженого в цінах повірочної поділки (e).

Таблиця 3.2 – Границя допустимої похибки ваги OIML R 76-1

Навантаження (m)	Границя допустимої похибки (MPE)
$0 \leq m \leq 500e$	$\pm 0.5e$
$500e < m \leq 2000e$	$\pm 1.0e$
$2000e < m \leq 10000e$	$\pm 1.5e$

Наприклад, для автомобільних ваг на 60 тонн з ціною повірочної поділки $e=20$ кг, при зважуванні вантажу масою 30 тонн ($m=1500e$), похибка не повинна перевищувати $\pm 1.0e$, тобто ± 20 кг. Під час експлуатації допустимі похибки подвоюються.

Динамічні системи WIM (OIML R 134-1) для систем WIM похибки значно вищі і виражаються у відсотках. Класи точності безпосередньо пов'язані з цими відсотками та сферою застосування.

Таблиця 3.3 – Динамічні системи WIM (OIML R 134-1)

Клас точності	Границя допустимої похибки (MPE)	Сфера застосування
A(5) / 5	$\pm 5\%$	Пряме стягнення штрафів (Enforcement), комерційні розрахунки (за умови дозволу законодавством)
B+(7) / B(10)	$\pm 7-10\%$	Попередній відбір (Pre-selection) для зупинки та перевірки, проєктування та обслуговування інфраструктури
C(15)	$\pm 15\%$	Детальні статистичні дослідження, аналіз навантажень на дорожнє покриття та мости
D(25) / E(30)	$\pm 25-30\%$	Загальна статистика трафіку, економічні дослідження, класифікація ТЗ за широкими ваговими категоріями

Ця класифікація чітко показує, що система WIM з похибкою 15% може бути абсолютно непридатною для виписування штрафів, але водночас бути цінним інструментом для збору статистичних даних. Таким чином, нормативна база не лише встановлює вимоги, але й створює логічну структуру для застосування різних технологій відповідно до їхніх можливостей та призначення.

3.4. Етапи впровадження системи

Створення складної автоматизованої системи є стандартним інженерним проєктом, який доцільно виконувати за визначеними стадіями, щоб забезпечити відповідність кінцевого продукту початковим вимогам та уникнути дорогих помилок на пізніх етапах.

Стадія 1. Передпроєктний аналіз та формування Технічного завдання (ТЗ). Це найважливіша стадія, що закладає фундамент усього проєкту. Вона включає:

- Обстеження об'єкта, детальне вивчення місця встановлення, технологічних процесів, транспортних потоків та існуючої інфраструктури.
- Формулювання вимог, спільна робота з замовником для визначення цілей автоматизації, необхідної пропускну здатності, класів точності, вимог до інтеграції з іншими системами тощо.
- Розробка ТЗ, складання офіційного документа – Технічного завдання, – який є юридичною та технічною основою для подальшої розробки. ТЗ повинно чітко визначати призначення системи, її функціональні характеристики, вимоги до надійності, умов експлуатації, а також стадії та порядок приймання робіт.

Стадія 2. Проєктування (Ескізний та Технічний проєкт). На цій стадії розробляються конкретні технічні рішення :

- Розробка проєктної документації, створення комплексу документів, що включає функціональні та структурні схеми, схеми електричні принципи, плани розташування обладнання, креслення фундаментів та кабельних трас.
- Специфікація обладнання, формування повного переліку необхідного обладнання, матеріалів та програмного забезпечення для закупівлі.

Стадія 3. Реалізація та Введення в експлуатацію. Ця стадія включає фізичне створення системи:

- Будівельно-монтажні роботи, влаштування фундаментів, монтаж вагової платформи, прокладання кабельних трас, встановлення всього апаратного забезпечення (датчиків, контролерів, шлагбаумів, камер).
- Пусконаладжувальні роботи, підключення та налаштування всього обладнання, встановлення та конфігурація програмного забезпечення, калібрування ваг.
- Навчання персоналу, інструктаж та навчання співробітників замовника роботі з новою системою.

- Дослідна експлуатація та попередні випробування роботи системи в тестовому режимі для виявлення та усунення можливих недоліків.

Стадія 4. Експлуатація та супровід. Після успішного завершення дослідної експлуатації система переходить у промислову експлуатацію :

- Приймальні випробування, офіційне приймання системи замовником.
- Гарантійне та післягарантійне обслуговування, технічна підтримка, регулярне обслуговування та ремонт системи протягом усього її життєвого циклу.

3.5. Інтеграція з Інтернетом речей (IoT) та хмарними платформами

Концепція IoT передбачає підключення фізичних пристроїв до глобальної мережі для збору даних та віддаленого управління. Застосування IoT та хмарних технологій до систем зважування створює так звану "розумну вагову" (Smart Weighbridge).

Хмарне програмне забезпечення та управління даними. Замість того, щоб зберігати дані на локальному комп'ютері вагової, сучасні системи передають всю інформацію на захищені хмарні сервери. Це надає низку фундаментальних переваг:

Віддалений доступ керівників, логістів, бухгалтерів до даних про зважування, звітів та навіть відео з камер у реальному часі з будь-якої точки світу через веб-портал або мобільний додаток.

Централізоване управління даними з десятків вагових комплексів, розташованих у різних регіонах, які можуть бути об'єднані в єдину аналітичну систему, що дає повну картину товаропотоків на рівні всієї компанії.

Надійність та безпека хмарних провайдерів забезпечить високий рівень захисту даних та резервного копіювання, що часто є надійнішим за локальну IT-інфраструктуру підприємства. Використання технології блокчейн може додатково забезпечити незмінність та прозорість записів про зважування.

Зниження витрат на ІТ тому що відпадає необхідність купувати та обслуговувати власні сервери, що переводить капітальні витрати в операційні за моделлю "оплата за використання".

Внесок у Smart Logistics та Smart Cities. Мережа IoT-вагових, інтегрованих у хмару, стає потужним джерелом "великих даних" (Big Data) для систем управління вищого рівня. Дані про вагу, інтенсивність та напрямки руху вантажних потоків у реальному часі можуть використовуватися для оптимізації логістичних маршрутів по всій країні, динамічного управління трафіком у "розумних містах" та для більш точного планування розвитку транспортної інфраструктури.

Таким чином, майбутнє систем зважування лежить у площині їхньої глибокої інтелектуалізації та інтеграції. Вони еволюціонують від ізольованих вимірювальних постів до ключових вузлів глобальної інформаційної мережі, що збирають, аналізують та надають дані для прийняття оптимальних рішень на всіх рівнях – від окремого підприємства до цілої держави.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Організація безпечного робочого місця для розробників веб-сайтів

Робота передбачає тривале перебування за комп'ютером, що може негативно вплинути на здоров'я при неправильній організації робочого місця. Саме тому створення безпечного, зручного та ергономічного робочого середовища є одним із ключових аспектів професійної діяльності. Цей фактор безпосередньо впливає не лише на фізичний стан спеціаліста, а й на рівень його продуктивності, якість виконаної роботи, а також на загальне самопочуття та емоційний стан протягом робочого дня. Ігнорування базових правил організації робочого простору може призвести до розвитку хронічних захворювань, що значно ускладнить професійну діяльність у майбутньому.

Правильне планування робочого простору починається з ретельного вибору підходящого столу та стільця. Важливо, щоб робочий стіл мав достатню площу для розміщення всього необхідного обладнання – комп'ютера, додаткових моніторів, клавіатури, миші, документів та інших робочих інструментів. Не менш важливою є правильна висота столу, яка має відповідати зросту користувача. Оптимальним вважається, коли під час роботи лікті утворюють прямий кут – це дозволяє знизити напругу у плечах та шії. Стілець повинен бути не просто зручним, а й регульованим за висотою та з підтримкою поперекового відділу хребта, що особливо важливо для запобігання болям у спині під час тривалого сидіння.

Монітор – це ключовий елемент робочого місця веб-розробника, тому його розташування має бути максимально продуманим. Рекомендується розміщувати екран на відстані 50-70 см від очей, щоб знизити навантаження на зір і запобігти втомі очей. Верхня частина монітора має знаходитися на рівні очей або трохи нижче, що дозволяє зберігати природне положення шії і голови, уникаючи постійного нахилу або закидання голови. Якщо використовується декілька

моніторів, основний екран слід розмістити прямо перед користувачем, а додаткові – збоку під невеликим кутом, щоб мінімізувати повороти голови та забезпечити комфортну роботу з усіма вікнами.

Клавіатура і миша – це інші важливі елементи робочого простору, які також повинні бути розташовані з урахуванням ергономіки. Клавіатура має знаходитися на рівні ліктів, щоб зап'ястя під час роботи залишалися у нейтральному положенні і не зазнавали надмірного навантаження. Миша повинна знаходитися поруч із клавіатурою на тому ж рівні, щоб запобігти зайвим рухам руки та плеча. Додатково рекомендується використовувати спеціальні підкладки для зап'ястя, які зменшують тиск на суглоби і можуть запобігти розвитку таких захворювань, як тунельний синдром.

Розташування робочого місця також має враховувати природне освітлення. Ідеально розміщувати його поблизу вікна, щоб максимально використовувати денне світло, що позитивно впливає на настрій і знижує втому очей. Водночас монітор не повинен стояти спиною до вікна або навпроти нього, оскільки це спричиняє появу бликів на екрані, що заважає зосередитися. Оптимальним є бокове розташування робочого столу відносно джерела природного світла, що дозволяє отримувати м'яке рівномірне освітлення.

У вечірній та нічний час доби особливу увагу потрібно приділяти штучному освітленню робочого місця. Рекомендується комбінувати загальне освітлення приміщення із локальним, яке безпосередньо висвітлює робочу поверхню. Настільна лампа має освітлювати документи та клавіатуру, не створюючи при цьому тіней та відблисків на моніторі. Таке правильне освітлення дозволяє підтримувати комфорт і зосередженість навіть під час роботи у вечірній час.

Окрім цього, дуже важливо регулярно перевіряти стан електричних пристроїв і кабелів на робочому місці. Усі пристрої повинні бути справними і підключеними через заземлені розетки для забезпечення безпеки користувача. Періодична перевірка цілісності кабелів допомагає запобігти коротким замиканням і потенційним пошкодженням техніки. Використання подовжувачів

слід мінімізувати, а якщо вони необхідні, то варто обирати якісні пристрої з захистом від перевантаження, щоб уникнути ризику пожежі та інших аварійних ситуацій.

Загалом, правильна організація робочого простору для веб-розробника – це комплексний процес, який потребує уваги до багатьох деталей. Впровадження базових принципів ергономіки, комфортне освітлення, безпечне електропостачання і відповідний вибір меблів дозволяють значно покращити умови праці. Це сприяє не лише збереженню здоров'я, а й підвищенню ефективності роботи, що в результаті позитивно відображається на кінцевих результатах проєктів.

4.2. Профілактика професійних захворювань при тривалій роботі за комп'ютером

При тривалій роботі за комп'ютером існують ризики розвитку проблем з органами зору, опорно-руховим апаратом, нервовою системою та загальним фізичним станом. Розуміння цих ризиків дозволяє своєчасно вжити профілактичних заходів та запобігти розвитку серйозних захворювань.

Однією з основних проблем є перевантаження опорно-рухового апарату, зокрема шийного та поперекового відділів хребта, а також рук і кистей. Постійне сидіння у статичній позі, неправильна організація робочого місця та недостатня фізична активність сприяють розвитку остеохондрозу, тунельного синдрому та м'язових спазмів. Для запобігання цим захворюванням рекомендується використовувати ергономічні меблі, які забезпечують правильне положення тіла, а також регулярно виконувати фізичні вправи для розминки.

Важливим фактором є також зорове навантаження, що може викликати синдром комп'ютерного зору. Довготривале фокусування на екрані спричиняє сухість очей, головний біль, зниження гостроти зору. Для профілактики

необхідно забезпечити правильне освітлення робочого місця, використовувати антивідблискові екрани та робити регулярні перерви з вправами для очей.

Психоемоційне навантаження, викликане високою концентрацією уваги та інтенсивним темпом роботи, також може призводити до розвитку стресу, втоми та порушень сну. Важливо дотримуватися режиму праці та відпочинку, планувати завдання таким чином, щоб уникати перевантажень, а також підтримувати позитивний мікроклімат у колективі.

Загалом, профілактика професійних захворювань при тривалій роботі за комп'ютером передбачає комплексний підхід: правильну організацію робочого місця, підтримку фізичної активності, зорову гігієну та психологічний комфорт. Впровадження цих заходів сприяє збереженню здоров'я працівників та підвищенню ефективності розробки веб-проектів.

4.3. Інструкція з охорони праці під час роботи за комп'ютером

Розробка веб-проектів, зокрема інтернет-магазинів, передбачає тривалу роботу за комп'ютером, що може спричиняти значне фізичне та психоемоційне навантаження на працівників. Одним із ефективних способів зменшення ризиків виникнення професійних захворювань є використання ергономічних засобів та принципів організації робочого місця.

Ергономіка – це наука про оптимізацію робочого середовища та інструментів для підвищення комфорту та продуктивності людини. У контексті розробки веб-проектів ергономічні рішення допомагають мінімізувати перенапруження м'язів, попередити розвиток проблем із опорно-руховим апаратом, а також покращити загальний стан здоров'я та самопочуття.

Основними ергономічними засобами є правильно підібрані меблі – регульоване крісло з підтримкою попереку, робочий стіл оптимальної висоти, а також підставки для ніг і монітора. Висота екрана повинна бути на рівні очей,

щоб уникнути перенапруження шиї. Клавіатура та миша мають розташовуватися так, щоб руки залишалися розслабленими, а зап'ястя – у природному положенні.

Крім меблів, важливим елементом є організація освітлення. Робоче місце має бути добре освітленим, бажано природним світлом, але без сліпучих відблисків на екрані. Використання антивідблискових екранів та спеціальних захисних окулярів допомагає знизити навантаження на очі.

Регулярні перерви та виконання фізичних вправ для розминки є важливою складовою ергономічного підходу. Це сприяє зниженню втоми, покращенню кровообігу і зменшенню ризику розвитку професійних захворювань.

Таким чином, застосування ергономічних засобів і принципів організації робочого місця під час розробки веб-проектів забезпечує комфорт, підвищує продуктивність працівників і сприяє збереженню їхнього здоров'я.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході виконання даної бакалаврської роботи було проведено комплексне дослідження теоретичних, апаратних, програмних, нормативних та економічних аспектів розробки автоматизованої системи зважування автотранспорту. Аналіз широкого кола джерел дозволив сформулювати низку ключових висновків, що синтезують результати дослідження та визначають сучасний стан і перспективи розвитку галузі.

Вибір між статичним та динамічним (WIM) методами зважування не є абсолютним, а диктується конкретним завданням. Статичне зважування залишається незамінним для комерційного обліку, де потрібна максимальна точність. Динамічне зважування, хоч і має нижчу точність, є безальтернативним рішенням для високоефективного моніторингу транспортних потоків та попереднього контролю перевантажень на автомагістралях.

Успішна реалізація автоматизованої системи зважування вимагає інтегрованого підходу, де інженерно-будівельні рішення (фундамент, дорожнє покриття), апаратне забезпечення (датчики, контролери) та програмний комплекс розглядаються як єдине ціле. Якість кожного з цих компонентів безпосередньо впливає на точність та надійність всієї системи. Зокрема, для WIM-систем якість дорожнього полотна є таким же критичним елементом, як і самі датчики.

Програмне забезпечення перетворилося з допоміжного інструменту на ядро сучасної системи. Алгоритми цифрової фільтрації (зокрема, фільтр Калмана для динамічних систем) є ключовими для отримання достовірних даних. Багаторівнева архітектура (embedded-server-client) забезпечує гнучкість та масштабованість, а стандартизовані інтерфейси (REST API) уможливають безшовну інтеграцію вагового комплексу в єдиний інформаційний простір підприємства, перетворюючи його на стратегічний вузол збору даних.

Критичність нормативного регулювання: Дотримання вимог технічних регламентів (Постанова КМУ №94) та національних стандартів (ДСТУ OIML R 76-1, ДСТУ OIML R 134-1) є обов'язковою умовою для легітимного використання

ваг у комерційній та правовій сферах. Процедури оцінки відповідності та щорічної періодичної повірки забезпечують довіру до результатів зважувань та захищають інтереси всіх учасників ринку.

Впровадження автоматизованої системи є економічно доцільним проєктом. Основний ефект досягається не стільки за рахунок економії на заробітній платі оператора, скільки за рахунок мінімізації втрат від людських помилок, запобігання розкраданням, підвищення пропускної здатності та оптимізації логістичних процесів.

Ключовий висновок роботи полягає в тому, що сучасний підхід до створення вагового комплексу – це не купівля окремих компонентів, а проєктування та впровадження інтегрованої системи. Не можна просто "купити ваги". Необхідно розробити комплексне рішення, де кожен елемент гармонійно взаємодіє з іншими. Найнадійніший фундамент не компенсує неякісні датчики; найточніші датчики безсилі без правильних алгоритмів фільтрації; найдосконаліше програмне забезпечення не має цінності без інтеграції з бізнес-процесами; і вся система є юридично нікчемною без дотримання метрологічних норм. Лише комплексний підхід, що враховує всі ці аспекти на етапі розробки технічного завдання, може гарантувати створення ефективного та надійного інструменту для бізнесу та держави.

На основі проведеного аналізу перспективних технологій можна виділити кілька напрямків для подальших наукових досліджень та розробок:

Розробка адаптивних алгоритмів на базі ШІ, створення та експериментальна перевірка гібридних моделей (наприклад, поєднання фільтра Калмана з нейронними мережами) для компенсації динамічних похибок WIM в реальному часі, що дозволило б досягти точності, достатньої для повсюдного комерційного використання.

Дослідження нових сенсорних матеріалів, пошук та випробування нових п'єзоелектричних, волоконно-оптичних або інших типів сенсорів, які були б дешевшими у виробництві, довговічнішими та простішими в монтажі, ніж існуючі кварцові датчики, при збереженні високих метрологічних характеристик.

Стандартизація API для вагових систем, розробка уніфікованого відкритого протоколу API для обміну даними між ваговими системами та корпоративним ПЗ. Це могло б значно спростити інтеграцію обладнання від різних виробників та стимулювати розвиток ринку сторонніх аналітичних додатків.

Застосування технології блокчейн дослідження можливостей використання блокчейну для створення децентралізованої та незмінної бази даних зважувань. Таке рішення могло б повністю усунути можливість шахрайства та забезпечити абсолютну довіру до даних з боку всіх учасників процесу (постачальник, перевізник, покупець, контролюючі органи).

Завершуючи, можна стверджувати, що автоматизовані системи зважування пройшли шлях від простих механічних пристроїв до складних кібер-фізичних систем, і їхня подальша еволюція буде нерозривно пов'язана з розвитком інформаційних технологій, штучного інтелекту та глобальних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизована вагова без участі оператора (вагаря). Agrocontrol. URL: <http://blog.agrocontrol.net/?p=4056> (дата звернення: 05.03.2025).
2. Автоматична система зважування "Прогрес плюс". VIS. URL: <https://vis.ua/product/sistema-avtomatizaczii-dlya-avtomobilnyh-vesov-s-fotofiksacziej/> (дата звернення: 10.03.2025).
3. Автомобільні ваги. ІННОВІННПРОМ. URL: <https://innovinnprom.com/galuzevi-rishennya/avtomobilni-vagy-2> (дата звернення: 15.03.2025).
4. Автомобільні ваги повісового зважування TMBBC. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=GAQ_OXcVeGc (дата звернення: 20.03.2025).
5. Автомобільні ваги, їх види та переваги. АСВІК. URL: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/7> (дата звернення: 25.03.2025).
6. Аналіз процесу зважування транспортного засобу під час його руху. Харків : ХНАДУ, 2020. URL: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_vcheniy_secretar/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%9C_%D0%A2%D0%A0%D0%90%D0%9D%D0%A1%D0%9F/%D0%90%D0%B2%D1%82_%D1%82%D0%B0_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82_2020/%D0%A0%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D1%8B_%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2/Vantazhnyy_transport.pdf (дата звернення: 30.03.2025).
7. Вага автомобільна. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вага_автомобільна (дата звернення: 04.04.2025).
8. Вага автомобільна 60 тонн. Компанія «Восток». URL: https://www.vostok.dp.ua/ukr/infal/vesy/vesy_60_t/ (дата звернення: 09.04.2025).

9. Ваги автомобільні тензометричні КОДА-А ТАСД. KODA. URL: <https://www.koda.ua/ukr/products/desc.html?id=1194> (дата звернення: 11.04.2025).
10. Ваговий термінал (вагопроцесор) ТВП-25 для автомобільних та вагонних ваг. Компанія «Автовес». URL: <https://www.avtoves.ua/ukr/catalog/vesovyye-terminaly/product.html?id=4543> (дата звернення: 03.03.2025).
11. Ваговий термінал TWP-37 «Техноваги». Техноваги. URL: <https://technowagy.com.ua/products/vagoprotsesor-twp-37/> (дата звернення: 07.03.2025).
12. Ваговий термінал KB. Компанія «Автовес». URL: <https://www.avtoves.ua/ukr/catalog/vesovyye-terminaly/product.html?id=4413> (дата звернення: 12.03.2025).
13. Ваговий термінал КОДА-II. Восток. URL: https://www.vostok.dp.ua/ukr/catalog/accessory/scale_out/product.html?id=718 (дата звернення: 17.03.2025).
14. Ваговий термінал TWP-25 "Техноваги". Техноваги. URL: <https://technowagy.com.ua/products/vesoprotsesor-tvp-25-tehnovagi/> (дата звернення: 22.03.2025).
15. Вагонні ваги (BBET). ЕЛВА. URL: <http://elva.com.ua/vagonnye-vesy/ua> (дата звернення: 27.03.2025).
16. Впроваджена система динамічного зважування транспортних засобів у русі WIM дає вагомі результати. Івано-Франківська обласна державна адміністрація. URL: <https://www.if.gov.ua/news/vprovadzheniya-systema-dynamichnoho-zvazhuvannia-transportnykh-zasobiv-u-rusi-wim-daie-vahomi-rezultaty> (дата звернення: 01.04.2025).
17. Встановлення автомобільної ваги. Способи установки автовагів. ТОВ Восток. URL: <https://www.vostok.dp.ua/ukr/info1/vesy/uav/> (дата звернення: 06.04.2025).
18. Застосування програмованих логічних контролерів (ПЛК) в автоматизованому управлінні. 6G Controls. URL:

- <https://www.6gcontrols.com/uk/applications-of-programmable-logic-controllers-plcs-in-automation-control/> (дата звернення: 08.04.2025).
19. Зважування в русі. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Зважування_в_русі (дата звернення: 10.04.2025).
 20. Інструкція з експлуатації автомобільних ваг. VIS. URL: <https://vis.ua/instruktsiia-z-ekspluatatsii-avtomobilnykh-vah/> (дата звернення: 02.03.2025).
 21. Комплектуючі для автоматизації вагових комплексів. KELI Sensor (Ningbo). URL: <https://keli.com.ua/product-category/komplektuyuchi/komplektuyuchi-dlya-avtomatizatsiyi-vagovih-kompleksiv/> (дата звернення: 06.03.2025).
 22. Методика захисту датчика динамічного зважування від фізичного зносу при колісутворення дорожнього покриття. Державне підприємство «ДерждорНДІ». URL: <https://nidi.org.ua/metodika-zahistu-datchika-dinamichnogo-zvaghuvannya-vid-fizichnogo-znosu-pri-koliutvorennia-doroghnogo-pokrittya> (дата звернення: 11.03.2025).
 23. МВВ № 1-337-03.07.08. Метрологія. Параметри вагові транспортних засобів. Методика виконання вимірювань. URL: http://www.asmap.org.ua/info/met_vv.pdf (дата звернення: 16.03.2025).
 24. Навіщо зважувати автомобіль?. Ватага. URL: <https://vataga.in.ua/navisho-zvazhuvati-avtomobil/> (дата звернення: 21.03.2025).
 25. П'єзоелектричний датчик. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/П'єзоелектричний_датчик (дата звернення: 26.03.2025).
 26. Промислові ваги, контролери, датчики. ВКФ БУЛАТ. URL: <http://www.bulat-vkf.com.ua/avto.php> (дата звернення: 31.03.2025).
 27. Тензодатчик SHM14K колонний з вузлом вбудови. Sierra. URL: <https://sierra.market/catalog/kolonnye/tenzodatchik-shm14k-kolonnyy-s-uzlom-vstroyki/> (дата звернення: 05.04.2025).
 28. Тензодатчики. Загальні відомості та принцип роботи тензодатчиків. АСВІК. URL: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/5> (дата звернення: 07.04.2025).

29. *Фундамент для автомобільних ваг.* Volvag. URL: <https://volvag.com.ua/katalogi/avtomobilni-vagi/p-21/> (дата звернення: 12.04.2025).
30. *Часті запитання.* Vagovi. URL: <https://vagovi.com.ua/faq/> (дата звернення: 04.03.2025).
31. *Що таке тензодатчик і як він працює.* Обрії Ізюмщини. URL: <https://obrii.com.ua/main/19502-shho-take-tenzodatchik-i-yak-vin-pratsyuje.html> (дата звернення: 08.03.2025).
32. PCov3r. *A simple library to provide control over the hx711 load cell module for STM32.* GitHub. URL: <https://github.com/PCov3r/HX711-STM32-Library> (дата звернення: 13.03.2025).
33. *COST 323 "Weigh-in-Motion of Road Vehicles" Final Report.* ISWIM. URL: https://www.is-wim.org/doc/wim_eu_specs_cost323.pdf (дата звернення: 18.03.2025).
34. *HS-WIM системи динамічного зважування автотранспорту.* VIS. URL: <https://vis.ua/product/wim-sistemy-dinamicheskogo-vzveshivaniya-avtomobilej/> (дата звернення: 23.03.2025).
35. Колісник В. В. *Розробка автоматизованої системи зважування вантажних автомобілів : кваліфікаційна робота магістра.* Вінниця : ВНТУ, 2021. URL: <https://docs.vntu.edu.ua/getfile.php/7269.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).
36. *Lineas quartz sensor.* Kistler Group. URL: https://assets.kistler.com.cn/SAPCommerce_Download_original/003-075e.pdf (дата звернення: 03.04.2025).
37. *WIM - системи динамічного зважування транспорту.* Компанія CEA. URL: <https://www.sea.com.ua/ua/weight-in-motion/> (дата звернення: 07.04.2025).
38. *WIM – як перспективний інструмент для Smart Cities.* Компанія CEA. URL: <https://www.sea.com.ua/ua/weight-in-motion/news/wim-ak-perspektivnij-instrument-dla-smart-cities/> (дата звернення: 11.04.2025).

ДОДАТКИ

Орієнтовний розрахунок вартості системи "під ключ"

Нижче наведено орієнтовний бюджетний розрахунок для проєкту "Розробка та впровадження автоматизованої системи зважування автотранспорту" на базі 60-тонних автомобільних ваг довжиною 18 метрів, встановлених в прямик. Ціни є орієнтовними, базуються на аналізі ринкових пропозицій в Україні станом на 2024-2025 рр. та можуть значно коливатися залежно від виробника, комплектації та складності робіт.

Розрахунок вартості системи

№	Компонент / Етап робіт	Опис	Кількість	Орієнтовна ціна за одиницю, грн	Орієнтовна вартість, грн
1	Будівельні та монтажні роботи				180 000 - 250 000
1.1	Будівельні роботи (фундамент)	Влаштування залізобетонного прямоку, включаючи земляні роботи, армування, бетонування (бетон В25), дренажну систему.	1 компл.	150 000 - 200 000	150 000 - 200 000
1.2	Монтаж та пусконаладження ваг	Монтаж платформи, встановлення та підключення датчиків, калібрування, здача в експлуатацію.	1 послуга	15 000 - 50 000	15 000 - 50 000
2	Вагове обладнання				450 000 - 600 000
2.1	Вагова платформа	Сталева або комбінована платформа, 18 метрів, навантаження 60-80 тонн.	1 шт.	380 000 - 450 000	380 000 - 450 000
2.2	Тензометричні датчики	Комплект аналогових колонних датчиків класу С3, IP68.	8 шт.	9 500 - 12 500	76 000 - 100 000
2.3	Ваговий термінал	Промисловий термінал з	1 шт.	13 000 - 25 000	13 000 - 25 000

		інтерфейсами RS-232/485, Ethernet.			
3	Система автоматизації				150 000 - 250 000
3.1	Програмований логічний контролер (ПЛК)	ПЛК для управління периферією (шлагбауми, світлофори, датчики).	1 шт.	10 000 - 25 000	10 000 - 25 000
3.2	ANPR-камери	Камера для розпізнавання номерних знаків з ІЧ-підсвічуванням.	2 шт.	28 000 - 38 000	56 000 - 76 000
3.3	RFID-система	UHF зчитувач дальньої дії та комплект міток.	1 компл.	15 000 - 25 000	15 000 - 25 000
3.4	Шлагбауми автоматичні	Шлагбаум з довжиною стріли 4-6 м, інтенсивного використання.	2 шт.	25 000 - 35 000	50 000 - 70 000
3.5	Світлофори та датчики положення	Комплект промислових світлофорів та інфрачервоних бар'єрів.	1 компл.	15 000 - 30 000	15 000 - 30 000
4	Програмне забезпечення				50 000 - 150 000
4.1	ПЗ "АРМ Вагяр"	Ліцензія на програмне забезпечення для обліку зважувань, ведення архівів, формування звітів.	1 ліц.	15 000 - 30 000	15 000 - 30 000
4.2	Розробка ПЗ для ПЛК та інтеграція	Розробка логіки керування для ПЛК та інтеграція всіх компонентів в єдину систему.	1 послуга	35 000 - 120 000	35 000 - 120 000
5	Певірка та сертифікація				20 000 - 40 000
5.1	Оцінка відповідності / Первинна певірка	Проведення процедури оцінки відповідності вимогам технічного регламенту.	1 послуга	20 000 - 40 000	20 000 - 40 000
	РАЗОМ, орієнтовна вартість проєкту				850 000 - 1 290 000

Даний розрахунок є орієнтовним. Остаточна вартість залежить від конкретного технічного завдання, обраних виробників обладнання, складності

інтеграції з існуючими системами замовника та регіону проведення робіт. Вартість розробки ПЗ може значно зрости у випадку складних кастомних вимог та інтеграції з ERP-системами рівня SAP/Oracle.

На замовлення Служби автомобільних доріг в Івано-Франківській області влаштовано WIM на дорозі Н-10 Стрий – Мамалига біля села Тяпче. Об'єкт за ефективністю входить до трійки лідерів в Україні.

«Встановлення цієї системи дало вагомий ефект, – за інформацією управління Укртрансбезпеки в Івано-Франківській області в автоматичному режимі за 2022 рік тут виявлено понад 500 транспортних засобів, при завантаженні яких не було дотримано габаритно-вагових норм. Власники транспорту сплатили понад 5,5 млн грн до Державного бюджету. Здебільшого це перевізники щебню, гравію, деревини та будматеріалів»