

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ДЯЧОК Борис Андрійович

**Комп'ютеризована система управління процесом
зважування на автомобільних вагах / Computerized system
for managing the weighing process on vehicle scales**

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКТ - 41
Б.А. Дячок

Науковий керівник
к.е.н., доцент А.М.Шевчук

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
"____" _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ДЯЧОК Богдан Андрійович

_____ (прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Комп'ютеризована система управління процесом зважування на автомобільних вагах / Computerized system for managing the weighing process on vehicle scales.

_____ керівник роботи

_____ к.е.н., доцент А.М. Шевчук

затверджені наказом по університету від «28» листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 15.05.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Технологічний процес зважування транспортних засобів.

2. Будова воговимірювальних комплексів.

3. Принцип дії автомобільних ваг.

4. Комплекс засобів автоматизації процесу зважування.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз технологічного процесу та об'єкта автоматизації.

2. Проектування комп'ютеризованої системи управління процесом зважування транспортних засобів.

3. Реалізація комп'ютеризованої системи управління процесом зважування на автомобільних вагах.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Будова стаціонарної статичної автомобільної виги.

2. Архітектура комп'ютеризованої системи управління.

3. Структура комп'ютеризованої системи управління.

4. Перехідний процес оптимізованої системи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

2

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Шевчук А.М.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу та об'єкта автоматизації	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Проектування комп'ютеризованої системи управління процесом зважування транспортних засобів	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Реалізація комп'ютеризованої системи управління процесом зважування на автомобільних вагах	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент

(підпис)

Дячок Б.А.

Керівник роботи

(підпис) к.е.н., доцент Шевчук А.М.

АНОТАЦІЯ

Дячок Б.А Комп'ютеризована система управління процесом зважування на автомобільних вагах. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі досліджено технологічний процес зважування транспортних засобів. Проаналізовано автомобільні ваги як об'єкти автоматизації. Досліджено комплекс технічних засобів автоматизації процесу визначення маси автомобіля. Розроблено модульну архітектуру комп'ютеризованої системи управління, що забезпечує централізований контроль та можливість масштабування. Обґрунтовано вибір компонентів системи з урахуванням вимог до точності та надійності вимірювань. Проведено моделювання роботи системи та оптимізовано параметри регулювання для забезпечення стабільної роботи.

ANNOTATION

Diachok, B.A. Computerized system for managing the weighing process on vehicle scales. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Bachelor» with the title 151 Automation and Computer-Integrated Technologies. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work investigates the technological process of vehicle weighing. Vehicle scales are analyzed as objects of automation. The study examines a set of technical tools for automating the vehicle mass determination process. A modular architecture of the computerized control system has been developed, ensuring centralized control and scalability. The selection of system components is substantiated, considering the requirements for measurement accuracy and reliability. System operation modeling has been performed, and control parameters have been optimized to ensure stable operation.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	8
1.1 Призначення та сфери застосування автомобільних ваг.....	8
1.2 Аналіз технологічного процесу зважування транспортних засобів...	9
1.3 Класифікація автомобільних ваг.....	11
1.4 Аналіз вимог до проєктованої системи.....	17
2. ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАЖУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	22
2.1 Дослідження комплексу засобів автоматизації процесу зважування.	22
2.2 Дослідження принципу дії автомобільної ваги.....	26
2.3 Розробка архітектури проєктованої системи.....	29
2.4 Обґрунтування вибору компонентів проєктованої системи.....	31
3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАЖУВАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ВАГАХ.....	42
3.1 Структура проєктованої системи.....	42
3.2 Моделювання роботи проєктованої системи.....	44
3.3 Оптимізація параметрів регулювання комп'ютеризованої системи процесу зважування.....	48
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТОК А Скрипт для оцінки перехідного процесу системи.....	58
ДОДАТОК Б Скрипт пошуку оптимальних параметрів регулювання.....	60

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дячок Б.А.			Комп'ютеризована система управління процесом зважування на автомобільних вагах / Computerized system for managing the weighing process on vehicle scales	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Шевчук А.М.					4	57
Консульт.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АВ – автомобільна вага;

АС – автоматизована система;

АСУ – автоматизована система управління;

КСУ – комп'ютеризована система управління;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ТП - технологічний процес;

БД – база даних;

ПЗ - програмне забезпечення;

ІС - інформаційна система;

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні тенденції розвитку автоматизованих систем управління (АСУ) спрямовані на підвищення ефективності та точності технологічних процесів у різних галузях промисловості та логістики. Однією з ключових складових таких систем є процес зважування, який відіграє важливу роль у контролі та обліку вантажоперевезень, оптимізації логістичних операцій та забезпеченні дотримання нормативних вимог. Зважаючи на це, розробка комп'ютеризованої системи управління (КСУ) процесом зважування за допомогою автомобільної ваги (АВ) є актуальним завданням, спрямованим на підвищення продуктивності та зменшення впливу людського фактора.

Автоматизація процесів зважування є важливим аспектом для підприємств, що займаються транспортуванням, виробництвом та зберіганням продукції, оскільки дозволяє підвищити точність вимірювань, зменшити ризик людських помилок і значно скоротити час на проведення зважувальних операцій. Традиційні методи обліку маси часто пов'язані з введенням даних в ручному режимі, що може спричиняти похибки, затримки та зниження продуктивності. Впровадження КСУ процесом зважування забезпечує автоматичний збір, обробку та аналіз даних, що сприяє підвищенню ефективності логістичних процесів та оптимізації ресурсів підприємства.

Мета кваліфікаційної роботи є розробка КСУ процесом зважування на АВ, яка забезпечує автоматизацію збору даних, їх обробку та збереження.

Поставлена мета обумовлює необхідність вирішення ряду завдань:

- провести аналіз технологічного процесу зважування транспортних засобів;
- провести аналіз автомобільної ваги як об'єкта автоматизації;
- дослідити комплекс технічних засобів автоматизації процесу зважування;
- розробити архітектуру проєктованої системи;
- обґрунтувати вибір компонентів КСУ
- оптимізувати параметри регулювання КСУ.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		6

Предметом дослідження є комп'ютеризована система управління АВ.

Об'єктом дослідження процес зважування транспортних засобів на АВ.

Методи дослідження - аналіз і синтез, математичне моделювання, методи системного аналізу та оптимізації, експериментальні дослідження.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості впровадження запропонованої системи на підприємствах, що використовують АВ для зважування транспортних засобів, що дозволить покращити контроль логістичних операцій, зменшити витрати часу на зважування та мінімізувати ризики помилок, пов'язаних з людським фактором.

Публікації.

Дячок Борис, Климів Віталій Комп'ютеризована система контролю маси транспортних засобів / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2025), Тернопіль, 2025. -с. 5-9.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення та сфери застосування автомобільних ваг

Автомобільні ваги (АВ) широко застосовуються у транспортній, будівельній, агропромисловій та інших сферах, де необхідний контроль маси транспортних засобів (ТЗ) та їх вантажів. Використання автоматизованих систем (АС) дозволяє забезпечити оперативний збір, обробку та збереження даних про результати зважування, що сприяє зниженню часу на проведення вимірювань та мінімізації можливих помилок [1-4].

Основними сферами застосування АВ є:

- логістика та транспорт – контроль ваги ТЗ перед виїздом на дороги загального користування для забезпечення дотримання нормативних обмежень;
- будівельна індустрія – зважування сировини, будівельних матеріалів та готової продукції;
- агропромисловий комплекс – контроль ваги зернових, кормів, добрив, сільськогосподарської продукції під час транспортування та зберігання;
- переробна та харчова промисловість – облік сировини, контроль маси готової продукції на етапах логістики та реалізації;
- металургія та гірничодобувна промисловість – зважування руди, металу та інших корисних копалин для оптимізації логістики та контролю відвантаження.

Основне призначення АВ – забезпечення точного вимірювання маси ТЗ разом із вантажем або без нього, що необхідно для ведення обліку, розрахунку транспортних витрат, запобігання перевантаженню та дотриманню встановлених нормативів [3, 5, 6].

Основною метою використання АВ :

- комерційний облік – визначення маси товарів для розрахунку вартості транспортування чи реалізації;
- контроль дотримання нормативів – перевірка відповідності ваги

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		8

транспорту встановленим обмеженням для запобігання перевантаженню;

- оптимізація логістики – визначення ефективного розподілу вантажів, що дозволяє мінімізувати витрати на перевезення;
- зниження ризиків шахрайства – запобігання спробам навмисного заниження або завищення маси товару.

1.2 Аналіз технологічного процесу зважування транспортних засобів

Технологічний процес (ТП) зважування на АВ складається з кількох етапів, що забезпечують точне визначення маси ТЗ та вантажу [7]. На початку процесу відбувається підготовка ТЗ до зважування. Водій має забезпечити правильне розташування автомобіля на платформі, щоб повністю зафіксувати його на ваговій поверхні. Для точності зважування важливо, щоб колеса автомобіля були правильно розташовані, і не було перекосів.

На даному етапі здійснюється реєстрація ТЗ, наприклад введення номера реєстраційного знака, даних водія або вантажу. Це може відбуватися за допомогою спеціальних АС, які інтегровані з базами даних (БД) або програмним забезпеченням (ПЗ) для обліку.

На наступному етапі ТП відбувається безпосереднє зважування ТЗ. Якщо зважування проводиться для визначення маси вантажу, спочатку потрібно зафіксувати масу порожнього автомобіля. Це дозволяє в подальшому вирахувати масу вантажу, шляхом віднімання значення ваги порожньої машини від загальної ваги навантаженого ТЗ. Після завантаження ТЗ вантажем, його знову заводять на платформу АВ. Вимірюється загальна маса ТЗ з вантажем. Цей етап дозволяє визначити загальний ваговий показник вантажу. Далі може проводитися обчислення маси вантажу. Для цього від загальної маси (вага транспорту з вантажем) віднімається маса порожнього ТЗ. Різниця між цими двома значеннями дає точну масу вантажів, які перевозяться.

Після завершення зважування проводиться реєстрація та документація результатів. Отримані дані фіксуються за допомогою АС або вручну, включаючи точну масу вантажу та ТЗ, час зважування та інші необхідні деталі. У випадку

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		9

потреби видається відповідний сертифікат або чек з результатами зважування.

Схема ТП наведена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – ТП зважування

В кінці ТП зважування можуть здійснюватися перевірки точності результатів. Наприклад, перегляд калібрування АВ або контроль відхилень від норми для певних типів вантажів.

Наведений ТП може бути автоматизований за допомогою КСУ та інтегрований з іншими системами і програмами для обліку вантажу та транспорту, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, підвищувати точність

вимірювань та зручність у процесі обробки даних.

Автоматизація ТП зважування за допомогою КСУ є важливим кроком у підвищенні ефективності облікових та логістичних процесів, що обґрунтовує актуальність та доцільність виконання даного дослідження.

1.3 Класифікація автомобільних ваг

Класифікація АВ проводиться за різними критеріями, що ґрунтуються на їх конструктивних особливостях, принципі дії, методі встановлення, сфері застосування, тощо [5-9]. Проведення класифікації дозволяє визначити їх особливості, та вимоги до інтеграції у КСУ процесом зважування ТЗ. Це дає можливість ефективно керувати процесом та забезпечувати необхідний рівень точності й контролю. Вибір відповідного типу ваг визначає методи обробки вимірювань і калібрування системи, що, у свою чергу, гарантує достовірність отриманих результатів.

За способом встановлення можна виділити АВ:

- стаціонарні - використовуються на підприємствах, митницях, логістичних центрах (рисунок 1.2). Вони вимагають спеціально підготовлених майданчиків з міцним фундаментом, який забезпечує стабільність конструкції та точність зважування.



Рисунок 1.2 – Стаціонарна АВ

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		11

– мобільні – використовуються для тимчасових або польових вимірювань, особливо в умовах, коли відсутнє постійне місце для моніторингу маси. Таке обладнання компактне, швидко встановлюється та легко транспортується. Портативні моделі часто застосовують для перевірки маси вантажу безпосередньо на дорозі або в місцях тимчасових зупинок (рисуюнок 1.3).



Рисуюнок 1.3 – Мобільна АВ

За принципом дії виділяють АВ:

– механічні – не потребують використання електроенергії, в процесі зважування застосовуються важелі та гирі для визначення маси (застаріла технологія). Є досить надійними але їх точність незначна.

– електронні – забезпечують цифрове вимірювання маси з високою точністю та можливістю передачі даних на дисплей. Забезпечують дистанційну роботу та автоматизовану обробку даних.

– комбіновані - поєднують механічні та електронні компоненти. Дозволяють працювати за відсутності електроенергії та при нестабільному підключенні до мережі.

За способом зважування:

– динамічні – дозволяють зважувати транспортні засоби в русі. Виготовляються у вигляді спеціальних платформ, забезпечуючи високу пропускну здатність і ефективність без необхідності зупинки автомобіля. Такі АВ зазвичай монтуються на дорогах, автострадах або в зонах з високим трафіком, де важливо швидко обробляти велику кількість ТЗ. Платформи для динамічного зважування можуть бути вмонтовані у дорожнє покриття або встановлюватися на

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

спеціальних конструкціях, що дозволяє не порушувати рух транспорту (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – АВ динамічного зважування

– статичні – вимагають зупинки автомобіля для зважування. Як правило, це платформи, на яких ТЗ повинен заїхати та повністю зупинитися для точного визначення його ваги. Такі системи зазвичай використовуються на складах, митницях, промислових підприємствах, де необхідна висока точність вимірювання ваги, але пропускна здатність не є критичною. Такі АВ монтуються на спеціальних майданчиках або стоянках, де автомобілі можуть зупинятися на зважувальній платформі для фіксації ваги (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Статична АВ

Основними елементами, які забезпечують функціонування АВ є різні датчики. Вони та принципи їх роботи визначають точність, надійність і тип

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

зважування (статичне чи динамічне). Тому класифікувати АВ можна за компонентами, що забезпечують зважування:

– тензометричні датчики – забезпечують вимірювання деформації матеріалу під впливом навантаження та перетворення цієї деформації в електричний сигнал. Застосовуються для статичного і динамічного зважування, вимірювання навантаження на осі.

– індуктивні датчики - вимірюють зміни індуктивності через взаємодію з металевими частинами. Застосовуються при вимірюванні осьового навантаження, розподілу ваги на осі.

– ємнісні датчики – за принципом роботи визначають зміну ємності між електродами в залежності від навантаження. Використовуються для зважування осей ТЗ та динамічного зважування.

– п'єзоелектричні датчики – використовують п'єзоелектричні властивості матеріалу, що генерує електричний заряд під впливом механічної деформації. Використовуються для зважування в русі.

– оптичні датчики - принцип роботи полягає у зміні оптичних характеристик (заломлення, дифузія світла) під впливом навантаження. Вимірюють деформації матеріалу у процесі зважування.

– магнітні датчики - використовують зміни в індукції або магнітному полі для вимірювання навантаження. Їх застосування включає спеціалізовані системи, де потрібно обчислювати сили магнітної взаємодії.

– силові датчики - вимірюють силу, що виникає при контакті вантажу з датчиком. Застосовуються в статичних або динамічних зважувальних системах.

– мікрохвильові датчики - вимірюють зміни у відбитому мікрохвильовому сигналі для визначення навантаження або деформації. Використовуються для безконтактного зважування, вимірювання змін в навантаженні без фізичного контакту з вантажем.

За способом встановлення АВ в залежності від їх конструктивних особливостей і місця розташування можна виділити:

– встановлення АВ в приямок - ваги, які монтуються в спеціально підготовлений отвір (приямок) в землі. Такий тип має низький профіль, що

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

дозволяє транспортним засобам заїжджати на них без зайвих підйомів або знижень. Прямок дозволяє зменшити висоту вантажівки відносно вагів, полегшуючи процес заїзду та зважування (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Встановлення АВ в прямок

– над поверхнею землі – ваги встановлюються на платформі з більшою висотою, але також передбачають наявність пандусів для зручного заїзду. Така конструкція дозволяє використовувати ваги для транспортних засобів, що мають низький дорожній просвіт, оскільки заїзд на платформу забезпечується плавними спусками або підйомами (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Встановлення АВ над поверхнею землі

АВ, розташовані над поверхнею, мають кілька переваг, таких як менший об'єм земляних та бетонних робіт, а також відсутність необхідності забезпечувати дренаж води з-під платформи ваг. Однак, одним з недоліків є потреба в додаткових площадках для пандусів, а також більш високе розташування автомобіля, що може створювати труднощі при обмеженнях по висоті. АВ, розташовані в прямку, займають меншу площу, що є важливим аспектом у випадку обмеженої території на підприємстві, і дозволяють розташовувати автомобіль на рівні землі. Проте, встановлення таких ваг потребує великих

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

обсягів земляних та бетонних робіт, а також забезпечення належного відведення води з приямку.

При виборі АВ необхідно враховувати ряд критеріїв, які забезпечать точність вимірювань та ефективність використання обладнання для конкретних потреб, зокрема:

– максимальна вантажопідйомність - ваговий діапазон, який відповідає максимальному можливому навантаженню ТЗ. Якщо потрібно зважувати легкові автомобілі, ваги з вантажопідйомністю до 10 тонн будуть достатніми. Для вантажних автомобілів або великогабаритної техніки оптимальним вибором АВ з вантажопідйомністю від 30 до 80 тонн.

– тип конструкції – залежить від умов експлуатації. Стаціонарні пристрої зазвичай встановлюються на підприємствах, митницях чи логістичних центрах, забезпечуючи стабільність і точність. Мобільні моделі, натомість, дозволяють легко транспортувати обладнання для перевірки ваги на різних локаціях, що зручно для тимчасових перевалок або польових робіт.

– точність вимірювання - для забезпечення високої ефективності. Для таких сфер, як склади, виробництво та логістика, де важлива точність вимірювань, рекомендується вибирати сучасні електронні ваги. Вони забезпечують високу точність і надійність результатів, що важливо для ведення точного обліку товарів та уникнення помилок у документації.

Вибір АВ залежить від того, де саме будуть використовуватися ваги. У сільському господарстві часто використовуються платформні ваги, оскільки вони зручні для зважування сільськогосподарської техніки та вантажів. У той час як в будівництві для зважування важких вантажів чи спецтехніки підійдуть потужні електронні системи з високою вантажопідйомністю та точністю.

Проведена класифікація АВ дозволяє сформувати вимоги до КСУ зважування та забезпечити її ефективну інтеграцію в робочі процеси підприємств.

Для КСУ процесом зважування ТЗ обрано статичну стаціонарну АВ, оскільки вона забезпечує високий ступінь точності вимірювань, стабільність роботи та можливість поєднання з АС обліку й контролю. Такий тип АВ є оптимальним для підприємств, митниць та логістичних центрів, де необхідно

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

здійснювати точний контроль за масою вантажів та вести детальний облік зважувань. Крім того, стаціонарна конструкція дозволяє реалізувати комплексну автоматизацію процесу, включаючи ідентифікацію ТЗ, передачу даних у бд та формування звітності.

1.4 Аналіз вимог до проєктованої системи

Використання АВ забезпечує ряд переваг, серед яких точний контроль маси ТЗ та грузів, облік перевезених вантажів, висока точність вимірювань, можливість адаптації до різних умов експлуатації та широкий функціонал. Завдяки цим характеристикам АВ є універсальним інструментом для масових вимірювань у різних галузях виробництва та логістичних системах. Незважаючи на значні переваги використання АВ, традиційні методи зважування мають певні недоліки:

- вплив людського фактору – може викликати похибки під час ручного введення даних;
- тривалість процесу – необхідність додаткового часу на запис і обробку інформації;
- відсутність централізованого контролю – розрізненість даних у різних системах підприємства;
- можливість маніпуляцій – фальсифікація даних у паперових або ручних записах.

Шляхом розв’язанням цих проблем є впровадження КСУ процесом зважування, яка дозволяє автоматизувати всі етапи вимірювань, зменшити похибки та інтегрувати дані з іншими ІС підприємства.

Автоматизація процесу зважування на АВ стає необхідністю не лише для великих підприємств із високим транспортним потоком, а й для малих і середніх компаній. Раніше подібні технології впроваджувалися переважно на великих промислових та логістичних комплексах, де зважування є важливим етапом виробничих і транспортних процесів. Проте сучасні тенденції розвитку АСУ, комп’ютерно-інтегрованих систем та технічних засобів автоматизації (ТЗА) сприяють їх активному впровадженню навіть у менш масштабних виробництвах.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

Особливість КСУ полягає у поєднанні технологій АСУ, систем відеоспостереження, ІС і систем управління контролем доступу (СКУД). Це вимагає комплексного підходу до інтеграції різних технологій в єдину ІС підприємства. Складність впровадження таких рішень часто пов'язана з необхідністю врахування особливостей ПЗ, апаратних засобів та комунікаційних протоколів, що використовуються у процесі зважування.

Основними завданнями автоматизації зважування є:

- підвищення точності вимірювань – виключення похибок, пов'язаних із людським фактором при зчитуванні та внесенні даних.
- оптимізація логістичних процесів – прискорення процесу зважування та автоматизація фіксації результатів у базах даних.
- контроль нормативних вимог – запобігання перевантаженню транспортних засобів та дотримання вимог безпеки.
- захист від шахрайства – виключення маніпуляцій із результатами зважування, що може бути критично важливим для комерційних та митних операцій.
- інтеграція з ІС підприємства – можливість автоматизованої передачі даних до бухгалтерських, складських і транспортних програм.

Серед вимог до проєктованої КСУ зважуванням ТЗ можна виділити основні:

- точність вимірювань.
- швидкість обробки даних.
- зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача.
- автоматичне калібрування.
- дистанційне управління.
- інтеграція з іншими системами.
- енергозбереження та надійність.
- модульність та масштабованість.

Проєктована КСУ повинна забезпечувати високу точність вимірювання маси ТЗ, з можливістю автоматичного калібрування вагових датчиків для забезпечення стабільної точності вимірювань без необхідності в ручному втручанні для підтримки роботи при різних умовах експлуатації. Такж система

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		18

повинна забезпечувати обробку даних у реальному часі, що дозволить оперативно визначати масу ТЗ та вантажів і забезпечувати швидке зважування на великих обсягах.

Система повинна забезпечувати для операторів можливість відображення результатів зважування та доступу до додаткової інформації, такої як час зважування, номер ТЗ, тип вантажів тощо. Необхідна можливість дистанційного моніторингу та управління роботою системи, а також віддалений доступ до збережених даних для подальшого аналізу.

КСУ повинна мати можливість інтегруватися з іншими ІС та обліковими системами підприємства (наприклад, для автоматичного збереження даних, передачі інформації про вантаж або перевізника).

Важливим параметром КСУ є енергоефективність та можливість роботи без збоїв при тривалому використанні, забезпечуючи стабільну роботу в умовах інтенсивного навантаження. Також повинні враховуватися зовнішні фактори, такі як температурні коливання, вологість, вплив механічних навантажень тощо, для забезпечення точності вимірювань в різних умовах.

Проектована система повинна мати модульну архітектуру, що дозволяє легко додавати нові функціональні можливості та масштабувати систему під зростаючі потреби. Необхідно забезпечити захист даних зважування від втрат, помилок або несанкціонованого доступу, а також передбачити можливість архівування даних на сервері.

Автоматизовані вагові системи можуть містити широкий спектр функцій, включаючи розпізнавання ТЗ, контроль доступу на вагову платформу, ідентифікацію водія та автоматичне внесення даних у систему управління підприємством. Впровадження таких рішень не лише підвищує точність і швидкість вимірювань, але й сприяє загальному підвищенню ефективності логістичних і виробничих процесів.

Основними параметрами контролю в КСУ зважування ТЗ є:

- маса ТЗ - основний параметр, що визначає точність зважування на основі даних тензOMETричних датчиків;
- температура та вологість - можуть впливати на точність вимірювань,

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

тому їх контроль необхідний для корекції результатів;

- швидкість зважування - визначає швидкість обробки сигналів та отримання результатів;

- напруга живлення – є важливою для стабільної роботи датчиків.

Параметри управління включають:

- корекцію показників - автоматичне коригування результатів з урахуванням зовнішніх впливів;

- інтерфейс для оператора - для введення параметрів та моніторингу роботи системи;

- обробка та передача даних - опрацювання результатів і їх передача до облікових систем.

Параметрами регулювання у КСУ є:

- підвищення точності вимірювань - корекція чутливості датчиків для досягнення точних результатів;

- калібрування параметрів для компенсації зовнішніх впливів;

- коригування нульових значень - усунення зсувів через тривалу експлуатацію датчиків.

Автоматизація зважувальних операцій є важливим етапом цифрової трансформації підприємств, що працюють у сфері транспорту, логістики, агропромислового комплексу, будівництва та інших галузей. Завдяки використанню ваг можна точно визначити масу вантажу, що дозволяє уникнути перевантажень, штрафів і зменшує витрати на обслуговування транспорту. Визначення точного навантаження на осі дозволяє уникнути нерівномірного навантаження, що зменшує знос ключових елементів ТЗ та забезпечує довший термін його експлуатації. Регулярне зважування транспорту дає можливість контролювати дотримання обмежень щодо допустимої маси вантажу, що забезпечує відсутність штрафів за порушення вагових норм.

Впровадження КСУ дозволяє автоматизувати процеси зважування ТЗ, що знижує рівень помилок через відсутність потреби в ручному введенні даних, та підвищує пропускну здатність, зменшуючи час на кожне зважування.

Запропонований підхід до розробки та впровадження КСУ процесом

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

зважування дозволяє забезпечити надійний контроль масових параметрів вантажів, підвищити продуктивність праці та зменшити ризики, пов'язані з перевантаженням транспорту та можливими фінансовими втратами.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАЖУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Дослідження комплексу засобів автоматизації процесу зважування

Автоматизація процесу зважування на АВ забезпечується комплексом апаратних і програмних засобів (рисунок 2.1) [10], який дозволяє забезпечити виконання наступних операцій та процесів, що виконувалися оператором вручну:

- введення ваги в програмне забезпечення (ПЗ) та базу даних (БД), розрахунок маси нетто;
- зчитування номерного знака автомобіля та його введення вручну;
- контроль положення автомобіля на вагах;
- управління рухом транспорту через вагову систему тощо.

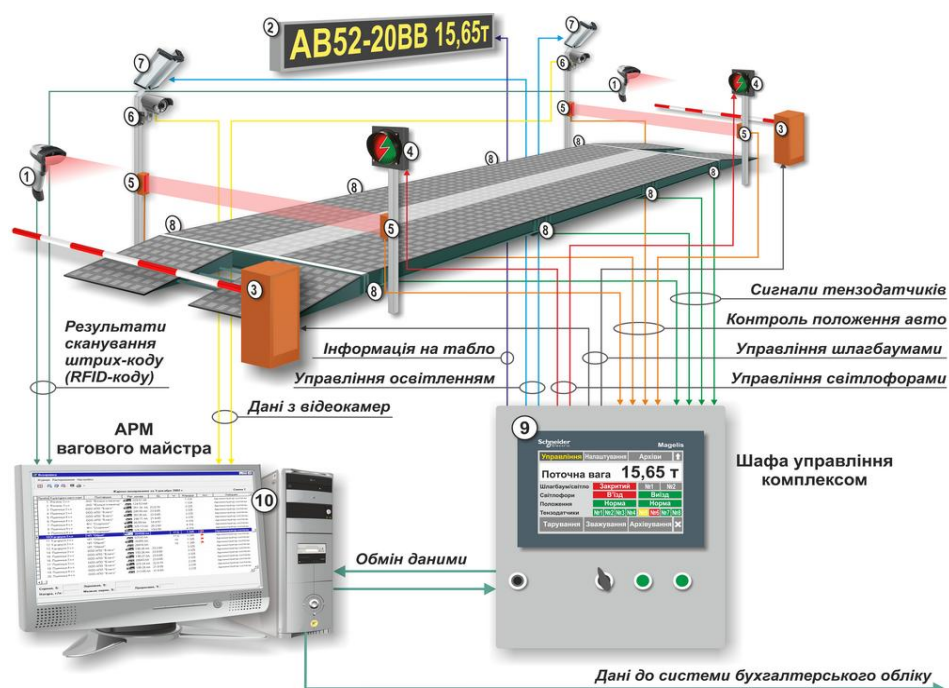


Рисунок 2.1 - Ваговимірювальний комплекс

На рисунку 2.1 позначено:

- 1 - сканер штрих-коду або зчитувач RFID-мітки;
- 2 – табло для виводу інформації;
- 3 - шлагбаум;
- 4 - світлофор;

- 5 - датчик контролю розташування;
- 6 - відеореєстратор;
- 7 – прилади для освітлення;
- 8 – датчики вимірювання ваги тензометричні;
- 9 - шафа управління АС, що має вбудований контролер та панель керування;
- 10 - АРМ вагового оператора обладнане ПК.

Використання такого комплексу спрямована на підвищення точності, швидкості та зменшення впливу людського фактора під час зважування транспортних засобів. АС отримує дані безпосередньо з вагового обладнання та передає їх у БД без додаткового втручання людини, що усуває можливі помилки при ручному введенні. Розпізнавання номерів відбувається з використанням камер та алгоритмів комп'ютерного зору. Це дозволяє автоматично ідентифікувати автомобіль та зіставляти його з відповідним записом у БД. Система використовує датчики положення, щоб визначити, що автомобіль правильно розташований на платформі ваг. Оскільки неправильне розміщення ТЗ, наприклад, він частково з'їхав із платформи, може призвести до отримання некоректних даних. Автоматизовані шлагбауми, світлофори та сигнальні пристрої можуть контролювати рух ТЗ на в'їзд та виїзд з вагової зони, зменшуючи затримки та покращуючи логістичні процеси.

Автоматизація зважування забезпечує значне підвищення ефективності процесу та мінімізує ризики, пов'язані з людськими помилками, неточностями та можливими махінаціями при зважуванні.

Часто оператори можуть припуститися помилок при записі показань ваг, особливо коли дані заносяться вручну, що може призвести до некоректних результатів зважування та проблем з обліком і звітністю. На підприємствах, де немає належного контролю, існує ризик маніпуляцій з боку працівників при відвантаженні або прийманні вантажів. Це може включати заниження ваги товару або підробку даних, що призведе до фінансових втрат та юридичних наслідків.

Без АС неможливо отримати цифрові записи всіх операцій зважування, що ускладнює ведення претензійної роботи з контрагентами. Відсутність точних

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

даних про час, дату та вагу товару може вплинути на ефективність вирішення спірних ситуацій. Вручну вести процес зважування, особливо при великих обсягах транспорту та товарних потоків, вимагає значних трудозатрат, що не лише знижує загальну ефективність роботи, але й збільшує витрати на персонал.

На підприємствах, які працюють в умовах сезонних коливань попиту, наприклад у аграрному секторі, часто виникає потреба в швидкій і точній обробці великої кількості автомобілів за короткий проміжок часу. Недостатня пропускна здатність ваг у таких умовах призводить до затримок і втрат у бізнес-процесах. Коли процес руху транспорту через ваги не регулюється належним чином, виникають затори, затримки та неефективне використання ресурсів. Це також підвищує ризик помилок і упущень, що негативно позначається на загальних результатах роботи підприємства.

Автоматизація процесу зважування допомагає усунути ці проблеми, підвищити точність даних, покращити контроль і знизити навантаження на персонал, що, в свою чергу, збільшує загальну ефективність підприємства.

Автоматизація процесу зважування не завжди виправдана, і є ряд ситуацій, коли впровадження АС може бути надмірним або малопридатним. Якщо через ваги проходить мінімальна кількість автомобілів, економічний ефект від автоматизації буде низьким. У таких випадках може бути достатньо ручної роботи оператора, оскільки витрати на впровадження КСУ не виправдають себе.

В деяких випадках помилки оператора при записі показників можуть не бути критичними для бізнесу. Наприклад, коли різниця в вазі не впливає на фінансові розрахунки або інші важливі процеси. У таких випадках автоматизація може бути нецілеспрямованою, оскільки витрати на систему автоматизації не виправдають потенційні вигоди.

У разі використання переносних або осьових статичних ваг, які призначені для роботи в обмежених умовах або на тимчасових об'єктах, впровадження складної АСУ може бути недоцільним. Такі ваги зазвичай використовуються для швидкого та тимчасового зважування, і в цих умовах автоматизація може бути зайвою.

Важливим етапом автоматизації є проектування системи. Він є ключовою

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		24

частиною впровадження, оскільки система автоматизації для ваг є комплексною модульною системою, склад і поведінка якої можуть значно змінюватися в залежності від конкретних умов і об'єкта впровадження. Процес проектування дозволяє врахувати специфічні потреби підприємства, оцінити поточні умови роботи і розробити оптимальну конфігурацію системи, яка буде відповідати всім вимогам щодо точності, швидкості роботи та ефективності.

Основними компонентами системи АВ, що утворюють комплекс ТЗА, який забезпечує точне, надійне та автоматизоване зважування ТЗ є:

– вагова платформа – це основна частина ваг, на якій розташовується транспортний засіб для зважування. Вагова платформа може мати різні розміри та конфігурації залежно від типу ТЗ, які будуть зважуватися (легкові автомобілі, вантажівки тощо). Вона повинна бути міцною і стійкою до великих навантажень.

– датчики – це пристрої, які вимірюють навантаження на ваговій платформі. Вони можуть бути встановлені під платформою або вбудовані в її конструкцію. Датчики можуть працювати на основі різних технологій, наприклад, тензOMETричних датчиків, які реєструють деформацію матеріалу, що виникає під впливом сили, що діє на платформу.

– електронний блок управління – це центральний пристрій, який отримує сигнали від датчиків ваги, обробляє їх і передає відомості про масу на індикатор. Блок управління забезпечує точність зважування та може бути налаштований для компенсації зовнішніх впливів, таких як зміни температури.

– індикатор – пристрій, який виводить результат зважування. Індикатор може бути розташований безпосередньо на ваговій платформі або окремо від неї, залежно від потреб користувача. Індикатор може бути оснащений дисплеєм для відображення маси вантажу, а також мати додаткові функції, такі як збереження даних.

– кабелі та інші комплектуючі – це елементи, що забезпечують з'єднання між платформою, датчиками ваги, електронним блоком управління та індикатором. Кабелі передають сигнали від датчиків до блоку управління та індикатора, забезпечуючи ефективну та надійну передачу даних.

Допоміжні пристрої включають засоби управління рухом, обмеження руху

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

та автоматичне розпізнавання номерних знаків, тощо. Вони забезпечують правильне позиціонування ТЗ на платформі, запобігають неконтрольованому руху у процесі зважування та автоматично ідентифікують автомобілі, що дозволяє інтегрувати ваги з ІС підприємства для автоматизації процесу зважування.

2.2 Дослідження принципу дії автомобільної ваги

Принцип дії АВ базується на законі Гука, який описує поведінку матеріалів при деформаціях під дією зовнішніх сил [1, 4]. Згідно з цим законом, деформація (розтягнення або стиснення) матеріалу пропорційна силі, що на нього діє, при умові, що ця сила не перевищує межу пружності матеріалу. Це означає, що чим більша сила, тим більша деформація, але тільки в межах, де матеріал ще здатен повернутися до свого початкового стану після припинення дії сили. Закон Гука можна виразити математично так:

$$F = k \cdot x,$$

де: F - сила, що діє на матеріал (в Н),

k - коефіцієнт пружності або жорсткості матеріалу (в Н/м),

x - деформація матеріалу (розтягнення або стиснення) в метрах.

Положення включають також наступні поняття:

– лінійна залежність - до певної межі, яку називають «межа пропорційності», сила і деформація матеріалу лінійно пов'язані, тобто, при подвоєнні сили подвоюється й деформація.

– пружність матеріалу - згідно з законом Гука, матеріал повертається в свій початковий стан, якщо сила, що діяла на нього, не перевищує певної межі. Якщо ж сила занадто велика, матеріал може деформуватися неоправно, що називається «пластичною деформацією».

Для АВ, закон Гука застосовується для роботи датчиків, зокрема тензодатчиків, які реєструють деформацію, яка виникає в матеріалі під дією сили, наприклад, ваги ТЗ. Вони використовують зміни в електричному опорі матеріалу, які пропорційні механічній деформації, щоб виміряти силу, що впливає на матеріал. Це дозволяє визначити вагу автомобіля або інших об'єктів на платформі.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

На рисунку 2.2 наведено приклад будови та принципу дії стаціонарної статичної АВ.

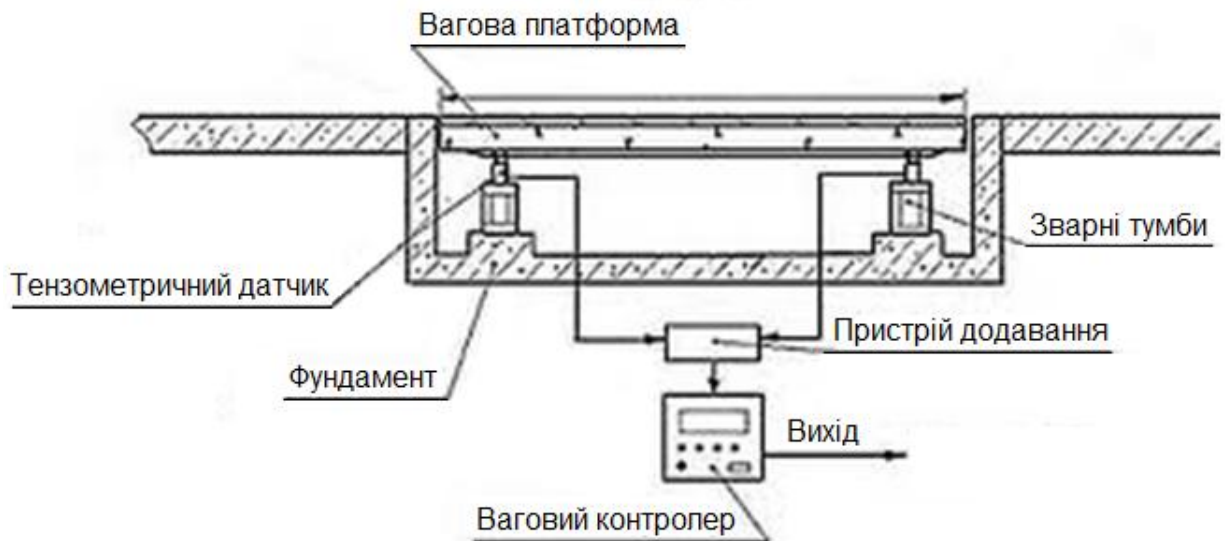


Рисунок 2.2 – Будова та принцип дії АВ

Вагова платформа є основною механічною конструкцією, яка сприймає навантаження від ТЗ. Фундамент та зварні тумби забезпечують стійкість і правильне розташування всієї конструкції.

На рисунку 2.3 наведена схема динамічної мобільної АВ [8, 11].

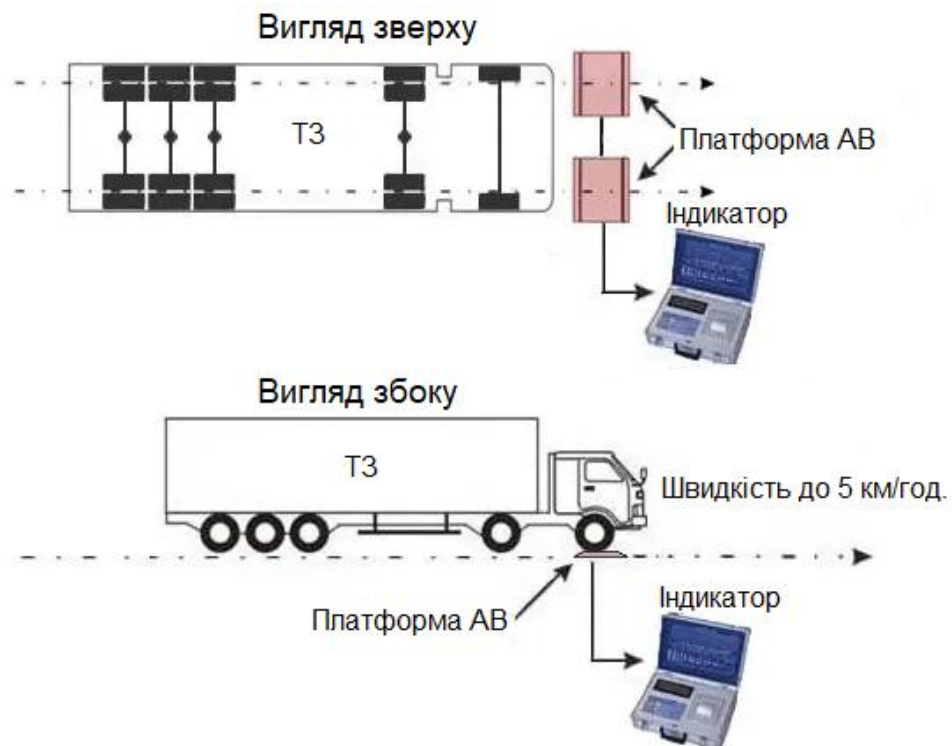


Рисунок 2.3 - Динамічні мобільні АВ

Принцип дії АВ включає кілька етапів:

1. Розподіл навантаження. Коли ТЗ заїжджає на вагову платформу, навантаження розподіляється на датчики ваги, розташовані під платформою. Для зручності й точності вимірювання часто застосовують кілька датчиків, рівномірно розміщених по всій довжині платформи. Це дозволяє зберігати точність вимірювання, навіть якщо вантаж не рівномірно розподілений на платформі.

2. Вимірювання деформації. Датчики ваги працюють на основі тензометричного ефекту. Вони реєструють деформацію матеріалу, спричинену навантаженням, і перетворюють її на електричний сигнал. Тензодатчики змінюють свій електричний опір у відповідь на деформацію. Чим більша сила, тим більша деформація, і, відповідно, більша зміна опору. Це дозволяє точно визначати вагу ТЗ. Для обчислення підсумкової маси використовується пристрій додавання, який підсумовує сигнали з усіх датчиків.

3. Зчитування сигналу. Електричний сигнал, що виникає від датчиків ваги, передається до вагового контролера, який обробляє отримані дані. Далі оброблені результати передаються на індикатор, де відображається маса ТЗ. Додатково система може зберігати результати зважування для подальшого аналізу або передавати їх в ІС підприємства.

4. Відображення результатів. Результати зважування відображаються на індикаторі, що може бути розташований на ваговій платформі або окремо від неї. АВ можуть мати різні типи індикаторів, які виводять дані в режимі реального часу, забезпечуючи швидку та точну інформацію для оператора.

5. Калібрування та калібрувальні параметри. Для забезпечення точності та надійності вимірювань, АВ підлягають регулярному калібруванню. Це включає налаштування коефіцієнтів чутливості датчиків ваги, компенсацію температурних змін, коригування початкового зсуву і коригування інших параметрів, які можуть впливати на точність вимірювань. Калібрування забезпечує стабільну роботу ваг, гарантуючи точність результатів у різних умовах експлуатації.

6. Додаткові функції та можливості. Багато АВ мають додаткові функції, які значно полегшують використання та обробку даних. Наприклад збереження даних зважувань для подальшого аналізу, підключення до комп'ютерних систем

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		28

для автоматизації обробки даних, а також підтримку бездротового зв'язку для передачі даних на віддалені сервери або мобільні пристрої. Такі функції дозволяють здійснювати контроль за процесом зважування на відстані і значно полегшують управління даними в умовах великих логістичних або виробничих підприємств.

2.3 Розробка архітектури проєктованої системи

Проектowana КСУ має трирівневу архітектуру, що забезпечує ефективний збір, обробку, передачу та збереження даних про процес зважування транспортних засобів.

На рисунку 2.4 наведено приклад архітектури проєктованої системи автоматизації АВ.

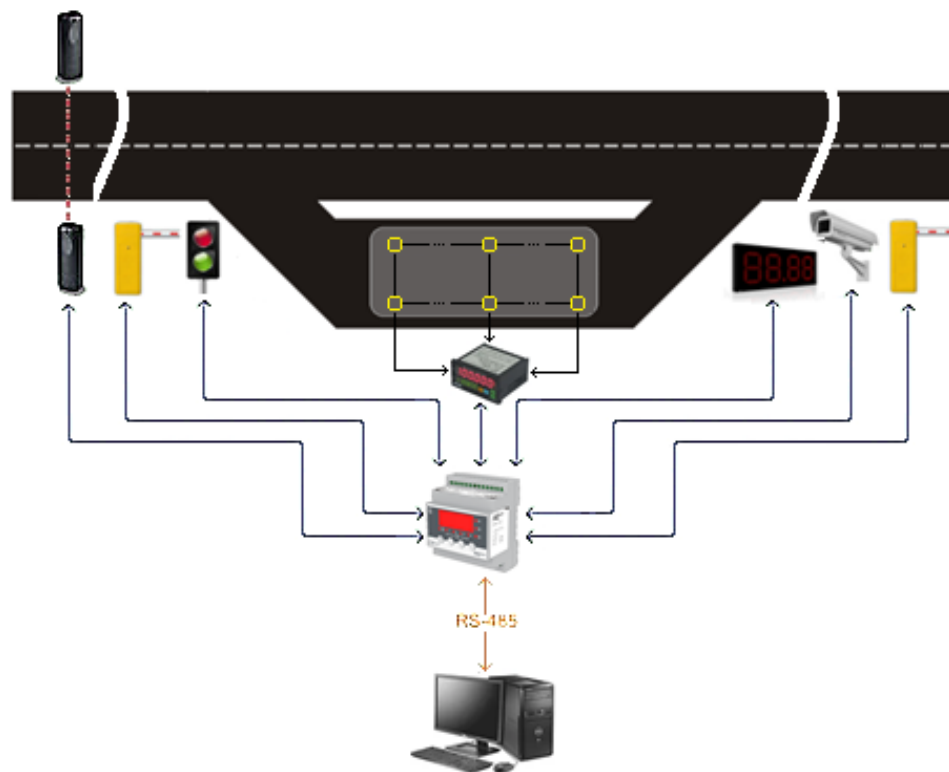


Рисунок 2.4 – Архітектура КСУ

Низовий рівень включає основні апаратні компоненти системи, що безпосередньо виконують зважування та реєструють дані:

- тензометричні датчики – сенсори, що фіксують деформацію

платформи та генерують відповідний електричний сигнал.

- засоби керування рухом – світлофори, шлагбауми або обмежувальні механізми для регулювання заїзду ТЗ.

- модулі ідентифікації чи розпізнавання номерних знаків в автоматичному режимі та зв'язку з ІС.

До середнього рівня можна віднести:

- пристрій додавання – суматор даних із кількох тензодатчиків для отримання загальної ваги;

- ваговий контролер – мікропроцесорний пристрій, який приймає сигнали від тензодатчиків, обробляє їх і передає результати на наступний, верхній рівень;

- програмне забезпечення вагового контролера, зокрема алгоритми зчитування, калібрування та корекції похибок зважування;

- кабелі та засоби мережевої взаємодії та передачі даних.

Верхній рівень включає АРМ оператора:

- графічний інтерфейс– програма або веб-додаток для керування процесом зважування;

- ІС підприємства – автоматизований облік вантажопотоків, зв'язок із системами;

- система звітності та аналітики – створення звітів, прогнозування транспортних потоків, виявлення відхилень;

- хмарне сховище – резервне збереження даних зважувань та доступ через інтернет.

Перевагами трирівневої архітектури є гнучкість, що забезпечує можливість масштабування системи та сумісності з іншими модулями та мінімізацію людського втручання, що підвищує швидкість та зменшує ризик помилок. Точність та надійність аткої системи дозволяє врахування похибок датчиків та автоматичну корекція даних.

Така архітектура дозволяє створити ефективну КСУ процесом зважування ТЗ із можливістю інтеграції у загальні процеси логістики та обліку підприємства.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів і обладнання

Для реалізації КСУ процесом зважування обрано вагову платформу серії «АГРО» вантажопідйомністю 60 тонн, призначені для статичного зважування вантажного транспорту (рисунок 2.5) [12]. Вони забезпечують підвищену точність зважування, наприклад для ТЗ до 50 тонн ціна поділки становить 10 кг, а для перевантажених ТЗ понад 50 тонн - 20 кг. Це дозволяє досягти більш високої точності зважування порівняно з вагами стандартної точності, де ціна поділки становить 20 кг для вантажів до 50 тонн і 50 кг для вантажів понад 50 тонн.

Довжина платформи АВ складає 18 метрів, а ширина - 3 метри. Платформа розподілена на секції довжиною по 6 метрів, що забезпечує зручність транспортування і монтажу. Конструкція вагової платформи має мінімальну кількість зварних швів і концентрацій напруг, що забезпечує її високу міцність і надійність. Завдяки оптимальному розташуванню секцій на несучих балках досягається рівномірний розподіл навантаження, що гарантує точні результати зважування. Настил вагової платформи виконаний з рифленого листа товщиною 8 мм, що забезпечує високу стійкість до зношування та покращує зчеплення з колесами ТЗ.



Рисунок 2.5 – Вагова платформа

Конструкція поперечної балки виготовлена з електрозварного Т-тавра, що дозволяє мінімізувати обертання поперечної балки при прогині платформи, забезпечуючи стабільність і точність процесу зважування. Ці характеристики роблять АВ надійним і ефективним вибором для автоматизованих систем зважування, забезпечуючи точність, довговічність і безперервність роботи в

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

умовах високих навантажень.

Для забезпечення стабільності показань АВ, для реалізації КСУ використовуються цифрові тензодатчики Dini Argeo (рисунок 2.6) [13], які мають ряд переваг порівняно з аналоговими датчиками, зокрема вони стійкі до впливу зовнішніх факторів, наприклад перепаду напруги, зміни електромагнітних полів, температури чи вологості.



Рисунок 2.6 – Цифровий тензодатчик

Тензометричні датчики класифікуються за рівнем точності, що визначає їхню здатність до вимірювання маси з мінімальними похибками. Датчики стандартного класу точності С3 мають 3000 повірочних інтервалів і забезпечують точність зважування в межах 0,1% на всьому діапазоні навантажень. Датчики підвищеного класу точності С5 мають 5000 повірочних інтервалів, що дозволяє досягти точності 0,05%.

Клас точності С4 займає проміжне місце і має низку переваг, що роблять його оптимальним вибором для реалізації системи. Датчики цього класу забезпечують роздільну здатність 60.000d та комбіновану похибку $\pm 0,01\%$ при номінальному навантаженні. Вони працюють у широкому температурному діапазоні: від -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$ у компенсованому режимі та від -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$ у робочому режимі.

Живлення здійснюється від джерела постійного струму з напругою 10–18 В при споживанні 0,2 Вт (12 В). Високоточне перетворення на 24 біти та підключення через RS485 гарантують стабільність передавання сигналу. Датчики мають екранований 4-полюсний кабель діаметром 5 мм та витримують

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

навантаження до 150% FS, що підвищує їхню довговічність і стійкість до перевантажень.

Зважаючи на баланс між точністю, надійністю та енергоефективністю, для реалізації нашої системи обрано тензометричні датчики класу точності С4. Вони забезпечують високу якість зважування, стійкість до зовнішніх впливів та ефективне передавання даних, що є критично важливим для АС контролю маси ТЗ.

У склад АВ входить 8 датчиків, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл навантаження по всій платформі та точність зважування навіть за великих навантажень. Крім того, система має можливість підключення ваговимірювального індикатора на відстань до 1000 м без втрат точності, що забезпечує зручність і гнучкість у використанні вагів у різних умовах.

Для зчитування даних з та обробки сигналів від кожного тензометричного датчика з метою обчислення загальної маси ТЗ можна використовувати спеціалізовані блоки, які забезпечують точне вимірювання та підключення до тензометричних датчиків.

Dini Argeo 3590ETD - є надійним та ефективним вибором для зчитування і обробки даних з тензодатчиків в системах зважування ТЗ (рисунок 2.7) [14].



Рисунок 2.7 – Блок управління тензометричними датчиками

Інтерфейс 3590ETD надає можливість обробки сигналів від датчиків з високою точністю, забезпечуючи стабільні і точні результати зважування навіть при сильних коливаннях ваги. Пристрій оснащений серійними портами RS232, RS485, а також підтримує Ethernet-з'єднання, що дозволяє легко інтегрувати його в більші системи для зберігання та аналізу даних, а також для їх передачі на

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

сервери чи інші пристрої в мережі. Вбудовані алгоритми корекції та фільтрації сигналу допомагають усувати вплив зовнішніх факторів, таких як температура або механічні коливання.

Для контролю кліматичних умов з метою корекції вимірювань використовуються датчики температури та вологості з інтерфейсом RS485 або CAN для інтеграції в систему управління. Для реалізації КСУ рекомендується застосовувати комбінований датчик, наприклад, DHT22 / AM2302, який вимірює обидва параметри з високою точністю.

АВ оснащена дублюючим табло, що забезпечує функцією світлофора (рисунок 2.8), що дозволяє керувати рухом ТЗ під час процесу зважування ТЗ.



Рисунок 2.8 – Приклад інформаційного табло

Проте, для підвищення рівня безпеки та забезпечення чіткого контролю процесу, до інформаційного табло доцільно додати шлагбаум (рисунок 2.9) [15]. Це дозволить КСУ не лише сигналізувати про дозвіл або заборону руху, а й фізично контролювати в'їзд і виїзд ТЗ, запобігаючи помилкам та забезпечуючи точність зважування.



Рисунок 2.9 – Шлагбаум

Коли автомобіль отримує дозвіл на в'їзд, на табло загоряється зелений сигнал та автоматично піднімається шлагбаум дозволяючи водію заїхати на вагову платформу. Якщо зважування неможливе, наприклад, на платформі ще знаходиться інший автомобіль або система ще не завершила попереднє зважування, на табло відображається червоне світло, що забороняє рух, а шлагбаум залишається опущеним, фізично блокуючи в'їзд.

Під час заїзду на платформу водій бачить зелений сигнал на табло, що підтверджує правильний напрямок руху. Це свідчить, що автомобіль має продовжувати рух, але не з'їжджати з платформи. У цей момент система починає визначати масу автомобіля, а його поточна вага відображається червоними цифрами, сигналізуючи про нестабільність вимірювання.

Коли ТЗ повністю зупиняється, табло змінює сигнал на червоний, а шлагбаум залишається опущеним, забезпечуючи нерухомість автомобіля під час вимірювання. Після стабілізації ваги на табло маса змінює колір на зелений, що означає завершення процесу зважування. У цей момент шлагбаум піднімається, дозволяючи автомобілю залишити вагову платформу.

Таке поєднання табло та шлагбаума підвищує безпеку, виключає людський фактор у регулюванні руху та забезпечує точність і надійність зважування.

Для забезпечення точної та надійної фіксації положення ТЗ на ваговій платформі рекомендується використовувати інфрачервоний однопроменевий світловий бар'єр безпеки Sick L41E-21KA1A (серія L4000) з відстанню

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

детектування до 6 метрів (рисунок 2.10) [16].



Рисунок 2.10 – ІЧ датчик

Датчик має здатність виявлення до 30 мм, що дозволяє фіксувати перетин контрольної зони з високою точністю. Час реакції становить 0,4 мс, що забезпечує виявлення ТЗ при заїзді та виїзді з вагової платформи без затримок. Завдяки класу захисту IP67, датчик є повністю захищеним від пилу та вологи, що забезпечує його стабільну роботу в умовах промислового середовища, незалежно від погодних умов. Датчик підтримує стандартний роз'єм M12 (4-контактний), що спрощує його підключення до контролера.

На рисунку 2.11 наведено приклад розміщення датчиків визначення положення ТЗ.



Рисунок 2.11 – Розміщення датчиків контролю положення

Датчики встановлюються на декількох критичних точках по обидва боки вагової платформи. Перша пара розміщується у в'їзді на платформу на висоті, що відповідає положенню передніх коліс ТЗ. Вони фіксують момент перетину контрольної зони передніми колесами ТЗ, передаючи сигнал до системи для активізації табло, яке показує відповідний сигнал дозволу водієві для розміщення автомобіля на платформі. Ці датчики також фіксують, коли задня частина

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

автомобіля повністю заїхала на платформу, що є сигналом для закриття шлагбаума і запуску процесу зважування. Підключення датчиків забезпечує підтвердження правильного розташування автомобіля перед початком вимірювання ваги.

Додатково, для контролю виїзду з платформи, два датчики встановлюються на виїзді з АВ, де вони виявляють чи передні колеса ТЗ не виходять за межі платформи. Також вони фіксують покидання ТЗ платформи і в цей момент система передає сигнал для відкриття шлагбаума та активації зеленого світла на табло, що дозволяє наступному водієві вїхати до вагової платформи після завершення зважування.

ІЧ датчики підключені до центрального керуючого контролера, який керує індикацією на табло і забезпечує правильне розташування ТЗ для точного вимірювання ваги.

Для фіксації процесу зважування рекомендовано встановити ІР-камери з роздільною здатністю не менше 1080р та інфрачервоним підсвічуванням для забезпечення якісного зображення в умовах низької освітленості. Наприклад, відеокамера Dahua DH-HAC-HDW1200TP-Z-A має роздільну здатність 2 Мп, варіофокальний об'єктив та ІЧ-підсвічування до 60 метрів, що забезпечує чітке зображення навіть у темряві (рисунок 2.12) [17].

Камера фіксує та записує зображення ТЗ під час процесу зважування, що дозволяє перевіряти, чи правильно ТЗ розташоване на платформі та чи немає перешкод для коректного вимірювання ваги.



Рисунок 2.10 – Відеокамера Dahua

Отримане зображення може бути використане для автоматичної ідентифікації автомобіля, зокрема для запису його номерного знака або інших

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

ідентифікаційних ознак, що може допомогти у зв'язці з RFID системою для збереження історії зважувань.

Завдяки відеозапису фіксується вміст вантажного відсіку для додаткового контролю при зважуванні. Він може використовуватися для виявлення можливих махінацій, таких як несанкціоноване завантаження або розвантаження вантажу під час процесу зважування. Відеоспостереження сприяє збереженню доказів у разі необхідності, а також забезпечує додаткову безпеку та контроль за територією вагового комплексу, знижуючи ризик несанкціонованого доступу чи порушення процедури зважування.

При розміщенні відеокамер (рисунок 2.13) важливо врахувати кілька аспектів. По-перше, необхідно уникнути засвітки від фар автомобілів, що може негативно вплинути на якість зображень.



Рисунок 2.13 – Приклад отриманого зображення з правильно розміщеної відеокамери

Оптимальним варіантом є розміщення камер всередині захисного навісу або ангара, при цьому камери повинні бути спрямовані всередину, щоб мінімізувати вплив сонячного світла і фар. Рекомендована висота розміщення камер – 2–4 метри. Варто також звернути увагу на мінімізацію перспективних спотворень і кута нахилу номерного знака, що має бути не більше 20°.

Для ідентифікації ТЗ можна використовувати RFID-мітки та магнітні картки. Технологія RFID (рисунок 2.14) забезпечує майже 100% точність

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

ідентифікації, оскільки процес відбувається за допомогою радіомітки, яка встановлюється на ТЗ. Цей метод дозволяє здійснювати безконтактне зчитування та обробку даних навіть за умов, коли автомобіль не має прямої видимості зчитувача.

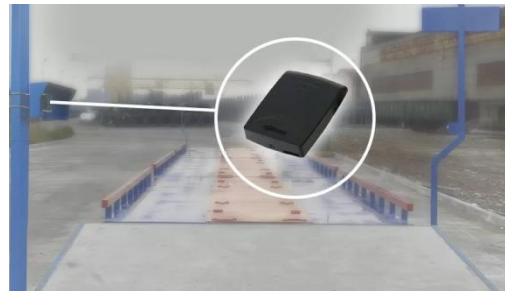


Рисунок 2.14 - Ідентифікація ТЗ

Безконтактна технологія дозволяє швидко передавати дані без затримок, що важливо для зменшення черг та підвищення пропускної здатності вагової платформи.

Магнітні картки також можуть використовуватися для ідентифікації, але їх точність значно нижча. У цьому випадку ідентифікується не сам ТЗ, а картка, яку можна передавати між особами, що знижує рівень безпеки. Такий підхід не дає гарантії того, що саме той чи інший транспортний засіб знаходиться на платформі, що може призвести до неточностей у процесі зважування. Крім того, картки можуть бути пошкоджені або викривлені, що також може ускладнити процес зчитування.

Impinj Speedway R420 [18] це ефективний стаціонарний RFID-зчитувач, який забезпечує високопродуктивне зчитування на великих відстанях для промислового застосування (рисунок 2.15). Швидкість зчитування до 2000 міток на секунду. Пристрій підтримує підключення до великої кількості антен (до 4 портів), що дозволяє покривати великі зони. Зчитувач працює при температурних коливаннях -20°C до 50°C і може використовуватися в умовах пилу і вологості (IP53). Підтримує Ethernet для підключення до центральної системи управління.

У момент ідентифікації транспортного засобу (ТЗ) за допомогою RFID, система автоматизації автоматично запускає процес зважування. Одночасно з цим

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

здійснюється фотографування автомобіля з усіх наявних відеокамер, що дозволяє зафіксувати його стан на вагах. Під час цього процесу система відстежує стабільність ваги.



Рисунок 2.15 – Зчитувач RFID міток

Якщо вага ще не стабілізувалася, її значення на дублюючому табло відображається червоним кольором, сигналізуючи про те, що зважування не може бути проведено. У цей час КСУ (контролер системи управління) блокує можливість збереження показників ваги та фото, забезпечуючи, таким чином, точність даних.

Якщо стабілізація ваги відбулася і зважування успішно завершено, на табло з'являється стабільне значення ваги, яке відображається зеленим кольором. У цей момент система дозволяє зберегти результат зважування та фотографії з камер у базі даних, де вони коректно прив'язуються до запису про конкретний автомобіль і подальші операції. Це забезпечує точність і верифікацію результатів для майбутнього аналізу та використання у звітності.

Для керування всіма компонентами системи рекомендується використовувати програмований логічний контролер (PLC), який забезпечує обробку сигналів від датчиків, керування індикацією та взаємодію з користувачем через відповідний інтерфейс.

Siemens S7-1200 [19] є одним з найбільш популярних PLC для таких застосувань (рисунок 2.16). Він пропонує хорошу продуктивність, високу надійність і можливість легкої інтеграції з іншими пристроями через Ethernet, Modbus, Profibus або Profinet. Цей контролер також підтримує вбудовані модулі

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

для роботи з аналоговими та цифровими сигналами, що дозволяє ефективно обробляти дані з датчиків ваги та інших периферійних пристроїв.



Рисунок 2.16 – Контролер

Переваги контролера полягають у високій продуктивності, підтримці різних інтерфейсів для підключення (Profinet, Modbus). Його модульна конструкція дозволяє легко реалізувати розширення системи. Програмування за допомогою ПЗ TIA Portal забезпечує зручність інтеграції з іншими пристроями та датчиками.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ЗВАЖУВАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ВАГАХ

3.1 Структура проєктованої системи

На рисунку 3.1 наведена структура КСУ процесом зважування на АВ.

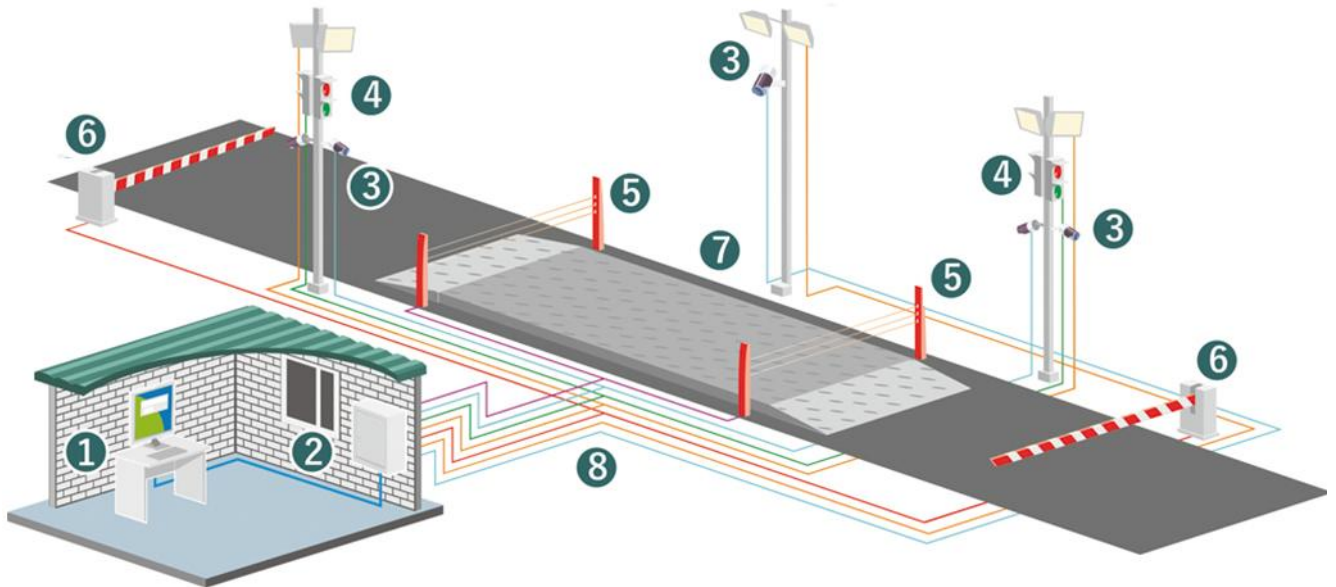


Рисунок 3.1 – Структура КСУ

Компоненти КСУ процесу зважування на АВ наступні:

1 - АРМ оператора - комп'ютер із ПЗ, що використовується для управління всіма процесами автоматичного зважування. Обробляє дані з вагового обладнання, зчитує номери автомобілів і веде базу даних зважувань.

2 – шафа управління - центральний модуль управління системою, який забезпечує обробку сигналів з датчиків, камер та інших пристроїв. Забезпечує контроль, управління та зв'язок між усіма елементами АС. Включає блок управління датчиками та контролер керування.

3 - відеокамери – використовуються для фіксації процесу зважування та можуть застосовувати технології розпізнавання номерних знаків (ANPR) для автоматичного ідентифікування транспортного засобу. Дозволяють автоматично заносити інформацію про автомобіль у базу даних без участі оператора.

4 – інформаційні табло - регулюють рух транспорту на ваговій платформі.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Вказують водіям, коли можна заїжджати або залишати вагову зону.

5 - датчики контролю положення автомобіля на вагах - визначають правильність розташування ТЗ на платформі. Запобігають отриманню некоректних результатів зважування у разі неправильного заїзду.

6 - шлагбауми - автоматично регулюють в'їзд і виїзд транспортних засобів на вагову платформу. Дозволяють запобігти проїзду без зважування та сприяють впорядкованому руху транспорту.

7 – вагова платформа – є фізичною основою для зважування, обладнана датчиками, що призначені для перетворення механічних навантажень на електричні сигнали, які потім обробляються для визначення ваги.

8 - кабелі – забезпечують з'єднання між платформою, датчиками, електронним блоком управління та іншими комплектуючими.

Така структура та компоненти працюють у комплексі, забезпечуючи точне, надійне та безперервне функціонування КСУ зважування, що значно підвищує ефективність та якість ТП зважування.

Перелік ТЗА для реалізації КСУ процесу зважування на АВ включає:

- вагова платформа – 1 шт;
- тензометричний датчик – 8 шт;
- вузол вбудовування тензодатчика – 8 шт;
- електронний лок управління датчиками – 1 шт;
- контролер - 1 шт;
- ІЧ-датчики – 4 шт;
- зчитувач RFID- міток – 1 шт;
- відеокамери – 2 шт;
- шлагбаум – 2 шт;
- інформаційне табло, що включає функції регулювання руху – 2 шт;
- з'єднувальні кабелі.

Для фіксації процесу зважування достатньо 2 шт відеокамер. Проте для забезпечення виконання інших функцій, наприклад забезпечення безпеки, розпізнавання номерів ТЗ чи організації руху – їх кількість може бути більше 2-х та вимагає додаткового підключення камер.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

3.2 Моделювання роботи проєктованої системи

Розглянемо модель КСУ зважування ТЗ на АВ. Система складається з вагової платформи, тензOMETричних датчиків, електронного блоку управління, індикатора для відображення результатів зважування. ТензOMETричні датчики вимірюють деформацію платформи під впливом ваги транспортного засобу і перетворюють ці дані в електричний сигнал. Цей сигнал передається до електронного блоку управління, який обробляє дані і виводить результат на індикатор.

Вихідні дані для моделювання наступні:

- маса ТЗ: 10 000 кг (максимальна вага – 60 000 кг).
- тип датчиків: тензOMETричні датчики з вихідним сигналом 0–10 В.
- коефіцієнт перетворення датчиків: 1 В = 5 000 кг.
- час вимірювання: 5 с.
- похибка вимірювань: $\pm 1\%$.

Передавальна функція системи матиме вигляд:

$$W(s) = \frac{K}{T_s + 1},$$

де $K=10$ – коефіцієнт підсилення системи,

$T=2$ с – стала часу.

Передавальна функція датчиків матиме наступну лінійну характеристику, де вхідною величиною є вага автомобіля $M(t)$, в вихідною – сигнал датчиків $U_d(t)$.

$$U_d(t) = \frac{M(t)}{5000}.$$

Для 10 000 кг отримаємо $U_d(t) = 2В$.

Передавальна функція регулятора, наприклад використаємо ПІД-регулятор:

$$W_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s,$$

де: $K_p = 2$ – пропорційний коефіцієнт,

$K_i = 1$ – інтегральний коефіцієнт,

$K_d = 0,5$ – диференціальний коефіцієнт.

Отже, повна система з урахуванням передавальної функції матиме вигляд:

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

$$W(s) = \left(2 + \frac{1}{s} + 0,5s\right) \cdot \frac{10}{2s + 1}.$$

Для імітаційного моделювання КСУ процесу зважування на АВ використаємо мову програмування Python та бібліотеку control. Виконаємо моделювання динамічної системи та аналізу її стабільності.

Припущення для моделі:

- вагова платформа реагує на зміну навантаження з певною інерційністю;
- маємо зворотний зв'язок, який коригує покази для точності;
- система містить PID-регулятор для стабілізації.

Структура моделі

- вхід: сигнал навантаження (маса автомобіля);
- об'єкт керування: вагова платформа, представлена передавальною функцією;
- контролер: PID-регулятор для точного зважування;
- вихід: виміряне значення маси.

В результаті проведення моделювання відгуку системи керування АВ на зміну навантаження. PID-регулятор допомагає зменшити помилки вимірювання. На рисунку 3.2 наведено отриману динаміку вимірювання маси ТЗ.

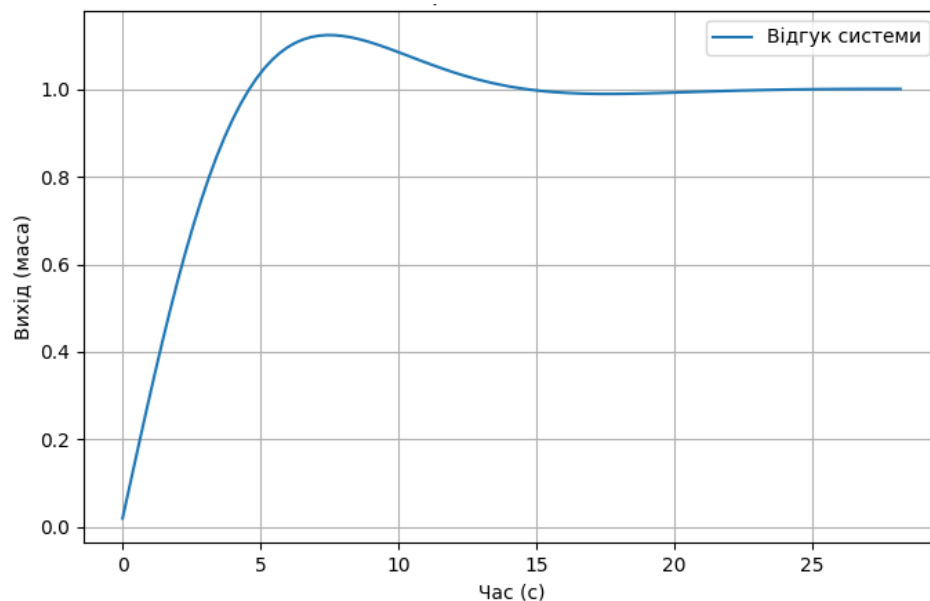


Рисунок 3.2 - Динаміка вимірювання маси ТЗ

Для моделювання системи автоматичного керування АВ та візуалізації відгуку PID-регулятора використано бібліотеку matplotlib. На рисунку 3.3 наведено отримані графіки.

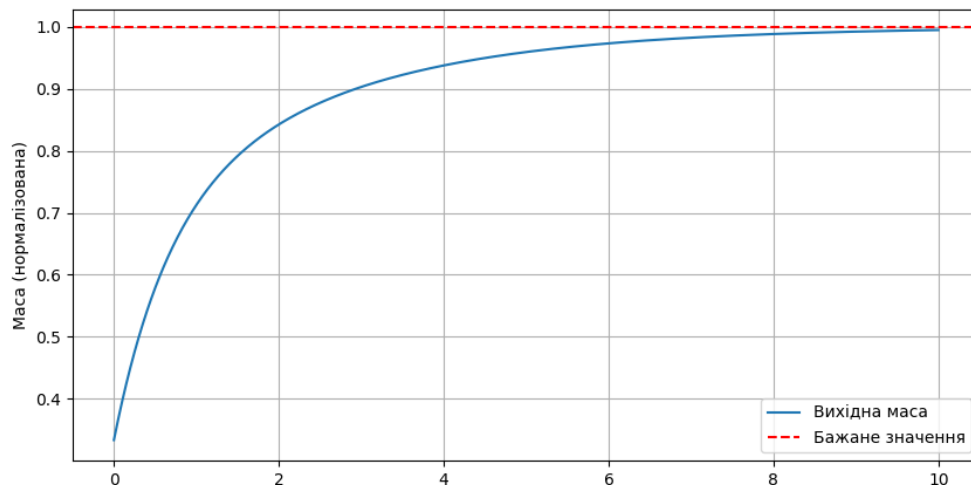


Рисунок 3.3 - Відгук системи керування АВ

Графік на рисунку 3.3 відображає реакцію системи на одиничний стрибок (імітація навантаження), показуючи, як регулятор стабілізує вагу.

Для побудови амплітудно-частотної (АЧХ) та фазочастотної (ФЧХ) характеристик проектованої КСУ використаю бібліотеку control для аналізу частотної області.

АЧХ описує, як змінюється амплітуда вихідного сигналу системи у відповідь на гармонічний вхідний сигнал різних частот.

Для лінійної динамічної системи, заданої передавальною функцією:

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)},$$

де $s = j\omega$, вираз для АЧХ визначається як модуль передавальної функції:

$$|G(j\omega)| = \left| \frac{N(j\omega)}{D(j\omega)} \right|,$$

де: ω – кругова частота (рад/с),

j – уявна одиниця,

$N(j\omega)$ і $D(j\omega)$ – чисельник і знаменник передавальної функції, підставлені замість s на $j\omega$.

Графік залежності $|G(j\omega)|$ від ω є АЧХ. ФЧХ показує зміну фази

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

вихідного сигналу відносно вхідного залежно від частоти.

Вона визначається як аргумент (кут) передавальної функції:

$$\varphi(\omega) = \arg G(j\omega) = \tan^{-1} \left(\frac{\Im(C(j\omega))}{\Re(C(j\omega))} \right),$$

де: $\Im(C(j\omega))$ та $\Re(C(j\omega))$ - уявна і дійсна частини функції $G(j\omega)$.

Графік залежності $\varphi(\omega)$ від ω є ФЧХ.

Якщо розглядаємо динамічну систему, рівняння руху матиме вигляд:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t),$$

де: m – маса,

c – коефіцієнт демпфування,

k – жорсткість,

$F(t)$ – зовнішня сила.

Передавальна функція у частотній області:

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k}$$

Підставивши $s = j\omega$, можна обчислити АЧХ та ФЧХ.

В результаті отримано діаграму (рисунок 3.4) для замкненої системи керування, що складається з PID-регулятора та механічної системи з масою, тертям і жорсткістю підвіски.

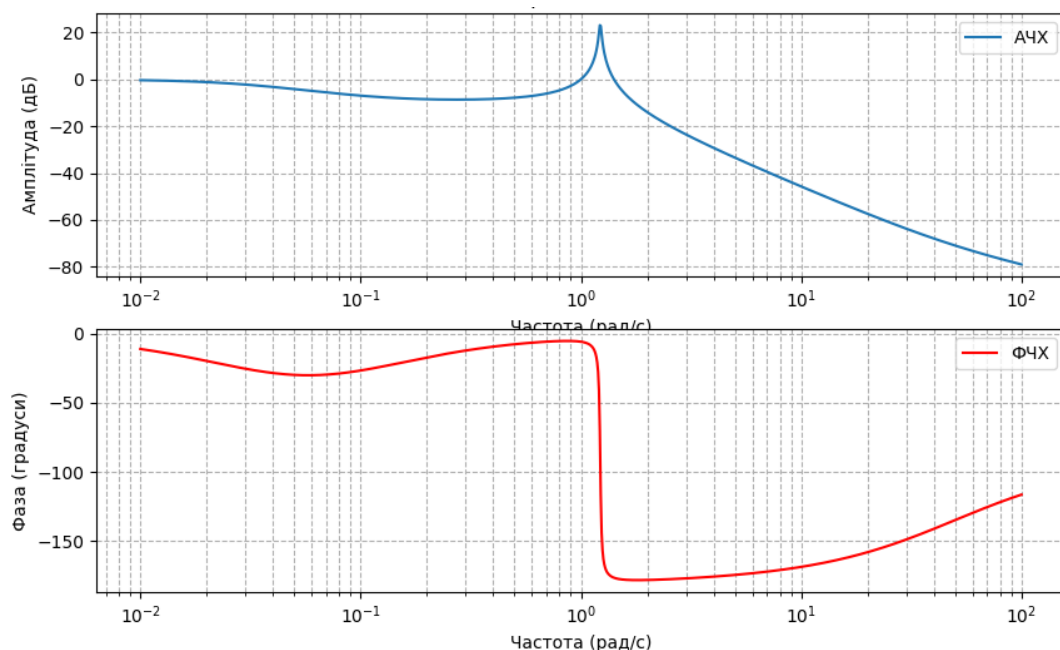


Рисунок 3.4 – Графік реакції замкненої системи керування

Діаграма складається з двох графіків, які показують, як система реагує на вхідні гармонічні (синусоїдальні) сигнали різної частоти:

- АЧХ показує, як змінюється підсилення (коефіцієнт передачі) системи залежно від частоти. Вона вимірюється у децибелах (дБ) і будується в логарифмічному масштабі. Якщо АЧХ має спадання з нахилом -20 дБ/дек, це вказує на інерційні елементи в системі.

- ФЧХ - відображає, як система змінює фазу вхідного сигналу залежно від частоти. Фаза виражається в градусах і також будується в логарифмічному масштабі. Вона важлива для оцінки стійкості системи (зокрема, для аналізу запасу фази та частоти зрізу).

АЧХ (верхній графік) при низьких частотах (менше 1 рад/с) система має високий коефіцієнт передачі (великий коефіцієнт підсилення). При вищих частотах передача сигналу зменшується (знижується амплітуда вихідного сигналу). Це пов'язано з динамікою механічної системи: маса та тертя фільтрують високочастотні складові сигналу.

ФЧХ (нижній графік) при низьких частотах фаза сигналу близька до 0° (вхід і вихід практично співпадають за фазою). З ростом частоти система починає відставати за фазою, що типово для динамічних об'єктів. Для дуже високих частот фаза може наближатися до -180°, що може свідчити про нестабільність.

Передавальна функція $G(s)$ має вигляд

$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)}.$$

Вона описує, як вхідний сигнал $X(s)$ трансформується в вихідний сигнал $Y(s)$ в системах автоматичного управління або в електронних схемах. Вона є співвідношенням між вихідним і вхідним сигналом у частотній

3.4 Оптимізація параметрів регулювання комп'ютеризованої системи процесу зважування

Для вибору та моделювання регулятора в КСУ процесом зважування зі статичним вагою з тензометричними датчиками, можна використовувати різні

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

типи регуляторів в залежності від потреб. Зазвичай для таких систем використовуються регулятори:

- пропорційний (P);
- пропорційно-інтегральний (PI);
- пропорційно-диференціальний (PD);
- пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID).

Вибір регулятора залежить від таких параметрів, як швидкість реакції системи, необхідний рівень точності, можливі осциляції та вимоги до стабільності.

Пропорційний (P) регулятор відповідає на відхилення системи від заданого значення. Він коригує систему, пропорційно зменшуючи відхилення, але не гарантує нульовий стан сталого відхилення. Його передавальна функція матиме вигляд:

$$G_P(s) = K_p.$$

Пропорційно-інтегральний (PI) регулятор включає як пропорційну частину (P), так і інтегральну частину (I), що дозволяє усунути сталу помилку:

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_i}{s}.$$

Пропорційно-диференціальний (PD) регулятор включає пропорційну частину (P) та диференціальну частину (D), що дозволяє швидко реагувати на зміни вхідного сигналу та зменшити осциляції:

$$G_{PD}(s) = K_p + K_d \cdot s.$$

Пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) комбінує всі три складові – пропорційну (P), інтегральну (I) та диференціальну (D) частини. Це дає можливість досягти швидкої реакції на відхилення, зменшити осциляції і зберігати сталий стан без відхилень.

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d \cdot s.$$

Для того, щоб визначити, який регулятор підходить для проектованої системи, необхідно змоделювати перехідний процес для різних типів регуляторів.

На рисунках 3.5-3.8 наведено графіки перехідних процесів з використанням різними регуляторів.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		49

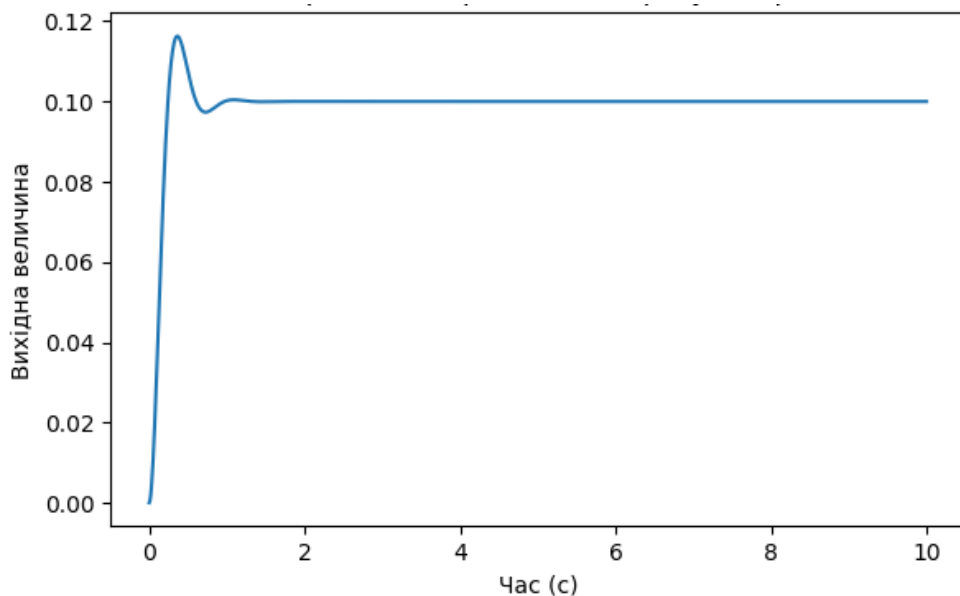


Рисунок 3.5 – Перехідний процес для Р-регулятора

Рисунок 3.5 показує, як система реагує на зміни без врахування помилок у часі. Якщо система має постійне відхилення, цей регулятор не зможе його усунути. На рисунку 3.6 PI-регулятор усуває сталу помилку, але може мати повільну реакцію на зміни.

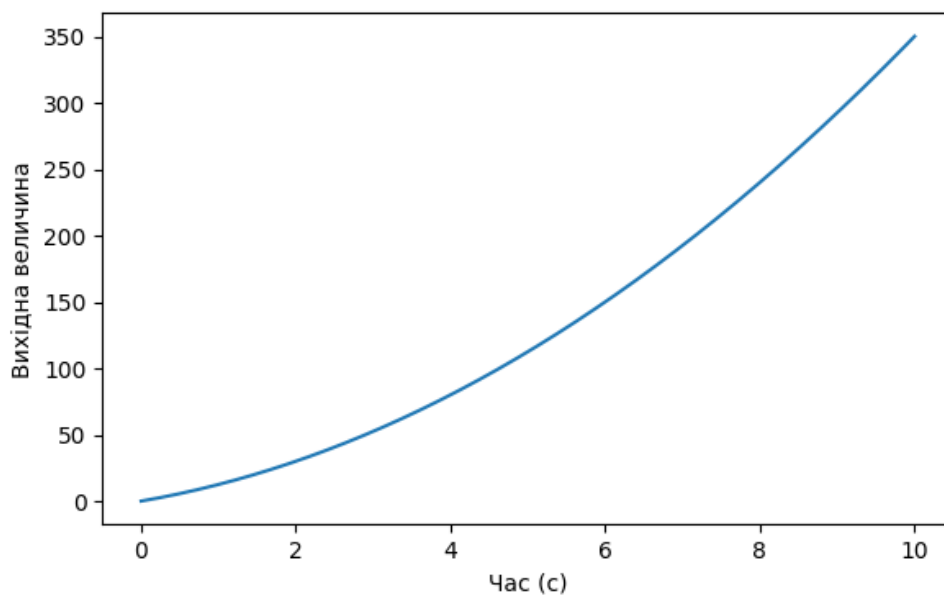


Рисунок 3.6 – Перехідний процес для PI-регулятора

На рисунку 3.7 видно, що застосування PD-регулятора допомагає зменшити осциляції та збільшити швидкість реакції, але може не усунути сталу помилку.

На рисунку 3.8 видно, що PID-регулятор збалансовує швидкість реакції, усуває сталу помилку та зменшує осциляції.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

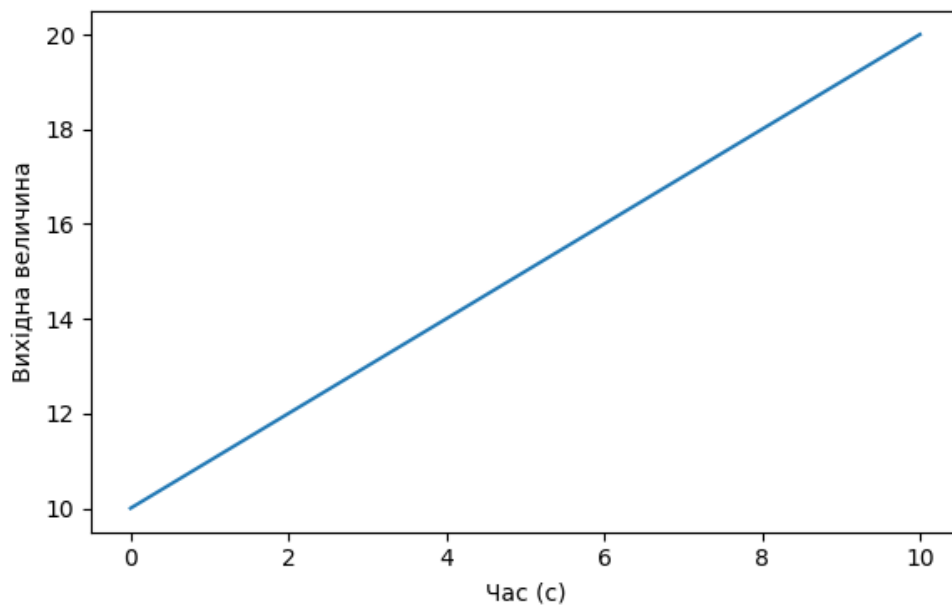


Рисунок 3.7 – Перехідний процес для PD-регулятора

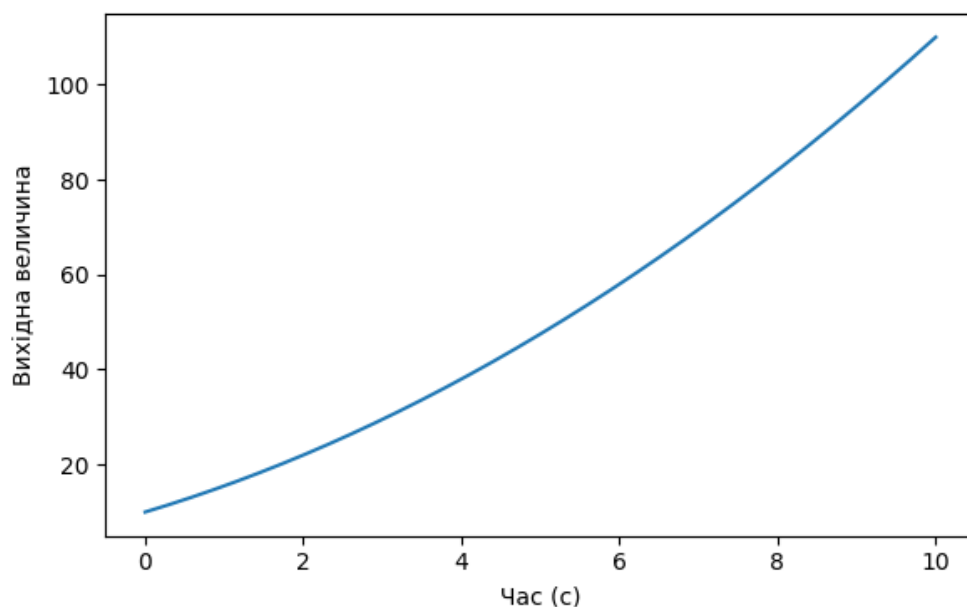


Рисунок 3.8 – Перехідний процес для PID-регулятора

Для поведених досліджень створено базову передавальну функцію другого порядку для моделювання системи. Визначено коефіцієнти для різних типів регуляторів та створено передавальні функції для P, PI, PD та PID регуляторів.

В додатку А наведено скрипт для оцінки перехідних процесів систем з різними регуляторами. Проведено оцінку перехідного процесу, яка дає відповідь на одиничний вхід.

Отриманий графік наведено на рисунку 3.9.

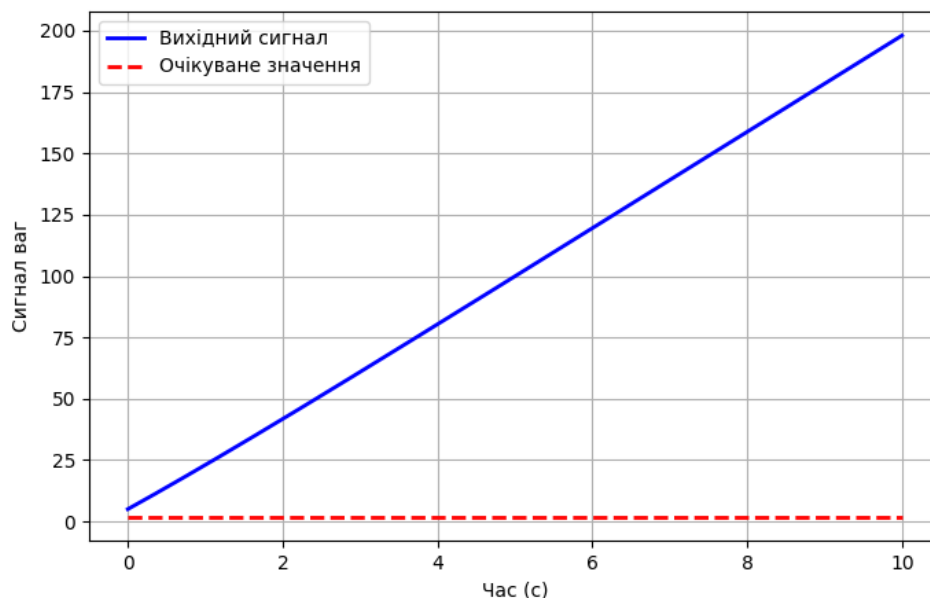


Рисунок 3.9 – Перехідний процес КСУ процесу зважування

Для того, щоб автоматично підібрати параметри для оптимальної якості регулювання, використано метод оптимізації (додаток Б). Він дозволяє знайти значення K_p , K_i , K_d , які мінімізують помилку між вихідним сигналом і очікуваним значенням

Запустивши програму з початковими параметрами $K_p = 2$, $K_i = 1$, $K_d = 0.5$ ми поступово корегуємо їх значення, щоб мінімізувати помилку.

Після виконання коду отримуємо оптимальні значення параметрів: $K_p = 0,1000$, $K_i = 0,0000$, $K_d = 0.2001$ та відповідний графік (рисунок 3.10).

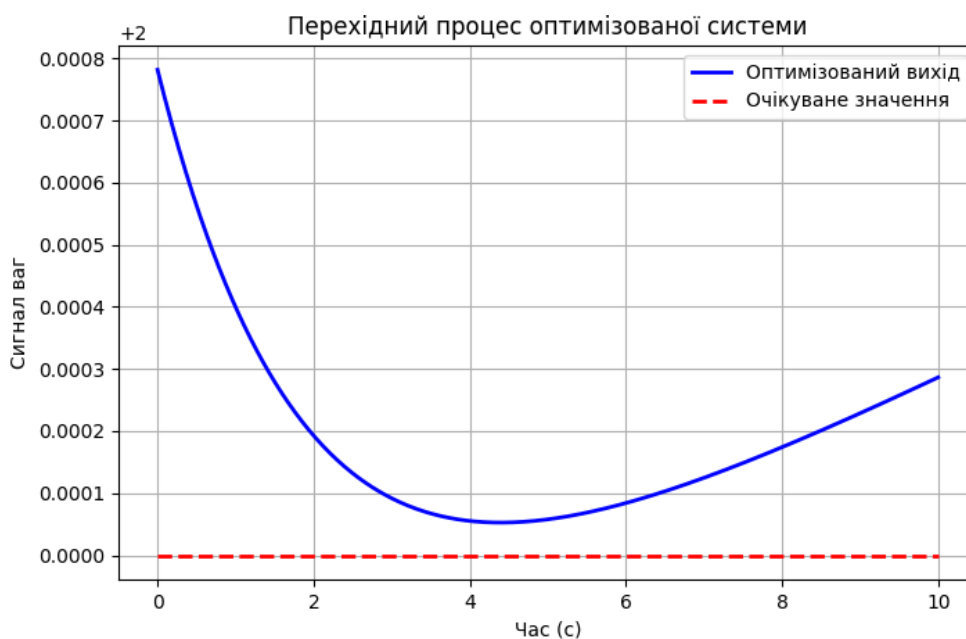


Рисунок 3.10 – Перехідний процес оптимізованої системи

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ

Арк.

52

Проведений аналіз забезпечує вибір найкращого регулятора для проектованої системи. Отримані оптимізовані параметри вказують на те, що інтегральна складова K_i практично не бере участі в регулюванні. Тому у даному випадку доцільно використовувати PD-регулятор (пропорційно-диференціальний) замість повного PID-регулятора.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблена КСУ процесом зважування на АВ, що забезпечує автоматизацію збору, обробки та збереження даних, а також їх інтеграцію з іншими ІС підприємства.

Проведений аналіз технологічного процесу зважування транспортних засобів дозволив визначити його основні етапи та обґрунтувати необхідність автоматизації. Це забезпечить мінімізацію впливу людського фактора, скорочення тривалості зважування та усунення можливості маніпуляцій із даними.

Проведений аналіз сфер застосування та призначення автомобільних ваг дозволив класифікувати їх за рядом критеріїв, що дає змогу обґрунтовано обрати вагову систему відповідно до умов експлуатації.

Проведений аналіз АВ як об'єкта автоматизації, їх конструктивних особливостей та принципу дії дозволив визначити параметри контролю і регулювання, а також вимоги проекрованої КСУ.

Досліджено комплекс засобів автоматизації процесу зважування та оцінено їх ефективність у складі КСУ. Визначено можливі джерела похибок вимірювання та сформульовано вимоги до ТЗА і засобів керування

На основі проведених дослідень розроблено модульну архітектуру КСУ, яка дозволяє реалізувати централізований контроль ТП зважування, а також забезпечує можливість розширення функцій та масштабування системи відповідно до потреб.

Обґрунтовано вибір компонентів КСУ з врахуванням вимог до точності та надійності вимірювання маси ТЗ, а також впливу зовнішніх факторів, таких як температурні коливання, вологість та механічні навантаження, що забезпечує стабільну роботу системи в різних умовах.

Проведено моделювання КСУ процесу зважування на АВ, що дозволило дослідити її роботу з використанням різних регуляторів та оцінити динамічні характеристики. Це дало змогу перевірити функціональність системи та виявити можливі слабкі місця для подальшої оптимізації.

Оптимізовано параметри регулювання КСУ для забезпечення стабільної

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

роботи, мінімізації похибок та підвищення швидкодії системи без необхідності в ручному втручанні для підтримки роботи при різних умовах експлуатації. В результаті проведених досліджень визначено, що для роботи КСУ найкраще підходить ПД-регулятор. Оптимізація параметрів регулювання дозволяє підвищити точність вимірювань і забезпечити мінімальні похибки, що значно покращує ефективність роботи системи.

Результати дослідження можуть бути використані для впровадження АС зважування в логістичних та промислових об'єктах, що сприятиме підвищенню ефективності обліку та контролю маси ТЗ.

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хабутдінов Р.А. Теорія автомобільно-транспортної технології. Монографія. Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. 2024. 192 с.
2. Дмитриченко А. М., Гамеляк І.П. Засоби зважування великовагових транспортних засобів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2017. Вип. 99. - С. 243-251.
3. Види та сфери застосування автомобільних ваг. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://gipercenter.com.ua/uk/vidy-i-sfery-primeneniya-avtomobilnyx-vesov>
4. Сохацький А.В. Моделювання в транспортних технологіях. Частина I: монографія. Дніпро: УМСФ. 2022. 182 с.
5. Автомобільні ваги, їх види та переваги. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/7>
6. Вагові норми при завантаженні транспортних засобів та штрафи за їх перевищення (досвід ЄС, Канади та США). [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://infocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28931.pdf>
7. Інструкція з експлуатації автомобільних ваг. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://vis.ua/instruktsiia-z-ekspluatatsii-avtomobilnykh-vah/>
8. Система динамічного зважування транспортних засобів у русі. [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://storage.sea.com.ua/files/wimua_CLQG9.pdf
9. Вагове обладнання. Загальні відомості. [Електронний ресурс].- Режим доступу до ресурсу: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/4>.
10. Ваговимірювальні комплекси та системи дозування. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://innovinnprom.com/galuzevi-rishennya/avtomobilni-vagy-2>
11. Пристрій і характеристики автомобільних ваг . [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://ukrvesi.com.ua/ua/a403353-ustrojstvo-harakteristiki-avtomobilnyh.html?srsId=AfmBOorT_FsY0ybD19KjxWu0kJ-

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

C8CS6qn8EmGMgLggsV5TQplE0g_iu

12. Автомобільні ваги. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://vagovi.com.ua/avtomobilni-vagi/>

13. Цифрові тензодатчики Dini Argeo. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.diniargeo.com/prd/scales/load-cells/column-for-weighbridges-en/digital-en/rcptd-en.aspx>

14. Dini Argeo 3590ETD. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://www.diniargeo.com/prd/scales/weight-indicators/dfw-series-en/en-dfwl.aspx>

15. Автоматичний шлагбаум. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://ua.antitaran.com/katalog/shlagbaum/shlagbaum-optimus>

16. Світловий бар'єр Sick L41E-21KA1A. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://trade-control.com.ua/ua/products/sick-l40s-33ma2a>

17. Dahua DH-HAC-HDW1200TP-Z-A. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://dahua-technology.com.ua/dahua-dh-hac-hdw1200tp-z>

18. Impinj Speedway R420. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://k5systems.com.ua/node/1663>

19. Siemens S7-1200. [Електронний ресурс].- Режим доступу:
<https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html>

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Скрипт для оцінки перехідного процесу з різними регуляторами

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import signal

# Параметри системи
w_n = 10 # Частота (радіани на секунду)
zeta = 0.5 # Коефіцієнт демпфування
# Створення передавальної функції системи (система другого порядку)
numerator = [w_n**2]
denominator = [1, 2*zeta*w_n, w_n**2]
system_open = signal.TransferFunction(numerator, denominator)

# Параметри регуляторів
Kp = 10 # Пропорційний коефіцієнт
Ki = 5 # Інтегральний коефіцієнт
Kd = 1 # Диференціальний коефіцієнт
# Створення передавальних функцій для різних регуляторів
system_P = signal.TransferFunction([Kp], denominator) # P-регулятор
system_PI = signal.TransferFunction([Kp, Ki], [1, 0, 0]) # PI-регулятор
system_PD = signal.TransferFunction([Kp, Kd], [1, 0]) # PD-регулятор
system_PID = signal.TransferFunction([Kp, Ki, Kd], [1, 0, 0]) # PID-регулятор
# Оцінка перехідного процесу для різних систем
time = np.linspace(0, 10, 1000)
t, y_P = signal.step(system_P, T=time)
t, y_PI = signal.step(system_PI, T=time)
t, y_PD = signal.step(system_PD, T=time)
t, y_PID = signal.step(system_PID, T=time)
# Візуалізація результатів
plt.figure(figsize=(12, 8))

```

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		59

```

# Перехідний процес для кожної системи
plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(t, y_P)
plt.title('Перехідний процес для Р-регулятора')
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Вихідна величина')
plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(t, y_PI)
plt.title('Перехідний процес для PI-регулятора')
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Вихідна величина')
plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(t, y_PD)
plt.title('Перехідний процес для PD-регулятора')
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Вихідна величина')
plt.subplot(2, 2, 4)
plt.plot(t, y_PID)
plt.title('Перехідний процес для PID-регулятора')
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Вихідна величина')
plt.tight_layout()
plt.show()

```

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		60

Скрипт для пошуку оптимальних параметрів регулювання

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import control as ctrl
from scipy.optimize import minimize

# Параметри системи (залишаємо сталими)
K = 10    # Коефіцієнт підсилення системи
T = 2     # Стала часу
num_sensor = [1/5000] # Передавальна функція датчика
den_sensor = [1]
W_sensor = ctrl.TransferFunction(num_sensor, den_sensor)
num_sys = [K] # Передавальна функція механічної системи
den_sys = [T, 1]
W_sys = ctrl.TransferFunction(num_sys, den_sys)

# Час моделювання
T_sim = 10
t = np.linspace(0, T_sim, 1000)
input_mass = 10000 * np.ones_like(t) # Вхідний сигнал

# Функція для оптимізації PID
def pid_cost(params):
    Kp, Ki, Kd = params
    W_pid = ctrl.TransferFunction([Kd, Kp, Ki], [1, 0])
    W_total = ctrl.feedback(W_pid * W_sys * W_sensor, 1)

    # Симуляція
    _, y = ctrl.forced_response(W_total, t, input_mass)

    # Мінімізуємо помилку: інтеграл квадратичної помилки
    error = np.trapz((y - input_mass / 5000) ** 2, t)

    return error

```

					ДП.АКІТ.9702409.00.00.000ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		61

```

# Початкове наближення для PID
initial_params = [2, 1, 0.5]

# Оптимізація
result = minimize(pid_cost, initial_params, method='Nelder-Mead')

# Найкращі знайдені параметри
Kp_opt, Ki_opt, Kd_opt = result.x

print(f"Оптимізовані параметри: Kp={Kp_opt:.4f}, Ki={Ki_opt:.4f},
Kd={Kd_opt:.4f}")

# Оптимальний PID-регулятор
W_pid_opt = ctrl.TransferFunction([Kd_opt, Kp_opt, Ki_opt], [1, 0])
W_total_opt = ctrl.feedback(W_pid_opt * W_sys * W_sensor, 1)

# Симуляція оптимізованої системи
t_out, y_opt = ctrl.forced_response(W_total_opt, t, input_mass)

# Візуалізація результату
plt.figure(figsize=(8, 5))
plt.plot(t_out, y_opt, 'b', label='Оптимізований вихід', linewidth=2)
plt.plot(t_out, input_mass / 5000, 'r--', label='Очікуване значення', linewidth=2)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.xlabel('Час (с)')
plt.ylabel('Сигнал ваг')
plt.title('Перехідний процес оптимізованої системи')
plt.show()

```