

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

*бакалавр*

(назва освітнього ступеня)

на тему: *IoT-система дистанційного моніторингу маси товарів на складах*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

*Панас В.М.*

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

*Осухівська Г.М.*

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

*Луцик Н.С.*

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

*Осухівська Г.М.*

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

*Фриз М.Є.*

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«24» квітня 2026 р

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Панасу Віктору Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи IoT-система дистанційного моніторингу маси товарів на складах

Керівник роботи Осухівська Галина Михайлівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорона праці

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Структурна схема системи

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи

4. Результати моделювання системи



## АНОТАЦІЯ

Панас В.М. IoT-система дистанційного моніторингу маси товарів на складах : робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: IoT-система, контроль маси, дистанційний моніторинг, мікроконтролер, бездротова передача даних, хмарна платформа.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці комп'ютерної IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах. У першому розділі роботи проаналізовано технічне завдання, визначено мету та основні функції системи, сформульовано вимоги до апаратного і програмного забезпечення, а також проведено огляд існуючих аналогів і сучасних рішень у сфері IoT-моніторингу параметрів ваги.

У другому розділі виконано проектування апаратної частини системи, розроблено структурну схему та електричну принципову схему пристрою. Обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема сенсорів маси, мікроконтролера та модулів зв'язку, з урахуванням точності вимірювань, енергоефективності та надійності роботи системи.

Третій розділ присвячено розробці алгоритму функціонування системи та програмного забезпечення мікроконтролера. Реалізовано інтеграцію з IoT-платформою для збереження й візуалізації даних, а також виконано тестування системи з метою перевірки її працездатності та відповідності заданим вимогам.

## ANNOTATION

Panas V.M. IoT System for Remote Monitoring of Product Weight in Warehouses. Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: IoT system, weight control, remote monitoring, microcontroller, wireless data transmission, cloud platform.

The bachelor's qualification work is devoted to the development of a IoT system for remote monitoring of product weight in warehouses. In the first chapter, the technical task is analyzed, the purpose and main functions of the system are defined, system requirements are formulated, and an overview of existing analogs and modern IoT-based weight monitoring solutions is conducted.

The second chapter focuses on the design of the hardware part of the system. A structural diagram and an electrical schematic are developed, and the selection of the component base, including weight sensors, a microcontroller, and communication modules, is justified with regard to measurement accuracy, energy efficiency, and system reliability.

The third chapter describes the development of the system operation algorithm and microcontroller software. Integration with an IoT platform for data storage and visualization is implemented, and system testing is carried out to verify functionality and compliance with the defined requirements.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу маси товарів.....	10
1.2 Аналіз вимог до системи дистанційного моніторингу маси товарів .....	11
1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу маси товарів.....	13
1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання.....	18
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	20
2.1 Структура системи дистанційного моніторингу маси товарів.....	20
2.2 Розробка апаратного забезпечення системи моніторингу маси товарів .....	22
2.2.1 Мікроконтролерний модуль NodeMCU .....	22
2.2.2 Давач ваги .....	25
2.2.3 Двоканальний модуль тензодавачів HX711 .....	28
2.2.4 Символьний рідкокристалічний дисплей LCD 1602 .....	31
2.2.5 Сканер QR-кодів і штрих-кодів .....	33
2.3 Електрична принципова схема пристрою для дистанційного моніторингу маси товарів на складах .....	35
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	38
3.1 Розробка алгоритму роботи IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів.....	38
3.2 Розробка програмного забезпечення.....	41
3.2.1 Ініціалізація системи та налаштування апаратних і мережевих ресурсів .....	41
3.2.2 Реалізація основного циклу обробки даних та керування подіями .....	42
3.2.3 Реалізація підпрограм зчитування ідентифікаційних даних та вимірювання маси з контролем стабільності .....	45
3.2.4 Реалізація мережевої взаємодії та передачі даних у хмарне середовище .....	47

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розробив</i>		<i>Панас В.М.</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>			5	80	
<i>Рецензент</i>		<i>Фриз М.Е.</i>			<i>ТНТУ, каф. КС, зр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					

3.2.5 Реалізація буферизації даних та механізму відкладеної передачі .....	49
3.3 Налаштування хмарної платформи для зберігання та візуалізації даних .....	51
3.4 Тестування системи .....	53
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	56
4.1 Оцінка технологічного процесу щодо умов електробезпеки .....	56
4.2 Організація служби охорони праці на підприємстві .....	58
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б Перелік елементів	
Додаток В Лістинг програми	

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

HTTP – HyperText Transfer Protocol

I2C – Inter-Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

LCD – Liquid Crystal Display

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

ДВ – давач ваги

ІКС – інформаційно-керуюча система

МК – мікроконтролер

ПВІ – підсистема візуалізації інформації

ПД – передача даних

СКШ – сканер штрих-кодів

ТС – тензOMETрична система

ШК – штрих-код

ХП – хмарна платформа

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Інтенсивний розвиток логістики, промисловості, транспорту та складських комплексів спричиняє зростання вимог до точності, оперативності та надійності вимірювання маси товарів на складах. Традиційні системи зважування, що потребують локальної присутності оператора та не забезпечують автоматизованого збору й аналізу даних, обмежують можливості оперативного управління процесами та ускладнюють інтеграцію з інформаційними системами підприємств. Крім того, відсутність дистанційного доступу до результатів вимірювань знижує ефективність моніторингу та ускладнює прийняття управлінських рішень.

Розвиток технологій Інтернету речей (IoT) створює нові можливості для побудови систем контролю, здатних забезпечувати безперервний збір вимірювальних даних, їх передавання по бездротових каналах зв'язку, централізоване зберігання та наочну візуалізацію. Використання IoT-підходів у системах моніторингу маси товарів дозволяє підвищити точність вимірювань, автоматизувати процеси обліку, зменшити вплив людського фактора та забезпечити доступ до даних з будь-якої віддаленої точки. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки IoT-системи моніторингу маси товарів із дистанційним вимірюванням та візуалізацією даних.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка IoT-системи моніторингу маси товарів на складах, яка забезпечує дистанційне вимірювання, передавання, зберігання та візуалізацію даних із використанням сучасних апаратно-програмних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати технічне завдання та сформулювати вимоги до IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів;
- виконати огляд існуючих аналогів і сучасних рішень у сфері дистанційного моніторингу маси вантажів;

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити структурну та електричну принципову схеми апаратної частини системи;
- обґрунтувати вибір елементної бази з урахуванням технічних і експлуатаційних вимог;
- розробити алгоритм функціонування системи;
- реалізувати програмне забезпечення мікроконтролера та інтеграцію з IoT-платформою;
- виконати тестування розробленої системи та оцінити її працездатність і відповідність заданим вимогам.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Огляд та аналіз сфер застосування системи моніторингу маси товарів

Системи дистанційного моніторингу маси товарів знаходять широке застосування в різних галузях сучасної економіки, де важливими є точність обліку, оперативність отримання інформації та можливість інтеграції з інформаційними системами управління. Використання таких систем на основі технологій Інтернету речей дозволяє перейти від локальних і фрагментарних вимірювань до комплексного моніторингу з централізованим доступом до даних.

Однією з основних сфер застосування систем контролю маси товарів є логістика та складське господарство. У цих умовах система може використовуватися для контролю маси вантажів в процесі приймання, зберігання та відвантаження продукції. Дистанційний доступ до результатів зважування забезпечує прозорість логістичних операцій, спрощує ведення обліку та мінімізує ризик помилок, пов'язаних з ручним введенням даних. Крім того, накопичення історичних даних дозволяє здійснювати аналіз ефективності складських процесів і оптимізувати маршрути переміщення вантажів.

Важливою сферою застосування є транспорт і перевезення вантажів, зокрема автомобільні, залізничні та морські перевезення. Система контролю маси може використовуватися для попередження перевантаження транспортних засобів, що є важливим з точки зору безпеки дорожнього руху та дотримання нормативних вимог. Інтеграція системи з IoT-платформами дозволяє в реальному часі передавати дані про масу вантажу диспетчерським службам і контролюючим органам, що підвищує рівень контролю та відповідальності учасників процесу транспортування.

У виробничій сфері системи контролю маси товарів застосовуються для автоматизації технологічних процесів, де маса сировини або готової продукції є

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Панас В.М.</i>			<i>Аналіз технічного завдання</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					<i>10</i>	<i>10</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Фриз М.Е.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцки Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

критичним параметром. Такі системи забезпечують точне дозування матеріалів, контроль витрат та стабільність якості продукції. Завдяки можливості інтеграції з системами управління виробництвом, результати вимірювань можуть використовуватися для формування звітів, планування ресурсів і прийняття управлінських рішень.

Ще однією сферою застосування є аграрний сектор, де контроль маси продукції має важливе значення під час збору врожаю, зберігання та реалізації сільськогосподарської продукції. Використання IoT-системи дозволяє здійснювати оперативний облік зібраної продукції, контролювати завантаження транспортних засобів і забезпечувати достовірність даних для подальшого аналізу. Дистанційний моніторинг особливо актуальний для великих аграрних підприємств з розгалуженою інфраструктурою.

Сфера комерційного обліку та торгівлі також активно використовує системи моніторингу маси товарів. Автоматизоване зважування товарів і передавання даних у хмарні сервіси дозволяє підвищити швидкість обслуговування, забезпечити точність фінансових розрахунків і спростити процес інвентаризації. Візуалізація даних у зручному інтерфейсі надає можливість оперативно відстежувати зміни показників і виявляти відхилення.

Отже, аналіз галузей застосування системи моніторингу маси товарів свідчить про її універсальність та високий потенціал використання в різних галузях. Поєднання вимірювальних засобів із технологіями дистанційного моніторингу та візуалізації даних забезпечує підвищення ефективності процесів контролю, автоматизації обліку та підтримки прийняття рішень, що підтверджує доцільність і актуальність розробки даної системи в межах кваліфікаційної роботи.

## 1.2 Аналіз вимог до системи дистанційного моніторингу маси товарів

Аналіз вимог є необхідним етапом проектування, оскільки саме на цьому етапі визначаються ключові характеристики, яким має відповідати розроблювана система для забезпечення її ефективного та надійного функціонування. Вимоги

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формується з урахуванням умов експлуатації, специфіки об'єкта контролю, а також потреб користувачів у точному й оперативному отриманні інформації.

Однією з основних вимог є забезпечення достатньої точності та стабільності вимірювань маси вантажів. Система повинна коректно працювати з тензOMETричними давачами, виконувати перетворення та обробку сигналів, а також мінімізувати вплив зовнішніх факторів, таких як механічні вібрації, температурні коливання та електричні завади. Не менш важливою є вимога до повторюваності результатів вимірювань і можливості калібрування системи в процесі експлуатації.

Функціональні вимоги передбачають автоматизований збір даних, їх обробку та передавання на віддалений сервер або IoT-платформу. Система повинна забезпечувати збереження результатів вимірювань, формування історії даних та їх подальшу візуалізацію у вигляді графіків і таблиць. Важливою вимогою є підтримка дистанційного доступу до інформації з різних користувацьких пристроїв без необхідності фізичної присутності біля вимірювального обладнання.

Значну роль відіграють вимоги до надійності та безперервності роботи системи. Вона повинна стабільно функціонувати в умовах тривалої експлуатації, а у випадку збоїв зв'язку забезпечувати тимчасове локальне збереження даних із подальшою передачею після відновлення з'єднання. Програмне забезпечення має передбачати механізми обробки помилок і захисту від некоректних даних.

Вимоги до апаратного забезпечення включають використання енергоефективних і сумісних компонентів, здатних працювати в заданих умовах навколишнього середовища. Мікроконтролер повинен мати достатні обчислювальні ресурси та інтерфейси для підключення сенсорів і модулів зв'язку. Водночас система має бути економічно доцільною та придатною для подальшого масштабування.

Окрему увагу слід приділити вимогам до гнучкості та розширюваності системи. Архітектура повинна дозволяти модернізацію, додавання нових функцій і інтеграцію з іншими інформаційними системами.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Огляд існуючих засобів для моніторингу маси товарів

Сучасний ринок рішень для моніторингу маси товарів представлений широким спектром технічних засобів і програмних комплексів, які варіюються від традиційних стаціонарних систем для визначення ваги до складних автоматизованих комплексів з дистанційним моніторингом та інтеграцією в інформаційні платформи. Аналіз цих систем дозволяє виділити ключові підходи, їх характерні особливості, а також суттєві недоліки, які обумовлюють потребу у новому проєктному рішенні, що реалізується у межах цієї кваліфікаційної роботи.

Одним із найбільш розповсюджених рішень у сфері контролю параметрів ваги є стаціонарні вагові комплекси та ваги, що застосовуються у промислових підприємствах, в логістиці та на транспортних вузлах (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Стаціонарні промислові ваги

Такі системи зазвичай базуються на тензOMETричних давачах, платформних або майданчикових вагах, що підключаються до локального контролера або комп'ютера. Перевагою цих рішень є відносна точність вимірювань і перевірена технологія, але їх основний недолік полягає у відсутності ефективних засобів для

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Інший напрямок – це комплексні системи динамічного вагового контролю (рис. 1.3), зокрема Weigh-In-Motion (WIM) – технології, що використовуються для автоматичного вимірювання ваги та навантаження на вісь транспортних засобів під час руху [2].

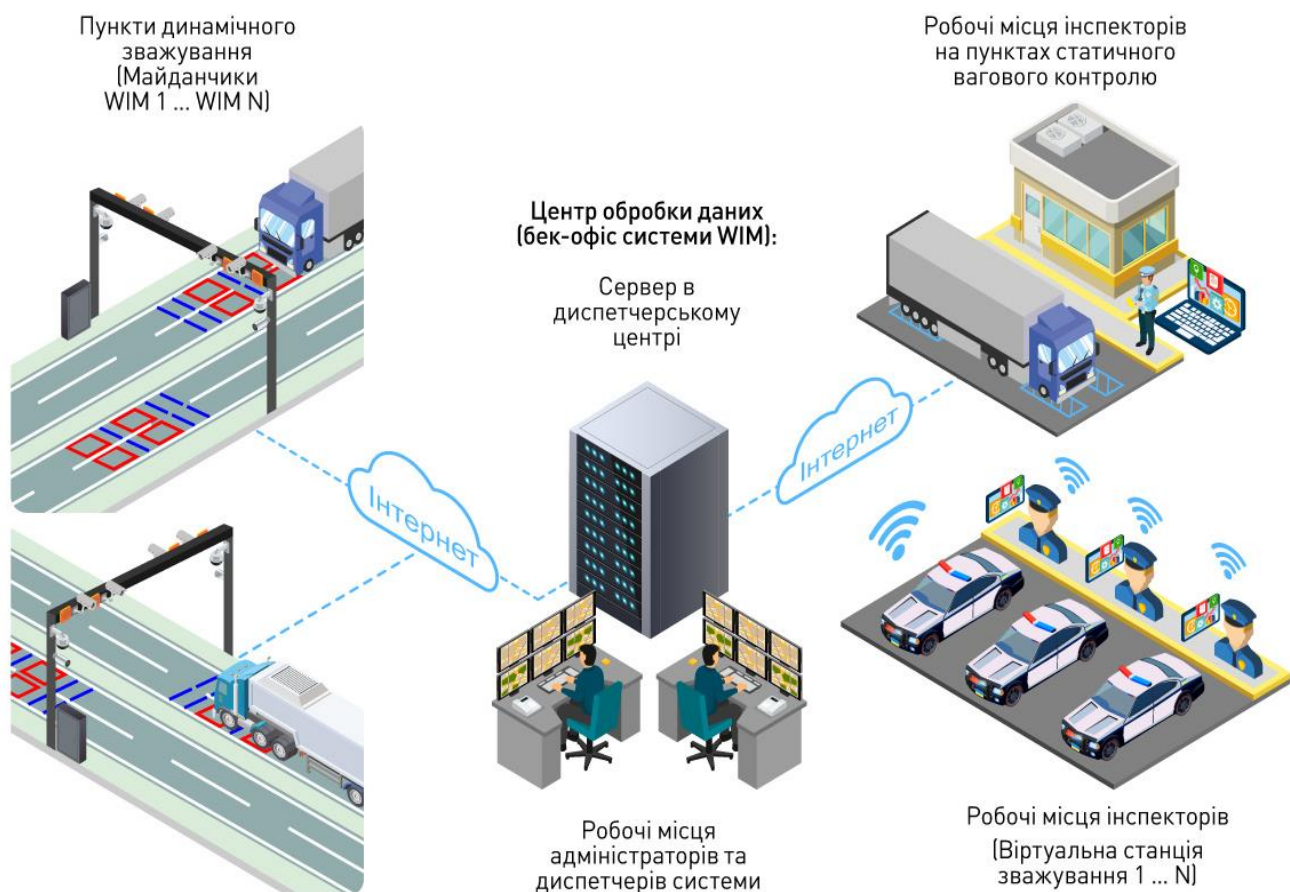


Рисунок 1.3 – Система динамічного контролю ваги Weigh-In-Motion

WIM-системи широко впроваджуються для контролю дорожнього руху, наприклад на трасах державного значення, і забезпечують масштабний моніторинг габаритно-вагових параметрів транспортних засобів. Такі системи здатні автоматично фіксувати перевищення допустимих навантажень без участі оператора, що робить їх ефективним інструментом у великих транспортних мережах із високою інтенсивністю трафіку та потребою у масштабних даних для планування дорожньої інфраструктури.

Проте WIM-системи мають кілька суттєвих недоліків у контексті універсального використання для завдань контролю маси товарів у різних галузях. По-перше, вони спроектовані переважно для контролю транспортних засобів у русі й часто мають значну апаратну складність, що включає вбудовані датчики в дорожнє полотно, спеціальні інфрачервоні та лазерні системи, відеофіксацію та інше обладнання. Це робить WIM-рішення громіздкими, дорогими у впровадженні й експлуатації, а також фізично залежними від інфраструктури дороги. По-друге, їх функціонал не завжди орієнтований на інтеграцію з IoT-платформами для гнучкої аналітики або передачі даних у корпоративні системи ERP/SCADA без значної модифікації або додаткового програмного забезпечення.

Окремо слід розглянути приклади промислових IoT-рішень для моніторингу вагових параметрів, які пропонують інтеграцію даних про вагу в ERP-системи або хмарні сервіси (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Система динамічного вагового контролю Weigh-In-Motion

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Такі системи забезпечують цифровий запис показників з датчиків, віддалене сповіщення про перевантаження, логування даних для подальших аналізів та інтеграцію з корпоративними базами даних [3]. Проте багато із них є пропрієтарними, закритими рішеннями, що залежать від конкретних виробників обладнання чи програмних платформ. Це створює ризики прив'язки користувача до постачальника, ускладнює адаптацію для специфічних умов, а також може істотно підвищувати загальну вартість рішення при масштабуванні.

Ще одним напрямом є GPS-сенсори та мобільні рішення для моніторингу ваги, такі як Smart Scale, що інтегруються з телематичними системами, наприклад Wialon. Ці пристрої забезпечують вимірювання ваги і передачу даних через бездротові інтерфейси, що дозволяє здійснювати моніторинг маси вантажних транспортних засобів із кабіни або з мобільних платформ. Такі рішення зручні для використання у автотранспортних складах, будівництві та сільському господарстві, але вони орієнтовані здебільшого на контроль ваги транспортних засобів, а не товарів у широкому спектрі застосувань. Крім того, вони можуть мати обмеження за точністю вимірювань у порівнянні зі стаціонарними комплексами або спеціалізованими системами з високоточними тензодавачами.

Проаналізовані рішення показують, що існуючі системи мають свої сильні сторони, але жодне з них не поєднує у собі всіх необхідних для універсального застосування характеристик: одночасно високу точність вимірювань, гнучкий дистанційний доступ до даних, відкритість для інтеграції з IoT-платформами та економічну доцільність при масштабуванні. Традиційні вагові комплекси обмежені локальним доступом і не забезпечують централізованого моніторингу; WIM-системи занадто специфічні для широкого класу застосувань і вимагають значних капітальних вкладень; IoT-модулі та GPS-рішення частково вирішують проблему дистанційного контролю, але часто не забезпечують необхідної функціональної глибини або мають обмеження у сфері інтеграції. Саме ці обмеження підтверджують необхідність розробки нового, адаптованого до широкого спектра задач комп'ютеризованого IoT-рішення – такого, що розглядатиметься у цій роботі.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.4 Аналіз можливих рішень поставленого завдання

Для аналізу можливих рішень потрібно провести розгляд альтернативних підходів до побудови апаратної та програмної частин системи, а також способів організації збору, передавання і візуалізації даних. Метою такого аналізу є вибір оптимальної концепції, яка забезпечить відповідність вимогам технічного завдання, економічну доцільність і можливість подальшого розвитку системи.

Одним із можливих рішень є використання традиційних стаціонарних вагових комплексів із підключенням до персонального комп'ютера та локального програмного забезпечення. Такий підхід дозволяє отримувати точні результати вимірювань і використовувати перевірені алгоритми обробки сигналів. Проте відсутність повноцінного дистанційного доступу та складність інтеграції з хмарними сервісами значно обмежують функціональні можливості системи, що не відповідає сучасним вимогам до IoT-рішень.

Іншим варіантом є застосування готових комерційних IoT-модулів для вагового контролю, які інтегруються з існуючими платформами зберігання даних. Перевагою такого рішення є швидке впровадження та наявність базових засобів візуалізації. Водночас подібні системи часто є закритими, мають обмежені можливості налаштування і залежать від конкретного виробника, що ускладнює адаптацію під специфічні вимоги та підвищує загальну вартість володіння системою.

Перспективним напрямом є розробка власної IoT-системи на основі мікроконтролерної платформи з використанням тензометричних датчиків і бездротових модулів зв'язку. Такий підхід дозволяє гнучко формувати архітектуру системи, обирати оптимальні компоненти та реалізовувати власні алгоритми обробки даних. Використання відкритих IoT-платформ забезпечує масштабованість, незалежність від постачальників і можливість інтеграції з іншими інформаційними системами.

При виборі способу передавання даних можливими є рішення на основі WiFi, мобільного зв'язку або LPWAN протоколів IoT. Кожен із варіантів має свої

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переваги та обмеження, пов'язані з дальністю зв'язку, енергоспоживанням і пропускнуою здатністю. Для універсальної системи доцільним є використання стандартних мережевих протоколів, що забезпечують стабільний обмін даними та сумісність із хмарними сервісами.

Аналіз варіантів програмної реалізації показує, що найбільш ефективним є підхід, за якого обробка первинних вимірювальних даних здійснюється на рівні мікроконтролера, а подальше зберігання та візуалізація – на IoT-платформі. Це дозволяє зменшити навантаження на канали зв'язку та забезпечити зручний доступ до даних для користувача.

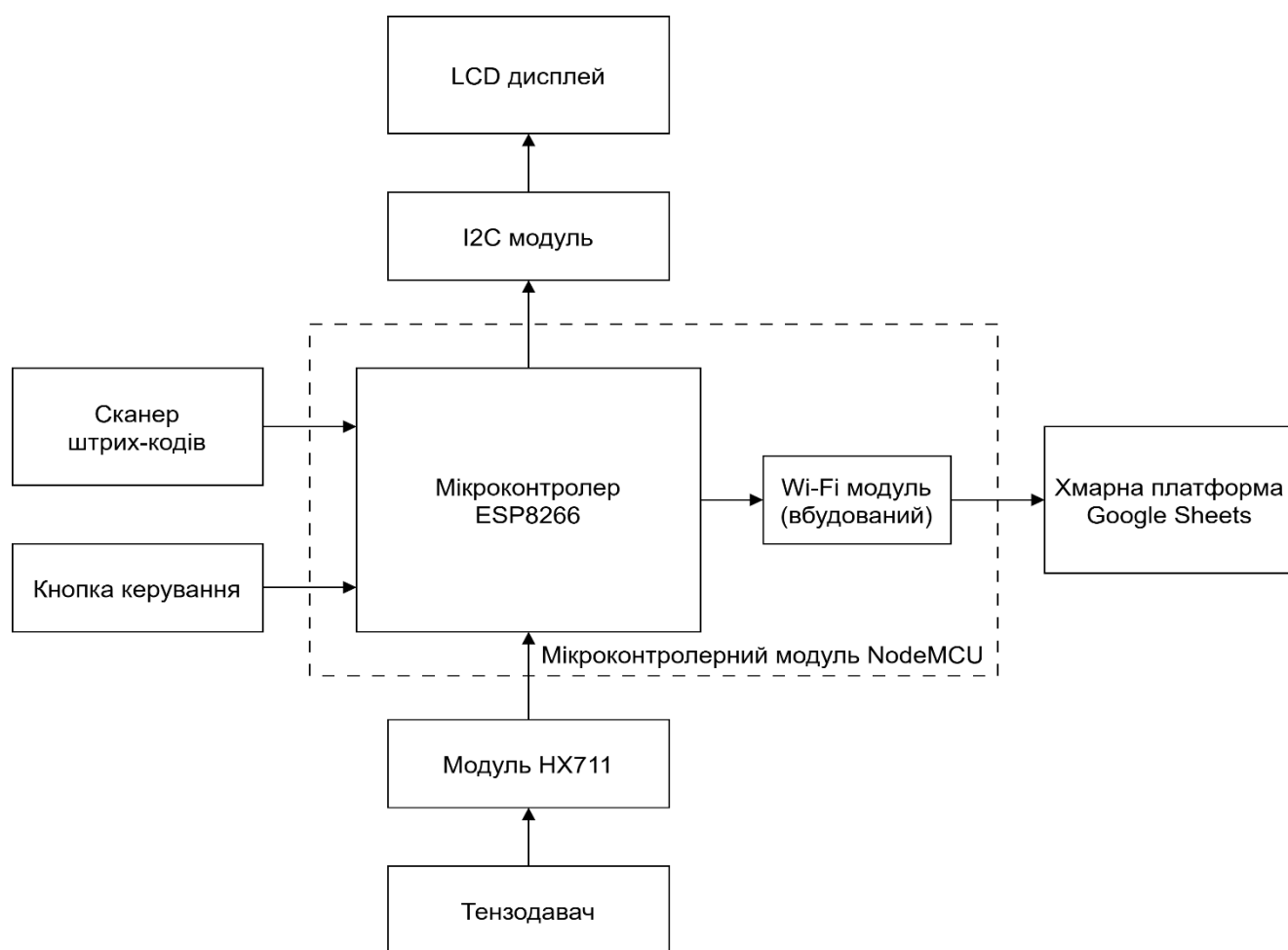
Оптимальним підходом до реалізації поставленого завдання є розробка власної IoT-системи з використанням мікроконтролерної платформи, тензометричних датчиків і хмарної IoT-платформи. Такий підхід забезпечує баланс між функціональністю, гнучкістю, масштабованістю та економічною доцільністю, що повністю відповідає вимогам кваліфікаційної роботи та сучасним тенденціям розвитку IoT-технологій.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						19
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Структура системи дистанційного моніторингу маси товарів

На етапі проєктування IoT-системи моніторингу маси товарів з дистанційним вимірюванням та візуалізацією даних було сформовано її узагальнену структурну схему, яка визначає склад основних функціональних блоків та зв'язки між ними. На рисунку 2.1 зображено структурну схему системи, що дозволяє представити архітектуру на концептуальному рівні.



Рисунком 2.1 – Структурна схема системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Панас В.М.</i>			<i>Проектна частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					20	18
<i>Рецензент</i>		<i>Фриз М.Е.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Центральним елементом системи є мікроконтролерний модуль, який виконує функції збору, обробки та передачі даних. До його входів підключено вимірювальний тракт, що складається з тензодавача та двоканального модуля перетворення сигналів. Тензодавач забезпечує перетворення механічного навантаження у електричний сигнал у вигляді зміни опору, що реалізується за мостовою схемою. Оскільки рівень сигналу з тензодавача є дуже малим, для його обробки використовується спеціалізований модуль, який виконує підсилення та аналого-цифрове перетворення, забезпечуючи передачу цифрових даних до мікроконтролера.

Для відображення результатів вимірювання та службової інформації у системі передбачено символічний рідкокристалічний дисплей. З метою оптимізації використання виводів мікроконтролера підключення дисплея здійснюється через модуль розширення інтерфейсу, що реалізує зв'язок за протоколом I2C. Це дозволяє зменшити кількість задіяних контактів та спростити апаратну реалізацію системи.

Важливим елементом взаємодії з користувачем є кнопка керування, яка підключена до цифрового входу мікроконтролера. Вона використовується для ініціювання або підтвердження процесу вимірювання маси вантажу, що дозволяє реалізувати подієво-орієнтований режим роботи системи. Такий підхід забезпечує зменшення кількості зайвих вимірювань і підвищує достовірність зафіксованих результатів.

Для ідентифікації об'єктів зважування у структуру системи інтегровано сканер штрих-кодів. Даний модуль підключається до мікроконтролера через послідовний інтерфейс і забезпечує зчитування коду товару з подальшою передачею його у вигляді текстового рядка. Отримана інформація використовується для формування повного запису, що включає ідентифікатор товару, значення маси та часову мітку, що є необхідним для організації складського обліку.

Передача даних до віддаленого середовища реалізується за допомогою бездротового інтерфейсу мікроконтролера. У якості платформи збереження та

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

візуалізації інформації обрано хмарний сервіс таблиць, який дозволяє організувати зручне представлення даних у табличному вигляді. Передача здійснюється у вигляді структурованих записів, що містять ідентифікатор товару, значення маси та часову мітку вимірювання.

## 2.2 Розробка апаратного забезпечення системи моніторингу маси товарів

### 2.2.1 Мікроконтролерний модуль NodeMCU

Мікроконтролерний модуль NodeMCU є популярною платою розробки для створення IoT пристроїв. Даний модуль побудований на базі мікроконтролера ESP8266 та поєднує у собі обчислювальний блок, бездротовий мережевий інтерфейс Wi-Fi, а також інтерфейси для підключення різноманітних датчиків і периферійних пристроїв. Завдяки наявності вбудованого мережевого стеку TCP/IP і апаратної підтримки Wi-Fi цей модуль широко використовується у системах дистанційного моніторингу, автоматизації та інших IoT-рішеннях (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Мікроконтролерний модуль NodeMCU

Модуль NodeMCU фактично є платою розробки, створеною на базі Wi-Fi-чіпа ESP8266, на якій додатково реалізовано інтерфейс USB-UART, стабілізатор живлення та розведення контактів мікроконтролера на стандартні виводи. Така конструкція значно спрощує прототипування електронних пристроїв, оскільки

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

плата може бути безпосередньо встановлена у макетну плату та програмуватися через USB-інтерфейс без застосування додаткових програматорів.

Основою модуля є мікроконтролер ESP8266, який містить 32-бітний процесор архітектури Tensilica L106. Тактову частоту процесора можна встановлювати на рівні 80 МГц або 160 МГц залежно від вимог до продуктивності. Мікроконтролер має вбудовану оперативну пам'ять і флеш-пам'ять для зберігання програмного коду та даних. Крім того, у чіпі реалізовано повноцінний Wi-Fi-контролер стандарту IEEE 802.11, що дозволяє модулю працювати як клієнт бездротової мережі, точка доступу або в комбінованому режимі. Основні характеристики модуля NodeMCU приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики модуля NodeMCU

Характеристика	Значення
Мікроконтролер	ESP8266 (ESP-12E/ESP-12F)
Архітектура процесора	Tensilica L106, 32-біт
Тактова частота	80–160 МГц
Флеш-пам'ять	4 МБ
Оперативна пам'ять	≈50–64 КБ
Стандарт бездротового зв'язку	Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n
Режими Wi-Fi	STA, AP, STA+AP
Кількість GPIO	до 11
Аналогові входи	1 (ADC)
Інтерфейси	UART, SPI, I2C, PWM
Робоча напруга	3,3 В
Напруга живлення	4,5–9 В (через VIN або USB)
Максимальний струм споживання	до 200–240 мА

До складу плати також входить USB-UART перетворювач, який забезпечує зв'язок мікроконтролера з ПК через інтерфейс USB. Наявність такого інтерфейсу значно спрощує процес розробки та тестування ПЗ.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім центрального процесора та мережевого інтерфейсу, модуль NodeMCU має набір цифрових і аналогових входів та виходів, які можуть використовуватися для взаємодії з периферійними пристроями. Зокрема, доступні GPIO-виводи підтримують роботу з інтерфейсами UART, SPI, I2C, PWM, а також можуть використовуватися для підключення датчиків, дисплеїв та інших модулів.

Принцип роботи мікроконтролерного модуля у складі проєктованої системи полягає у прийманні цифрових даних від модуля вимірювання ваги, їх програмній обробці та передачі результатів через бездротову мережу до хмарної IoT-платформи. Мікроконтролер виконує обчислення значення маси, керує роботою дисплея, а також забезпечує передачу даних у мережу Інтернет за допомогою протоколів прикладного рівня, таких як HTTP або MQTT.

Завдяки наявності вбудованого мережевого стеку TCP/IP модуль ESP8266 може працювати як клієнт мережі, відправляючи дані на сервер або IoT-платформу для подальшого збереження та візуалізації. При цьому ПЗ мікроконтролера забезпечує формування запитів до сервера, обробку відповідей та підтримку мережевого з'єднання.

Вибір мікроконтролерного модуля NodeMCU для реалізації IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів обумовлений рядом переваг. Насамперед слід відзначити наявність вбудованого бездротового інтерфейсу Wi-Fi, що дозволяє безпосередньо підключати систему до мережі Інтернет без використання додаткових модулів. Це значно спрощує апаратну частину системи та зменшує її вартість.

Крім того, модуль має достатню потужність для обробки даних вимірювань, виконання алгоритмів фільтрації та передачі інформації на IoT-платформу. Наявність різноманітних інтерфейсів введення-виведення дозволяє легко підключати до мікроконтролера тензометричні модулі, дисплеї та інші периферійні пристрої, що використовуються у даній системі.

Важливою перевагою NodeMCU є також широке поширення цієї платформи серед розробників, що забезпечує велику кількість програмних бібліотек,

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

прикладів коду та технічної документації. Це значно спрощує процес розробки програмного забезпечення та підвищує надійність створюваних систем.

Отже, мікроконтролерний модуль NodeMCU ESP8266 є ефективною апаратною платформою для побудови IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів, оскільки поєднує достатню продуктивність, вбудовані засоби бездротового зв'язку, простоту інтеграції з периферійними пристроями та доступність для реалізації прототипів і практичних пристроїв.

### 2.2.2 Давач ваги

Основним первинним вимірювальним елементом системи моніторингу маси товарів є давач ваги (тензодавач), який призначений для перетворення механічної сили або маси об'єкта у відповідний електричний сигнал. У сучасних електронних системах зважування найчастіше використовуються тензометричні давачі, що базуються на використанні тензорезисторів. Такі сенсори широко застосовуються у промислових вагових системах, електронних вагах, автоматизованих системах контролю маси продукції, логістичних комплексах, а також у різноманітних IoT-системах моніторингу параметрів об'єктів (рис. 2.3).

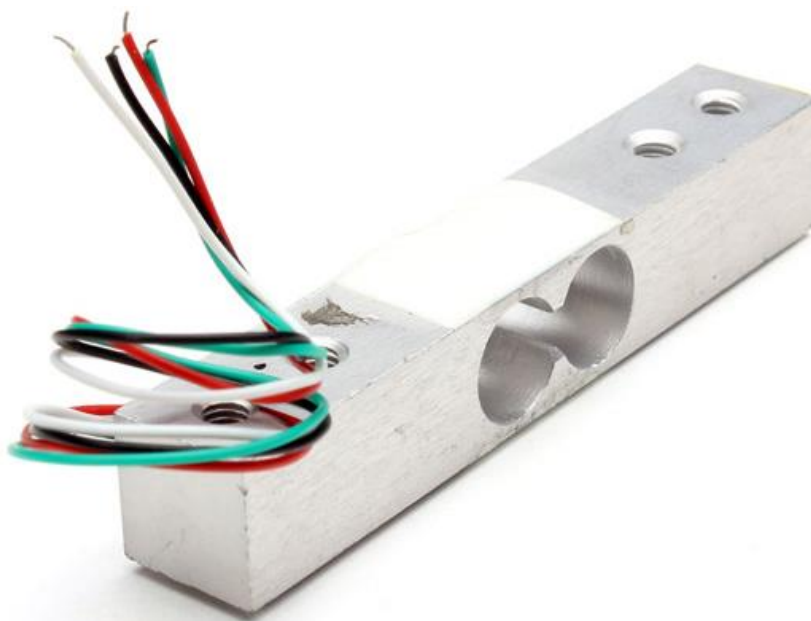


Рисунок 2.3 – Давач ваги

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тензодавач зазвичай являє собою металеву пружну балку, виготовлену з алюмінієвого або сталевого сплаву, на поверхні якої закріплені тензорезистори. При прикладенні сили або навантаження балка незначно деформується. Навіть дуже мала деформація викликає зміну електричного опору тензорезисторів, що прикріплені до поверхні балки. Ця зміна опору використовується для визначення величини прикладеного навантаження. Таким чином, механічна деформація перетворюється у зміну електричного сигналу, пропорційну масі вантажу.

Конструктивно більшість тензодавачів містить чотири тензорезистори, які з'єднані у мостову схему. Така схема дозволяє значно підвищити точність вимірювання, оскільки навіть незначна зміна опору в одному або декількох плечах мосту викликає зміну диференційної напруги на виході. При цьому вихідний сигнал тензодавача є дуже малим і зазвичай знаходиться у межах декількох мілівольт, тому для його подальшої обробки необхідно використовувати спеціальний підсилювач та АЦП, наприклад модуль НХ711.

Типовий тензодавач має чотири виводи, які використовуються для підключення до підсилювального модуля. Як правило, використовується стандартне кольорове маркування проводів: червоний – живлення мосту (E+), чорний – земля (E-), білий – позитивний сигнальний вихід (S+), зелений – негативний сигнальний вихід (S-). Таке підключення забезпечує передачу диференційного сигналу від мостової схеми до АЦП.

Принцип роботи тензодавача полягає у наступному. Коли на платформу ваги розміщується вантаж, механічне навантаження передається на пружний елемент давача. Балка деформується, внаслідок чого тензорезистори розтягуються або стискаються. Це призводить до зміни їх електричного опору. У мостовій схемі виникає диференційна напруга, величина якої пропорційна деформації балки, а відповідно і масі прикладеного вантажу. Далі цей сигнал підсилюється та оцифровується за допомогою модуля НХ711 і передається до мікроконтролера для подальшої обробки.

У рамках цієї системи доцільно використовувати компактний тензодавач балочного типу з максимальною межею вимірювання близько 5–10 кг, що є

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

достатнім для експериментального макета системи моніторингу маси товарів. Такі датчики характеризуються невеликими габаритами, високою точністю та простотою інтеграції з мікроконтролерними платформами. В таблиці 2.2 наведено основні технічні характеристики тензодавача, який використовується у проєктованій системі.

Таблиця 2.2 – Характеристики тензодавача

Характеристика	Значення
Максимальне вимірюване навантаження	5 кг
Чутливість	$1,0 \pm 0,1$ мВ/В
Номінальна напруга живлення	5 В
Вхідний опір	$1000 \pm 10$ Ом
Вихідний опір	$1000 \pm 10$ Ом
Робочий температурний діапазон	$-10 \dots +40$ °С
Матеріал корпусу	Алюмінієвий сплав
Тип підключення	4-провідний міст Вітстона

Вибір тензодавача для реалізації системи моніторингу маси товарів обумовлений рядом його переваг. По-перше, такі сенсори забезпечують високу точність і стабільність вимірювань навіть при малих навантаженнях. По-друге, вони мають просту конструкцію та легко інтегруються з електронними модулями обробки сигналів. По-третє, тензодавачі характеризуються низькою вартістю та широкою доступністю на ринку електронних компонентів. Крім того, вони добре сумісні з популярними мікроконтролерними платформами, такими як NodeMCU, та можуть використовуватися у IoT системах для віддаленого моніторингу вагових параметрів.

Завдяки зазначеним характеристикам тензодавач є ефективним засобом для використання у системі моніторингу маси товарів, оскільки забезпечує необхідну точність вимірювання, простоту інтеграції з мікроконтролером та можливість подальшої передачі даних до хмарної платформи.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.2.3 Двоканальний модуль тензодавачів HX711

Двоканальний модуль давачів ваги HX711 є спеціалізованим електронним модулем, призначеним для підключення тензодавачів до мікроконтролерних систем. Його основне призначення полягає у високоточному вимірюванні дуже малих змін напруги, що виникають у тензодавачі під дією механічного навантаження, а також у перетворенні цих аналогових сигналів у цифрову форму, придатну для подальшої обробки мікроконтролером. Завдяки високій точності, простоті підключення та низькій вартості цей модуль широко використовується у електронних вагах, системах автоматичного зважування, промислових вимірювальних комплексах, а також у IoT-пристроях моніторингу вагових параметрів (рис. 2.4).

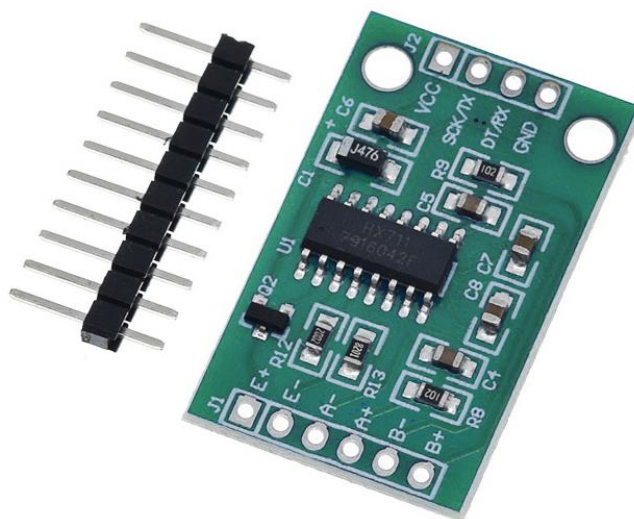


Рисунок 2.4 – Двоканальний модуль тензодавачів HX711

Основою модуля є інтегральна мікросхема HX711, яка являє собою високоточний 24-бітний АЦП, спеціально розроблений для роботи з тензометричними мостовими давачами. Мікросхема інтегрує у своєму складі підсилювач із програмованим коефіцієнтом підсилення (PGA), стабілізатор живлення, генератор тактової частоти та інтерфейс цифрового зв'язку з мікроконтролером. Така інтеграція дозволяє значно спростити апаратну реалізацію системи вимірювання ваги, оскільки відпадає потреба у використанні окремих аналогових підсилювачів або зовнішніх АЦП.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конструктивно модуль НХ711 виконаний у вигляді компактної друкованої плати, на якій розміщено мікросхему НХ711, стабілізаційні та фільтруючі елементи, а також контактні виводи для підключення тензодавача та мікроконтролера. Підключення тензодавача зазвичай здійснюється за допомогою чотирьохпровідної схеми мосту Уїтстона. Така схема дозволяє вимірювати дуже малі зміни опору тензорезисторів, які виникають під впливом механічної деформації давача. Зазвичай використовуються такі сигнальні проводи: живлення мосту, а також диференціальний сигнал.

Принцип роботи модуля полягає у вимірюванні диференціальної напруги на виході тензометричного мосту. Коли на тензодавач діє механічне навантаження, змінюється опір тензорезисторів, що призводить до появи дуже малої напруги на виході мосту (зазвичай у межах кількох мілівольт). Цей сигнал надходить на вхід програмованого підсилювача НХ711, де підсилюється у десятки або сотні разів. Після цього підсилений сигнал подається на 24-бітний АЦП, який перетворює його у цифровий код. Отримані цифрові дані передаються до мікроконтролера через двопровідний послідовний інтерфейс, що складається з ліній тактового сигналу (SCK) та передачі даних (DT). Мікроконтролер зчитує ці дані, виконує калібрування та обчислює реальне значення маси.

Однією з важливих особливостей НХ711 є наявність двох диференціальних каналів вимірювання. Перший канал підтримує коефіцієнти підсилення 64 або 128, що дозволяє працювати з дуже малими сигналами тензодавачів. Другий канал має фіксований коефіцієнт підсилення 32 і може використовуватися для альтернативних сенсорів або додаткових вимірювальних задач. Крім того, модуль має вбудовану систему придушення перешкод мережевої частоти 50 та 60 Гц.

НХ711 підтримує два режими швидкості вимірювання — 10 або 80 вимірювань за секунду. Нижча швидкість забезпечує кращу фільтрацію шумів і вищу точність, тоді як вищий режим дозволяє швидше отримувати результати вимірювань у системах, де потрібна оперативна реакція на зміну навантаження. Завдяки цифровому інтерфейсу модуль легко інтегрується з мікроконтролерами.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для проєктованої IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів використання модуля HX711 є доцільним з кількох причин. По-перше, він забезпечує дуже високу точність вимірювання завдяки 24-бітному АЦП. По-друге, модуль спеціально оптимізований для роботи з тензометричними давачами, що значно спрощує розробку вимірювального вузла системи. По-третє, HX711 має низьке енергоспоживання, що важливо для IoT-пристроїв, які можуть працювати тривалий час у автономному режимі. Крім того, він підтримує широкий діапазон напруг живлення (2,6–5,5 В), що робить його сумісним з мікроконтролерним модулем NodeMCU, який працює від напруги 3,3 В.

Перевагою також є простота програмної інтеграції. Для роботи з HX711 існує велика кількість готових бібліотек, що дозволяє значно скоротити час розробки ПЗ системи. Завдяки цьому мікроконтролер може легко зчитувати цифрові дані з модуля, виконувати калібрування давача, обчислювати значення маси та передавати результати у хмарну IoT-платформу. Основні технічні характеристики модуля HX711 наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики модуля HX711

Характеристика	Значення
Тип пристрою	24-бітний АЦП для тензодатчиків
Кількість каналів	2 диференціальні канали
Коефіцієнт підсилення	32, 64, 128
Розрядність АЦП	24 біти
Напруга живлення	2,6–5,5 В
Споживаний струм	<1,5 мА
Швидкість вимірювання	10 або 80 вимірювань за секунду
Інтерфейс зв'язку	двопровідний цифровий (DT, SCK)
Робочий температурний діапазон	–20...+85 °С

Отже, двоканальний модуль HX711 є ефективним і економічно доцільним рішенням для створення вимірювального вузла системи дистанційного

моніторингу маси товарів. Його висока точність, простота інтеграції з мікроконтролерами та оптимізація для роботи з тензометричними давачами роблять його одним із найбільш поширених компонентів у сучасних електронних вагових системах та IoT-пристроях моніторингу навантаження.

#### 2.2.4 Символьний рідкокристалічний дисплей LCD 1602

Символьний рідкокристалічний дисплей LCD 1602 є одним із найпоширеніших засобів виведення текстової інформації у мікроконтролерних та вбудованих системах. Він широко застосовується у навчальних, промислових та побутових електронних пристроях, зокрема у системах моніторингу, вимірювання та керування. Основною особливістю цього дисплея є можливість відображення текстових символів у форматі 16×2, тобто два рядки по шістнадцять символів у кожному. Завдяки простоті підключення, низькому енергоспоживанню та хорошій читабельності інформації дисплей LCD 1602 широко використовується разом із мікроконтролерами сімейства Arduino, ESP8266, ESP32 та іншими платформами (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Рідкокристалічний дисплей LCD 1602

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Конструктивно дисплей LCD 1602 складається з рідкокристалічної матриці, плати керування з контролером, системи підсвічування та контактної роз'єму для підключення до зовнішніх пристроїв. Рідкокристалічна матриця формує символи шляхом керування прозорістю рідких кристалів, що розташовані між двома поляризаційними фільтрами. Кожен символ формується у вигляді матриці точок (пікселів), які керуються електричними сигналами з контролера дисплея. Підсвічування, яке зазвичай реалізується за допомогою світлодіодів синього або зеленого кольору, забезпечує хорошу видимість символів навіть при слабкому освітленні.

Основним елементом керування дисплеєм є спеціалізований контролер HD44780. Цей контролер виконує функції формування зображення, зберігання символів у внутрішній пам'яті та приймання команд від мікроконтролера. Контролер підтримує стандартний набір ASCII-символів, а також дозволяє створювати власні користувацькі символи у спеціальній області пам'яті.

У проєктованій IoT-системі дистанційного моніторингу маси товарів дисплей LCD 1602 використовується для локального відображення результатів вимірювання маси. На екрані можуть відображатися поточне значення маси, службові повідомлення системи, стан з'єднання з мережею або інша допоміжна інформація. Це дозволяє оператору оперативного отримувати дані без необхідності звертатися до хмарної платформи.

Вибір дисплея LCD 1602 для реалізації системи є обґрунтованим з кількох причин. По-перше, дисплей має достатню інформаційну місткість для відображення основних параметрів системи. По-друге, він характеризується низьким енергоспоживанням і невисокою вартістю, що є важливим фактором при створенні IoT-пристроїв. По-третє, цей дисплей легко інтегрується з мікроконтролерним модулем NodeMCU, особливо при використанні I2C-адаптера, що дозволяє значно спростити схему підключення. Крім того, широке поширення LCD 1602 забезпечує наявність великої кількості бібліотек, прикладів програм та технічної документації, що спрощує процес розробки системи. Технічні характеристики дисплея LCD 1602 наведені у таблиці 2.4.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики дисплея LCD 1602

Параметр	Значення
Тип дисплея	Рідкокристалічний символний
Формат відображення	16 символів × 2 рядки
Контролер	HD44780 або сумісний
Напруга живлення	5 В
Споживаний струм	≈ 2 мА (без підсвічування)
Кількість контактів	16
Інтерфейс підключення	Паралельний (4- або 8-бітний), можливий I2C через адаптер
Розміри модуля	приблизно 80 × 36 мм
Розмір символу	приблизно 4,35 × 2,95 мм
Робочий температурний діапазон	приблизно 0...50 °С
Тип підсвічування	світлодіодне (синє, зелене або жовте)

Отже, символний дисплей LCD 1602 є простим, надійним і економічним засобом відображення текстової інформації у вбудованих системах. Його використання у IoT-системі дистанційного моніторингу маси товарів забезпечує зручне локальне відображення результатів вимірювань та стану роботи системи, що підвищує зручність експлуатації та функціональність розроблюваного пристрою.

### 2.2.5 Сканер QR-кодів і штрих-кодів

Сканер QR-кодів і штрих-кодів являє собою компактний інтегрований модуль автоматичного розпізнавання оптичних кодів, призначений для використання у вбудованих системах, зокрема в IoT-рішеннях складського обліку. Конструктивно пристрій виконаний у вигляді модуля з оптичною системою, CMOS-матрицею, вбудованим мікропроцесором обробки зображень та інтерфейсними вузлами. Його габарити дозволяють легко інтегрувати модуль у корпус пристрою або вимірювальну платформу (рис. 2.6).

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



Рисунок 2.6 – Сканер QR-кодів і штрих-кодів

Будова сканера включає кілька ключових функціональних блоків: оптичну систему (лінза та підсвітка), сенсор зображення, процесор обробки сигналів та інтерфейс зв'язку. Вбудоване джерело світла забезпечує стабільність роботи навіть за недостатнього освітлення, що є типовою умовою складських приміщень. CMOS-матриця виконує захоплення зображення штрих- або QR-коду, після чого отримані дані передаються на внутрішній обчислювальний блок. Характеристики сканера штрих-кодів наведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристики сканера штрих-кодів

Параметр	Значення
Робоча напруга	5 В
Споживаний струм	~210 мА (сканування), ≤25 мА (очікування), ~2 мА (сон)
Інтерфейси	UART, USB
Тип сенсора	CMOS
Роздільна здатність	640 × 980
Підтримка кодів	1D: Code39, Code128, EAN, UPC тощо 2D: QR, DataMatrix, PDF417
Кути сканування	roll 360°, skew ±65°, pitch ±60°
Освітлення	Вбудоване (біле LED)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Принцип роботи базується на використанні алгоритмів комп'ютерного зору та розпізнавання образів. Після наведення сканера на код формується цифрове зображення, яке аналізується для виділення характерних структур (штрихів або матриці QR). Далі виконується декодування відповідно до стандартів, після чого результат перетворюється у текстовий рядок. Цей рядок передається через інтерфейс UART або USB у мікроконтролер системи.

Важливою особливістю є те, що модуль не потребує складної обробки на стороні мікроконтролера — вся логіка розпізнавання реалізована всередині пристрою. Це суттєво спрощує програмну реалізацію системи, особливо при використанні ESP32. Сканер підтримує широкий спектр форматів: одновимірні штрих-коди та двовимірні коди, що робить його універсальним для складських задач.

Вибір цього сканера для IoT-системи моніторингу маси товарів є технічно обґрунтованим з кількох причин. По-перше, підтримка UART забезпечує пряму інтеграцію з ESP32 без додаткових контролерів. Це критично для зменшення складності апаратної частини. По-друге, вбудована обробка зображень дозволяє уникнути ресурсоємних алгоритмів комп'ютерного зору на мікроконтролері. Фактично система отримує вже готовий ASCII-рядок. По-третє, можливість зчитування як з паперу, так і з екранів дозволяє працювати з електронними накладними або мобільними пристроями персоналу. По-четверте, компактність і наявність підсвітки роблять модуль придатним для експлуатації в умовах складу, де освітлення може бути нерівномірним.

### 2.3 Електрична принципова схема пристрою для дистанційного моніторингу маси товарів на складах

На рисунку 2.7 наведено електричну принципову схему системи, яка включає мікроконтролерний модуль, вимірювальний тракт, інтерфейсні пристрої, засоби введення та модуль живлення.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



підтягуючий резистор, що дозволяє фіксувати натискання кнопки як перехід сигналу з логічної одиниці в нуль.

Сканер штрих-кодів підключається до мікроконтролера через послідовний інтерфейс UART. Вивід TX сканера (передача даних) підключається до порту D7, який використовується як програмний приймач (RX) мікроконтролера. Вивід RX сканера може підключений до порту D8.

Модуль живлення для макетної плати забезпечує формування стабілізованих напруг 5 В та 3,3 В, необхідних для живлення різних компонентів системи. Живлення подається від зовнішнього джерела (наприклад, адаптера або USB), після чого розподіляється між усіма компонентами.

Електрична принципова схема демонструє логічно узгоджену структуру підключення всіх компонентів системи. Використання стандартних інтерфейсів, таких як I2C та UART, спрощує інтеграцію модулів і підвищує надійність роботи системи. Запропонована схема забезпечує коректне функціонування вимірювального тракту, засобів введення та відображення інформації, а також передачу даних до віддалених сервісів, що є необхідним для реалізації IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						<i>37</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Розробка алгоритму роботи IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів

Алгоритм роботи IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах базується на поєднанні процесів ідентифікації об'єктів, точного вимірювання маси, локальної обробки даних та їх передачі до віддаленого середовища зберігання. Основною метою алгоритму є забезпечення достовірного обліку вантажів при мінімізації впливу людського фактора та оптимізації використання обчислювальних і мережевих ресурсів.

Після подачі живлення відбувається ініціалізація апаратних та програмних компонентів системи. Мікроконтролер налаштовує інтерфейси взаємодії з периферійними пристроями: модулем вимірювання маси, дисплеєм, сканером штрих-кодів та кнопкою керування. Одночасно встановлюється з'єднання з бездротовою мережею для подальшої передачі даних до віддаленої платформи. Після завершення ініціалізації система переходить у режим очікування події.

Початковим етапом основного циклу є ідентифікація товару (рис. 3.1). Для цього використовується сканер штрих-кодів, який передає у мікроконтролер текстове значення коду. Отриманий рядок зберігається у буфері як ідентифікатор поточного об'єкта. У разі відсутності зчитаного коду система блокує подальші дії, що дозволяє уникнути запису невизначених даних та підвищує коректність обліку.

Після успішної ідентифікації оператор розміщує товар на ваговій платформі, що призводить до зміни сигналу тензодавача. Мікроконтролер отримує дані з модуля перетворення та виконує серію вимірювань із подальшим усередненням для зменшення впливу шумів. Ключовим етапом є автоматичне визначення стабільності маси, яке реалізується шляхом аналізу зміни результатів у часі.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Панас В.М.</i>			<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					<i>38</i>	<i>18</i>
<i>Рецензент</i>		<i>Фриз М.Е.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

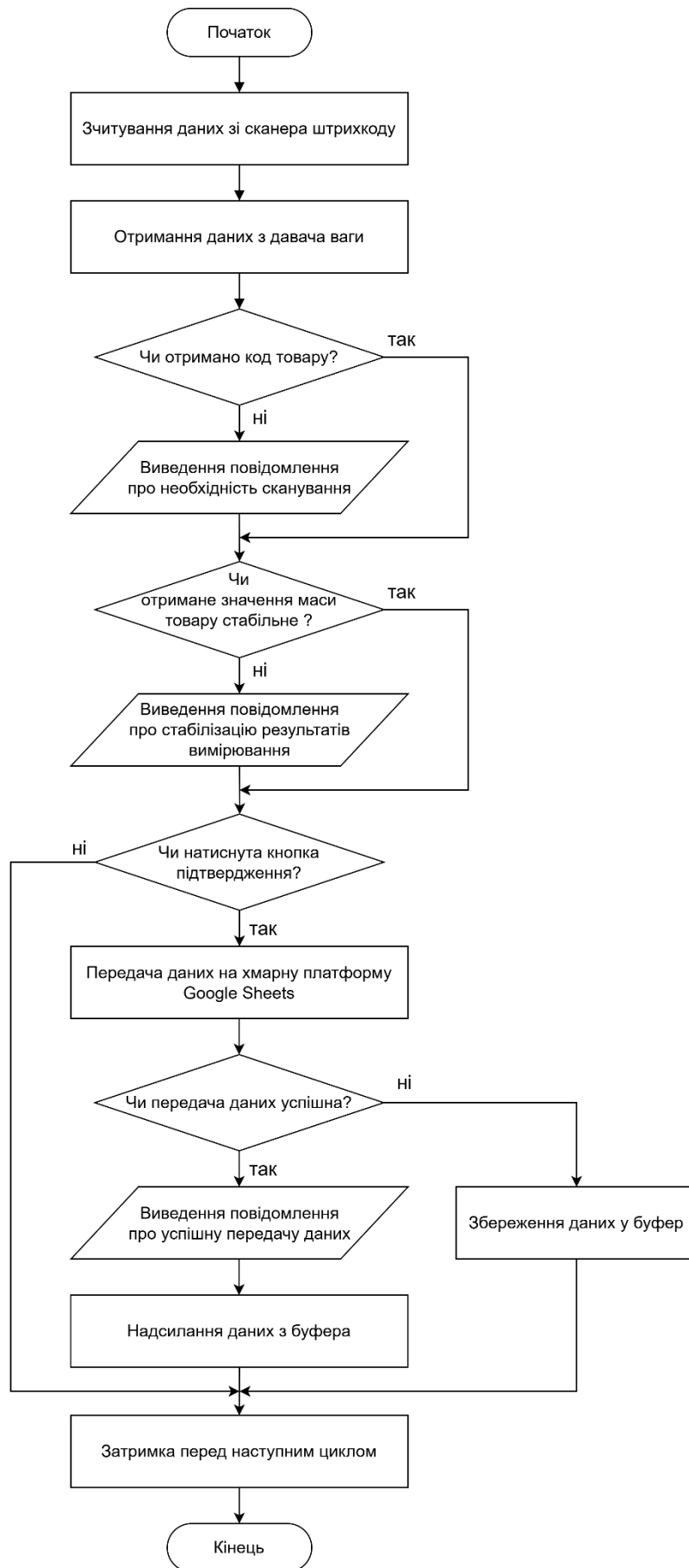


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи головної циклічної підпрограми у ІоТ-системі дистанційного моніторингу маси товарів

Якщо різниця між послідовними вимірюваннями не перевищує встановленого порогового значення протягом заданого інтервалу, маса вважається стабільною.

Для підвищення надійності фіксації результату використовується кнопка керування, яка виконує функцію підтвердження вимірювання. Після досягнення стабільного значення маси система очікує натискання кнопки, що дозволяє оператору переконатися у правильності виконаної операції. Такий підхід забезпечує поєднання автоматизованого контролю та участі користувача, що є доцільним у складських умовах.

Після підтвердження формується структурований запис, який включає ідентифікатор товару, значення маси та часову мітку. Отримані дані відображаються на дисплеї для локального контролю та передаються до віддаленої системи зберігання. Передача здійснюється за подієвим принципом, тобто лише після завершення повного циклу вимірювання, що дозволяє зменшити навантаження на мережу.

У випадку відсутності мережевого з'єднання реалізується механізм буферизації даних. Сформований запис зберігається у локальній пам'яті мікроконтролера та очікує відновлення зв'язку. Після повторного встановлення з'єднання система автоматично передає накопичені дані у хронологічному порядку, забезпечуючи цілісність інформації та відсутність втрат.

Після завершення передачі система перевіряє, чи було знято вантаж з вагової платформи. Це необхідно для уникнення повторного запису одного й того ж об'єкта. Лише після повернення значення маси до початкового рівня система переходить у початковий стан очікування наступного циклу роботи.

Розроблений алгоритм забезпечує комплексну реалізацію функцій ідентифікації, вимірювання, обробки та передачі даних. Його особливістю є поєднання автоматичних механізмів контролю зі свідомим підтвердженням операцій користувачем, що підвищує достовірність результатів та ефективність використання системи у реальних умовах складської логістики.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3.2 Розробка програмного забезпечення

### 3.2.1 Ініціалізація системи та налаштування апаратних і мережевих ресурсів

На етапі ініціалізації формується базове середовище функціонування IoT-системи моніторингу маси товарів, включаючи налаштування інтерфейсів обміну даними, конфігурацію периферійних пристроїв та встановлення початкових параметрів вимірювання (рис. 3.2).

```
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  Serial.swap(); // використання D7 як RX, а D8 як TX  
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  scale.begin(DT, SCK);  
  scale.set_scale(calibration_factor);  
  scale.tare();  
  connectWiFi();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("System Ready");  
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду підпрограми setup()

На початку підпрограми виконується ініціалізація послідовного інтерфейсу, що забезпечує можливість обміну даними між мікроконтролером і зовнішніми пристроями. Додатково активується режим перенаправлення стандартних виводів послідовного інтерфейсу на альтернативні контакти мікроконтролера. Це дозволяє використовувати відповідні лінії для підключення сканера штрих-кодів без конфлікту з іншими функціональними модулями системи.

Далі виконується налаштування цифрового входу, до якого підключена кнопка керування. Наступним етапом є ініціалізація засобів відображення інформації. Символьний дисплей переводиться у робочий режим, після чого активується підсвічування для забезпечення зручності візуального контролю. Це дозволяє одразу після запуску системи відображати службові повідомлення та результати вимірювань, що є важливим з точки зору взаємодії з оператором.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особлива увага приділяється налаштуванню підсистеми вимірювання маси. Модуль обробки сигналу тензодавача ініціалізується із зазначенням відповідних контактів мікроконтролера. Після цього встановлюється коефіцієнт калібрування, який забезпечує коректне перетворення цифрових значень у фізичні одиниці маси. Виконується процедура тарування, що дозволяє обнулити покази при відсутності навантаження та компенсувати власну вагу конструкції. Це є критично важливим для досягнення високої точності вимірювань у подальшій роботі системи.

Окремим кроком реалізується підключення до бездротової мережі. Виклик відповідної функції забезпечує встановлення з'єднання з точкою доступу Wi-Fi, що є необхідною умовою для передачі даних на віддалений сервер або у хмарну платформу. Наявність мережевого з'єднання дозволяє системі функціонувати у складі IoT-інфраструктури та забезпечувати дистанційний моніторинг параметрів.

На завершальному етапі підпрограми на дисплей виводиться повідомлення про готовність системи до роботи. Це виконує індикаційну функцію та сигналізує користувачу про успішне завершення процесу ініціалізації.

### 3.2.2 Реалізація основного циклу обробки даних та керування подіями

Підпрограма основного циклу визначає логіку безперервного функціонування IoT-системи моніторингу маси товарів та реалізує подієорієнтований підхід до обробки даних. У процесі виконання циклу здійснюється періодичне опитування підключених пристроїв, аналіз стану системи та прийняття рішень щодо подальших дій, зокрема передачі даних або очікування нових подій (рис. 3.3).

На початку кожної ітерації циклу відбувається зчитування даних зі сканера штрих-кодів, а також вимірювання поточного значення маси. Таким чином забезпечується актуалізація інформації про ідентифікатор товару та його вагові параметри. Отримані дані використовуються у подальших умовних перевірках, які визначають сценарій роботи системи.

Першим логічним етапом є перевірка наявності зчитаного коду. Якщо ідентифікатор товару відсутній, система не переходить до наступних операцій,

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки прив'язка ваги до конкретного об'єкта є обов'язковою умовою. У такому випадку на дисплей виводиться відповідне повідомлення з інструкцією для користувача щодо необхідності сканування коду, після чого виконання поточної ітерації циклу завершується достроково.

```
void loop() {
  readScanner();
  readWeight();
  // якщо немає коду – нічого не робимо
  if (scannedCode == "") {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Scan code...");
    return;
  }
  // якщо маса нестабільна
  if (!stable) {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Stabilizing...");
    return;
  }
  // очікуємо кнопку
  if (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW && !sent) {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Sending...");
    if (sendData(scannedCode, weight)) {
      lcd.clear();
      lcd.print("Sent OK");
      sendBuffer(); // пробуємо відправити буфер
    } else {
      lcd.clear();
      lcd.print("Saved buffer");
      String data = scannedCode + "|" + String(weight);
      saveToBuffer(data);
    }
    sent = true;
    delay(2000);
    // скидання
    scannedCode = "";
    stable = false;
    stableCount = 0;
    lcd.clear();
  }
  delay(200);
}
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду підпрограми loop()

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наступною умовою є перевірка стабільності вимірної маси. Якщо система визначає, що значення ваги ще не досягло стабільного стану, обробка також призупиняється. Це дозволяє уникнути фіксації некоректних або перехідних значень, що можуть виникати під час розміщення товару на платформі. Користувач при цьому отримує повідомлення про процес стабілізації, що підвищує інформативність взаємодії з системою.

У разі виконання попередніх умов система переходить до етапу очікування підтвердження від оператора. Натискання кнопки розглядається як сигнал завершення процесу зважування та готовності до передачі даних. Додатково контролюється прапорець, що запобігає повторному надсиланню одних і тих самих даних у межах одного циклу обробки.

Після активації події передачі на дисплей виводиться службове повідомлення, що інформує про початок процесу відправлення. Далі виконується спроба передачі сформованого пакета даних, який включає ідентифікатор товару та відповідне значення маси. У випадку успішної передачі система повідомляє про це користувача та ініціює процедуру відправлення раніше накопичених у буфері даних, що могли бути збережені через відсутність зв'язку.

Якщо ж передача даних не відбулася, система переходить до альтернативного сценарію, при якому інформація зберігається у внутрішньому буфері. Для цього формується структурований запис, що об'єднує код товару та значення маси у єдиний рядок. Такий підхід дозволяє забезпечити збереження критично важливих даних і гарантує їх подальшу передачу після відновлення мережевого з'єднання.

Після завершення обробки події передбачено встановлення відповідного стану, який блокує повторне виконання операції до моменту скидання. Невелика затримка використовується для забезпечення коректного відображення результату на дисплеї та запобігання випадковим повторним спрацюванням. Далі відбувається очищення змінних стану системи, що дозволяє підготувати систему до обробки наступного об'єкта. На завершення кожної ітерації циклу реалізовано коротку затримку, яка обмежує частоту опитування давачів.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

### 3.2.3 Реалізація підпрограм зчитування ідентифікаційних даних та вимірювання маси з контролем стабільності

У структурі програмного забезпечення важливе місце займають підпрограми, що відповідають за отримання первинних даних від периферійних пристроїв. До таких належать функції зчитування ідентифікаційного коду товару зі сканера та вимірювання маси за допомогою тензометричної підсистеми. Їх реалізація забезпечує формування вхідної інформації для подальшої обробки та прийняття рішень у межах основного алгоритму роботи системи.

Підпрограма зчитування даних зі сканера реалізує обробку інформації, що надходить через послідовний інтерфейс. Перевірка наявності доступних даних дозволяє уникнути помилкових операцій зчитування та забезпечує асинхронну взаємодію зі сканером. У разі отримання даних формується текстовий рядок, який відповідає зчитаному штрих-коду. Використання спеціального символу завершення дозволяє коректно виділити повний пакет даних, що передається сканером (рис. 3.4).

```
void readScanner() {  
    if (Serial.available()) {  
        scannedCode = Serial.readStringUntil('\n');  
        scannedCode.trim();  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("Code:");  
        lcd.setCursor(0,1);  
        lcd.print(scannedCode);  
        sent = false;  
    }  
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду підпрограми readScanner()

Після отримання ідентифікаційного коду виконується його додаткова обробка, зокрема видалення службових символів, що можуть міститися на початку або в кінці рядка. Це забезпечує уніфіковане представлення даних та їх коректне використання у подальших операціях. Одночасно відбувається

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

оновлення інформації на дисплеї: попередні дані очищуються, після чого виводиться новий ідентифікатор товару. Такий підхід забезпечує наочність та оперативність відображення результатів сканування для оператора.

Крім того, у процесі зчитування коду виконується скидання логічного прапорця, що відповідає за факт передачі даних. Це необхідно для того, щоб система могла коректно обробити новий об'єкт і не блокувала повторну передачу інформації, яка відповідає новому циклу зважування.

Підпрограма вимірювання маси реалізує періодичне зчитування даних з модуля обробки сигналу тензодавача. Для підвищення точності результату використовується усереднення кількох вимірювань, що дозволяє зменшити вплив шумів та випадкових коливань сигналу. Отримане значення маси зберігається у відповідній змінній і використовується для подальшого аналізу (рис. 3.5).

```
void readWeight() {  
    weight = scale.get_units(5);  
    if (abs(weight - lastWeight) < STABLE_THRESHOLD) {  
        | stableCount++;  
    } else {  
        | stableCount = 0;  
    }  
    if (stableCount >= STABLE_COUNT_REQUIRED) {  
        | stable = true;  
    } else {  
        | stable = false;  
    }  
    lastWeight = weight;  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("W:");  
    lcd.print(weight, 2);  
    lcd.print(" kg  ");  
}
```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду підпрограми readWeight()

Ключовим елементом цієї підпрограми є реалізація механізму визначення стабільності вимірювання. Для цього виконується порівняння поточного значення маси з попереднім. Якщо різниця між ними не перевищує заданого порогового

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значення, система вважає, що маса змінюється незначно, і збільшує лічильник стабільних вимірювань. У протилежному випадку лічильник обнуляється, що свідчить про наявність нестабільного стану.

Подальший аналіз базується на досягненні заданої кількості послідовних стабільних вимірювань. Якщо це значення перевищує встановлений поріг, система встановлює стан стабільності маси. Такий підхід дозволяє ефективно відфільтрувати короточасні коливання та забезпечує фіксацію лише усталених значень, що є важливим для підвищення точності вимірювань у практичних умовах експлуатації.

Окрім обчислювальних операцій, підпрограма забезпечує відображення поточного значення маси на дисплеї. Інформація виводиться у зручному для сприйняття форматі з зазначенням одиниць вимірювання. Оновлення даних відбувається у кожній ітерації, що дозволяє контролювати процес зміни ваги.

### 3.2.4 Реалізація мережевої взаємодії та передачі даних у хмарне середовище

Важливою складовою ПЗ IoT-системи є підсистема мережевої взаємодії, яка забезпечує підключення до бездротової мережі та передачу зібраних даних у віддалене середовище зберігання і обробки. Підпрограма підключення до бездротової мережі виконує ініціалізацію клієнтського режиму роботи мікроконтролера та запуск процедури автентифікації з використанням заданих облікових даних (рис. 3.6).

```
void connectWiFi() {  
    WiFi.begin(ssid, password);  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Connecting...");  
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
        delay(500);  
    }  
    lcd.clear();  
    lcd.print("WiFi OK");  
}
```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду підпрограми connectWiFi()

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Одразу після початку процесу на дисплей виводиться повідомлення про встановлення з'єднання, що виконує індикаційну функцію та дозволяє оператору контролювати стан системи. Далі реалізовано цикл очікування, у якому періодично перевіряється статус підключення. Такий підхід забезпечує блокування подальшого виконання програми до моменту успішного встановлення зв'язку, що є важливим для коректної роботи системи у складі IoT-інфраструктури.

Після успішного підключення до мережі виконується оновлення інформації на дисплеї, що сигналізує про готовність до передачі даних. Це дозволяє оператору переконатися у працездатності мережевої підсистеми перед початком основного циклу роботи. Водночас, реалізація такої підпрограми забезпечує централізоване управління підключенням до мережі та спрощує повторне використання даного функціоналу у разі необхідності повторної ініціалізації.

Підпрограма передачі даних реалізує взаємодію з віддаленим сервером за протоколом HTTP. Перед початком передачі виконується перевірка наявності активного мережевого з'єднання, що дозволяє уникнути зайвих спроб комунікації у випадку відсутності доступу до мережі. У разі відсутності з'єднання функція негайно завершується, повертаючи ознаку невдачі, що використовується в основному алгоритмі для прийняття альтернативних рішень, зокрема буферизації даних (рис. 3.7).

```
bool sendData(String code, float w) {
    if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return false;
    WiFiClient client;
    HTTPClient http;
    String url = String(serverName) + "?code=" + code + "&weight=" + String(w);
    http.begin(client, url);
    int httpStatusCode = http.GET();
    http.end();
    return (httpStatusCode > 0);
}
```

Рисунок 3.7 – Лістинг коду функції sendData()

У випадку наявності підключення формується HTTP-запит, який містить параметри, що передаються на сервер. Дані ідентифікатора товару та значення

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маси інтегруються у рядок запиту у вигляді параметрів URL. Такий підхід відповідає принципам REST-взаємодії та забезпечує просту інтеграцію з веб-сервісами, зокрема з обробниками запитів, що використовуються для запису даних у хмарні таблиці.

Для встановлення з'єднання із сервером використовується клієнтська мережева бібліотека, яка забезпечує створення HTTP-сесії. Після ініціалізації запиту виконується його відправлення методом GET, що дозволяє передати дані на сервер без необхідності складної структури повідомлення. Отриманий код відповіді сервера використовується як індикатор результату операції. Після завершення обміну з'єднання коректно закривається, що дозволяє звільнити ресурси мікроконтролера.

Результатом виконання підпрограми є логічне значення, яке сигналізує про успішність або невдачу передачі даних. Це значення використовується у головному циклі програми для реалізації механізмів повторної передачі або збереження даних у буфері.

### 3.2.5 Реалізація буферизації даних та механізму відкладеної передачі

Для підвищення надійності функціонування IoT-системи в умовах нестабільного або переривчастого мережевого з'єднання у програмному забезпеченні реалізовано механізм буферизації даних. Відповідні підпрограми забезпечують тимчасове збереження результатів вимірювання та їх подальшу передачу після відновлення зв'язку, що дозволяє уникнути втрати критично важливої інформації.

Підпрограма збереження даних у буфері виконує просту, але ефективну функцію накопичення записів у внутрішньому масиві. Перед додаванням нового елемента здійснюється перевірка доступного місця у буфері, що запобігає виходу за межі виділеної пам'яті. У разі наявності вільної позиції сформований рядок, який містить об'єднані дані ідентифікатора товару та відповідного значення маси, записується у масив. Одночасно збільшується індекс, що вказує на поточну кількість збережених записів (рис. 3.8).

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

void saveToBuffer(String data) {
    if (bufferIndex < BUFFER_SIZE) {
        |   bufferData[bufferIndex++] = data;
        |   }
    }
}

```

Рисунок 3.8 – Лістинг коду підпрограми saveToBuffer()

Формат збереження інформації у вигляді одного текстового рядка з використанням спеціального роздільника дозволяє компактно представити кілька параметрів в одному елементі масиву. Це спрощує структуру буфера та зменшує витрати пам'яті, що є важливим для мікроконтролерних систем із обмеженими ресурсами.

Підпрограма передачі буферизованих даних реалізує механізм відкладеної синхронізації з віддаленим сервером. У процесі її виконання здійснюється послідовний перегляд усіх збережених записів. Для кожного елемента виконується розбір рядка з метою виділення окремих складових: ідентифікатора товару та значення маси. Це досягається шляхом пошуку позиції роздільника та формування відповідних підрядків, один з яких додатково перетворюється у числовий формат (рис. 3.9).

```

void sendBuffer() {
    for (int i = 0; i < bufferIndex; i++) {
        |   int sep = bufferData[i].indexOf('|');
        |   String code = bufferData[i].substring(0, sep);
        |   float w = bufferData[i].substring(sep + 1).toFloat();
        |   if (sendData(code, w)) {
        |       |   delay(200);
        |   }
        |   }
    }
    bufferIndex = 0;
}

```

Рисунок 3.9 – Лістинг коду підпрограми sendBuffer()

Після відновлення структури даних для кожного запису здійснюється спроба його передачі на сервер за допомогою відповідної підпрограми мережевої

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

взаємодії. У разі успішного надсилання передбачено коротку затримку між запитамі, що дозволяє зменшити навантаження на мережевий інтерфейс і серверну частину системи. Це забезпечує стабільну та коректну передачу запитів.

Після обробки всіх елементів буфера виконується його очищення шляхом скидання індексу. Це означає, що всі раніше накопичені дані вважаються переданими або обробленими, і буфер готовий до прийому нових записів.

### 3.3 Налаштування хмарної платформи для зберігання та візуалізації даних

Для зберігання, обробки та подальшого аналізу даних у розробленій IoT-системі було обрано хмарну платформу Google Sheets, яка дозволяє організувати табличне представлення інформації та забезпечує зручний доступ до неї в режимі реального часу. Вибір даного інструменту обумовлений його простотою інтеграції, наявністю відкритих інтерфейсів взаємодії та відсутністю необхідності розгортання окремого серверного середовища.

На першому етапі було створено нову електронну таблицю, у якій сформовано структуру для збереження даних. У заголовку таблиці було визначено основні поля, зокрема: ідентифікатор товару (отриманий зі сканера), значення маси, а також додатково — дата і час вимірювання. Така структура дозволяє не лише фіксувати результати вимірювань, але й забезпечує можливість подальшого аналізу динаміки змін та ведення обліку товарів (рис. 3.10).

Оскільки стандартні можливості таблиці не передбачають безпосереднього прийому HTTP-запитів від мікроконтролера, було реалізовано додатковий програмний рівень обробки за допомогою Google Apps Script. У середовищі редактора скриптів було створено веб-додаток, який виконує роль проміжного сервера для прийому та обробки запитів від IoT-пристрою.

У процесі реалізації скрипта було визначено функцію обробки HTTP GET-запитів, яка приймає параметри, передані у складі URL. Зокрема, із запиту виділялися значення ідентифікатора товару та його маси. Після цього формувався новий рядок, який додавався до таблиці. До кожного запису автоматично додавалася мітка часу, що генерується засобами середовища виконання скрипта.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

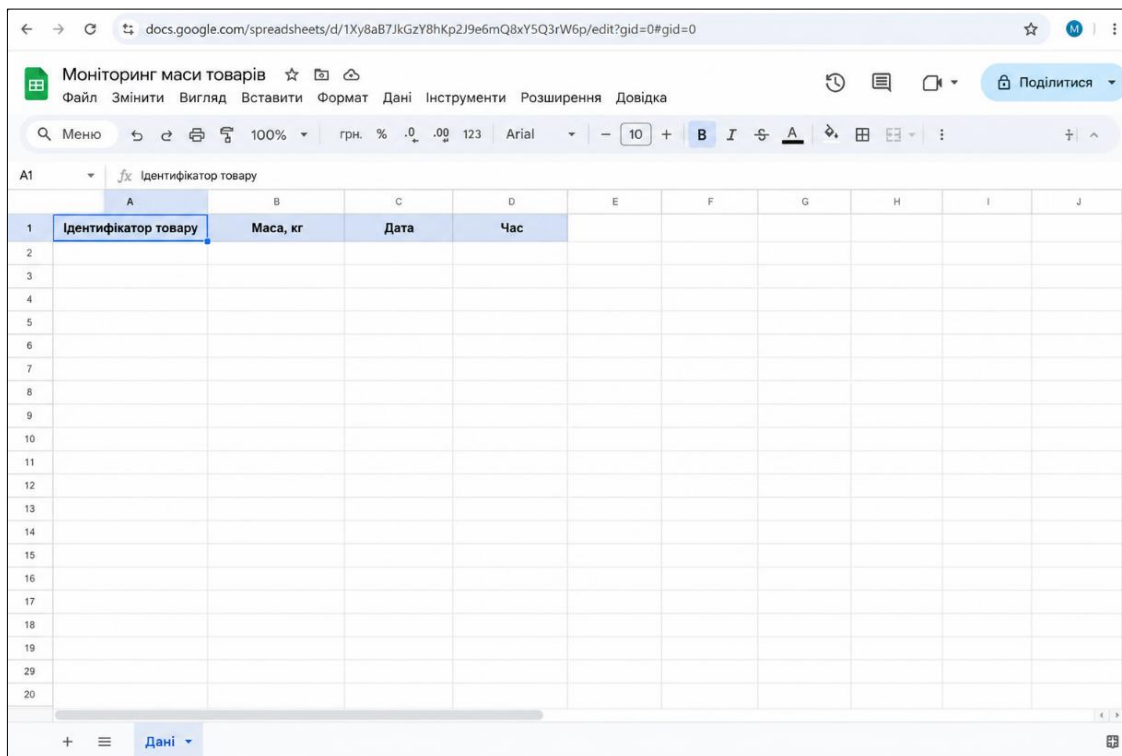


Рисунок 3.10 – Процес налаштування Google Sheets

Після завершення розробки скрипта було виконано його розгортання у вигляді веб-додатку. При цьому було налаштовано параметри доступу таким чином, щоб обробник запитів міг приймати дані від зовнішніх клієнтів без необхідності автентифікації. У результаті було отримано унікальний URL-адрес, який використовується у програмному коді мікроконтролера для передачі даних.

Додатково було перевірено коректність роботи системи шляхом тестового надсилання запитів із параметрами. У результаті кожен запит приводив до автоматичного створення нового запису в таблиці, що підтвердило правильність налаштування інтеграції. Також було виконано оптимізацію структури таблиці для покращення візуального сприйняття даних, зокрема налаштовано форматування стовпців та автоматичне вирівнювання значень.

Використання хмарної платформи забезпечило простий та ефективний спосіб реалізації функцій зберігання та відображення даних у системі. Запропоноване рішення не потребує складної серверної інфраструктури, легко масштабується та може бути адаптоване для розширення функціональних можливостей, зокрема побудови графіків, формування звітів або інтеграції з іншими інформаційними системами.

### 3.4 Тестування системи

На етапі перевірки працездатності розробленої IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів було проведено комплексне моделювання та подальше тестування фізичного прототипу. Початково дослідження виконувалося у середовищі Circuit Designer, що дозволило оцінити коректність структурних та електричних рішень без ризику пошкодження апаратних компонентів.

У процесі моделювання було створено віртуальну схему системи, яка включала мікроконтролерний модуль, інтерфейс підключення тензодавача через модуль обробки сигналу, засоби індикації та елементи керування. Особлива увага приділялася перевірці правильності підключення сигнальних ліній, відповідності логічних рівнів та коректності адресації периферійних пристроїв. На цьому етапі також було реалізовано імітацію роботи сканера штрих-кодів шляхом подачі тестових даних через послідовний інтерфейс (рис. 3.11).

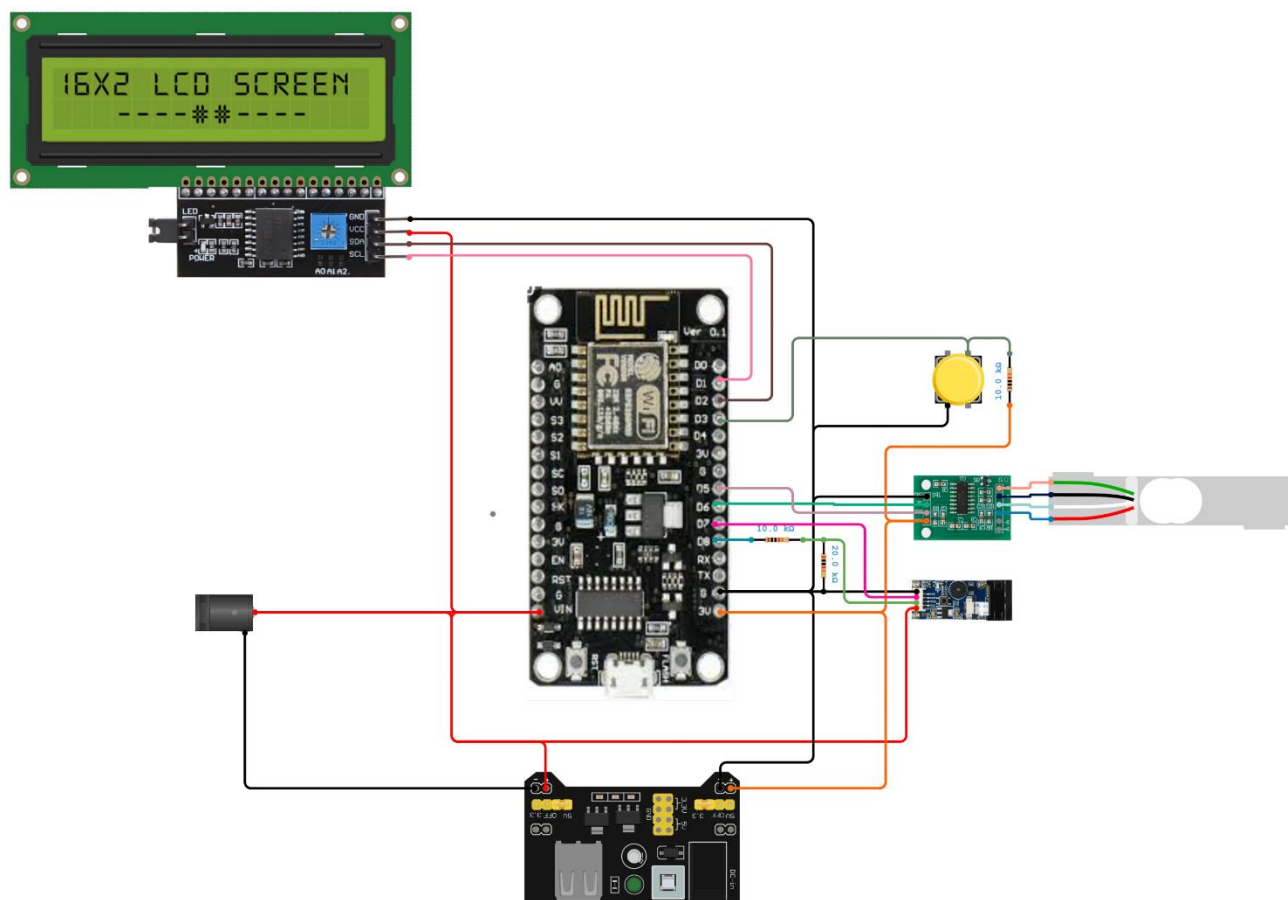


Рисунок 3.11 – Модель системи дистанційного моніторингу маси товарів

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Подальше тестування в середовищі моделювання включало перевірку алгоритму обробки даних. Було досліджено реакцію системи на різні сценарії: відсутність зчитаного коду, нестабільність вимірюваної маси, підтвердження операції користувачем та передача даних у хмарне середовище. Зокрема, було підтверджено, що система коректно блокує передачу даних до моменту стабілізації ваги та наявності ідентифікатора товару. Також перевірено роботу механізму буферизації, який забезпечує збереження даних у разі відсутності мережевого з'єднання.

Результати моделювання показали узгоджену роботу всіх функціональних блоків системи та підтвердили правильність реалізації алгоритмічної частини. Виявлені на цьому етапі незначні логічні неточності були усунені до переходу на етап фізичної реалізації, що дозволило суттєво зменшити час налагодження апаратної частини.

Після завершення моделювання було здійснено складання фізичного прототипу системи. На цьому етапі виконано монтаж компонентів на макетній платі, підключення тензодавача до модуля обробки сигналу, інтеграцію дисплея через інтерфейс I2C, підключення кнопки керування та сканера штрих-кодів через послідовний інтерфейс. Особливу увагу приділено організації живлення, зокрема забезпеченню стабільної напруги для всіх елементів системи.

Першим етапом тестування фізичного прототипу була перевірка базової працездатності окремих модулів. Зокрема, було протестовано коректність виведення інформації на дисплей, реакцію системи на натискання кнопки та прийом даних від сканера. Окремо виконано калібрування тензодавача, що дозволило забезпечити точність вимірювання маси відповідно до заданих параметрів.

На наступному етапі проводилося комплексне тестування всієї системи в умовах, наближених до реальних. Було реалізовано повний цикл роботи: сканування ідентифікатора товару, розміщення вантажу на платформі, очікування стабілізації маси, підтвердження операції та передача даних у хмарне середовище. У ході експериментів підтверджено, що система коректно виконує всі етапи алгоритму та забезпечує точне відображення інформації на дисплеї.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремо було досліджено роботу системи в умовах відсутності мережевого з'єднання. У цьому випадку дані успішно зберігалися у внутрішньому буфері, а після відновлення зв'язку автоматично передавалися у хмарну таблицю. Це підтвердило ефективність реалізованого механізму відкладеної передачі та його доцільність для використання у складських умовах.

Завершальний етап тестування включав перевірку стабільності роботи системи протягом тривалого часу. Було встановлено, що система функціонує без збоїв, коректно обробляє послідовність операцій та не втрачає дані навіть при зміні умов експлуатації. Отримані результати свідчать про надійність та ефективність розробленого рішення, а також підтверджують можливість його практичного застосування для автоматизації обліку товарів на складах.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						55
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Оцінка технологічного процесу щодо умов електробезпеки

Розробка та впровадження системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах передбачає комплексну роботу з електронними компонентами, що включає проєктування електричних схем, виконання паяльних робіт, налаштування підключень до різноманітних джерел електроживлення, а також програмування та конфігурування мікроконтролера ESP8266. Специфіка таких технічних операцій висуває підвищені вимоги до забезпечення електробезпеки на всіх етапах життєвого циклу пристрою.

Першочерговою загрозою виступають несправності або перевантаження джерел живлення, зокрема USB-адаптерів з вихідною напругою 5 вольт, або інших зовнішніх блоків живлення. Неякісні або пошкоджені джерела живлення можуть спричинити нестабільність напруги, що призводить до перегріву компонентів або навіть їх виходу з ладу.

Особливу увагу приділено ризикам короткого замикання, які найчастіше виникають під час монтажних робіт, особливо в критичних зонах підключення чутливих компонентів, таких як сканер штрих-кодів та LCD дисплей.

Значну небезпеку становлять також механічні пошкодження ізоляційного покриття з'єднувальних дротів, які часто відбуваються в місцях інтенсивних згинів, скручувань або в зонах паяльних з'єднань. Порушення цілісності ізоляції може призвести до витоку струму, короткого замикання або навіть ураження електричним струмом при контакті з оголеними провідниками.

Хоча мікроконтролер ESP8266 функціонує в діапазоні відносно безпечних низьких напруг від 3,3 до 5 вольт, неправильне поводження з електронними компонентами може призвести до небезпечних ситуацій.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Панас В.М.</i>			<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					56	5
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В.С.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Зокрема, виконання паяльних робіт при увімкненому живленні, підключення неізолюваних роз'ємів або порушення рекомендованих режимів експлуатації можуть спричинити ураження низьковольтним струмом або критичний перегрів електронних елементів з подальшим їх руйнуванням [32].

Конструкція пристрою передбачає ефективне обмеження доступу до внутрішніх елементів електричної схеми для неавторизованих користувачів, особливо дітей або осіб без відповідної технічної підготовки. Це досягається шляхом використання захисних кожухів, що не дозволяють випадковий контакт з струмоведучими частинами.

Конструктивні рішення мають унеможливити наявність відкритих або легкодоступних струмоведучих елементів на зовнішніх поверхнях пристрою. Всі електричні з'єднання надійно заізолювані та захищені від механічних пошкоджень або випадкового дотику.

Захист від потрапляння рідини становить окремий напрямок забезпечення електробезпеки, оскільки навіть невелика кількість вологи може спричинити короткі замикання, корозію контактів або порушення нормального функціонування електронних компонентів. Конструкція корпусу забезпечує відповідний ступінь захисту від проникнення води та інших рідин [32].

Мікрокліматичні умови експлуатаційного середовища також відіграють суттєву роль у забезпеченні довготривалої та безпечної роботи пристрою. Підвищена вологість повітря сприяє конденсації водяної пари на поверхнях електронних компонентів, що може призвести до короткого замикання або прискореної електрохімічної корозії металевих провідників. Накопичення пилу в корпусі пристрою створює додаткові ризики, оскільки пилові частинки можуть утворювати провідні містки між контактами або погіршувати теплообмін, що призводить до перегріву критично важливих елементів.

Відповідно до вимог державних стандартів України та нормативноправових актів з охорони праці, розроблений пристрій підпадає під категорію низьковольтного електронного обладнання, що передбачає дотримання специфічних вимог безпеки [32]. Під час виконання монтажних та

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

налагоджувальних робіт рекомендується обов'язкове застосування індивідуальних засобів захисту, включаючи діелектричні рукавички, захисні окуляри та спеціальний одяг з антистатичними властивостями.

Система дистанційного моніторингу маси товарів на складах розроблялася з урахуванням заходів щодо забезпечення електробезпеки на всіх етапах життєвого циклу пристрою.

#### 4.2 Організація служби охорони праці на підприємстві

В статті 13 Закону України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. зі змінами від 21.11.2002 р. вказано, що обов'язком роботодавця є створення таких умов праці на робочому місці кожного структурного підрозділу, які б відповідали нормативно-правовим актам. Крім того, керівник підприємства зобов'язаний забезпечити дотримання законодавчих вимог щодо прав робітників у сфері охорони праці. Для реалізації цих завдань роботодавець повинен забезпечити функціонування служби системи управління охороною праці, що включає в себе [33]:

- створення служб та призначення посадових осіб, які в подальшому будуть забезпечувати вирішення питань охорони праці;
- затвердження посадових інструкцій цих осіб, в яких повинна бути зазначена інформація про їхні права та обов'язки, а також відповідальність за виконання функцій, які на них покладені;
- контроль за дотриманням прав та функціональних обов'язків призначених посадових осіб, які зобов'язані вирішувати питання охорони праці на підприємстві.

Спосіб організації служби охорони праці залежить від чисельності працівників підприємства. Якщо кількість працівників менша двадцяти осіб, тоді для реалізації функцій служби охорони праці можуть бути залучені сторонні спеціалісти, які мають відповідну кваліфікацію, на договірних умовах. Якщо кількість працівників знаходиться в межах від двадцяти до п'ятидесяти, тоді функціональні обов'язки, які покладені на службу охорони праці, можуть

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконувати особи з відповідною кваліфікацією в порядку сумісництва. Якщо чисельність працівників на підприємстві перевищує п'ятдесят осіб – роботодавець зобов'язаний створити службу охорони праці у відповідності до положень законодавства [33].

Створювати окремий структурний підрозділ для реалізації функцій служби охорони праці є зміст лише в тому випадку, якщо він передбачатиме наявність не менше двох працівників. При цьому в цьому підрозділі можуть працювати лише особи, які спеціалізуються на виконанні функціональних обов'язків, пов'язаних з питаннями охорони праці.

Законодавством не встановлена точна кількість працівників служби охорони праці, але очевидно, що їх чисельність повинна бути достатньою для забезпечення виконання всіх вимог діючих нормативно-правових актів з охорони праці на підприємстві. Це питання залежить від специфічних особливостей кожного підприємства, зокрема:

- від особливостей умов праці;
- від типу виробничого обладнання;
- від наявності та чисельності працівників, які задіяні до виконання робіт з підвищеною небезпекою.

Фахівці служби охорони праці при виявленні фактів порушення правил охорони праці мають право [34]:

- готувати керівнику підприємства подання для притягнення порушників вимог охорони праці до відповідальності;
- зупиняти роботу ділянки, виробництва, устаткування, механізмів, машин та інших виробничих засобів у випадку виявлення факту порушення, яке створює загрозу здоров'ю або життю працівників;
- вимагати відсторонення осіб від роботи, які не пройшли передбаченого законодавством інструктажу, перевірки знань, навчання, медичного огляду і не дотримуються вимог нормативно-правових актів з охорони праці або не мають відповідного допуску до робіт;

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– видавати керівникам структурних підрозділів приписи щодо усунення виявлених недоліків, які є обов'язковими для виконання, одержувати від них необхідну інформацію, пояснення і документацію, яка стосується питань охорони праці.

Законодавством передбачені обов'язки працівників, які стосуються питань охорони праці [34]:

– знати і дотримуватись вимог нормативно-правових актів з охорони праці, правил поведінки з устаткуванням, механізмами, машинами та іншими засобами виробництва, використовувати засоби індивідуального і колективного захисту;

– дбати про особисте здоров'я і безпеку, а також про здоров'я і безпеку оточуючих осіб в процесі виконання будь-яких робіт перебуваючи на території підприємства;

– проходити у встановленому законодавством порядку періодичні та попередні медичні огляди.

За порушення зазначених вимог працівник несе безпосередню відповідальність. Дотримання правил виробничої санітарії і безпеки залежить не лише від того, як роботодавець виконує свої обов'язки, а і від знань з охорони праці та рівня виконавчої дисципліни кожного працівника. Тому всі працівники під час прийому на роботу і в процесі виконання роботи зобов'язані [34]:

– проходити на підприємстві інструктаж з охорони праці;

– знати правила поведінки при виникненні аварій;

– вміти надавати першу медичну допомогу особам, які постраждали від нещасних випадків.

Інструктаж і навчання працівників з охорони праці є обов'язковою складовою частиною системи управління охороною праці і виконується з усіма працівниками впродовж їхньої трудової діяльності. Ліквідувати службу охорони праці можна лише у випадку припинення використання найманої праці чи ліквідації підприємства.

Під час розробки системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах було враховано особливості організації служби охорони праці на підприємстві.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено IoT-систему дистанційного моніторингу маси товарів на складах, призначену для автоматизації процесів зважування, ідентифікації та передачі інформації у хмарне середовище.

Проаналізовано предметну область та особливості використання систем контролю маси у складських умовах. Проведено аналіз вимог до проєктованої системи, розглянуто існуючі технічні рішення та визначено їх основні недоліки, серед яких обмежені можливості дистанційного моніторингу, складність інтеграції та відсутність автоматизованої ідентифікації товарів.

Розроблено структуру та електричну принципову схему системи. Обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема мікроконтролерного модуля NodeMCU, тензометричного модуля HX711, LCD-дисплея, сканера штрих-кодів та інших компонентів. Запропонована структура системи забезпечує вимірювання маси, ідентифікацію товарів та передачу інформації до хмарної платформи.

Описано алгоритм роботи системи та створено ПЗ для мікроконтролера. Реалізовано функції автоматичного визначення стабільності маси, зчитування штрих-кодів, підтвердження операції кнопкою, буферизації даних та передачі інформації у хмарне середовище Google Sheets через бездротову мережу Wi-Fi.

Проведено моделювання системи у середовищі Circuit Designer та тестування фізичного прототипу. Отримані результати підтвердили працездатність системи, коректність реалізації алгоритмів та можливість її практичного застосування для автоматизації обліку товарів і дистанційного моніторингу маси товарів на складах.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bates H., Pottie D., Taylor D., Benter A. Automatic multi-weigh-station for assessing sheep liveweight in small flocks. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2023. 205. P. 107631.
2. Wang J., Wu M. An overview of research on weigh-in-motion system. In *Fifth world congress on intelligent control and automation*, 2004. Vol. 6, P. 5241-5244.
3. Ma'ayan D., Dabran I. Case study: implementing an industrial IoT solution for a multihead weighing machine (MWM). In *2019 IEEE International Conference on Microwaves, Antennas, Communications and Electronic Systems*, 2019. P. 1-4.
4. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
5. Лупенко С.А., Пасічник В.В., Тиш Є.В. Комп'ютерна логіка. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 354 с.
6. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018. 740 с.
7. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. *CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024)*, Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.
8. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.
9. Palamar A., Stadnyk M., Palamar M. Adaptive PID regulation method of uninterruptible power supply battery charge current based on artificial neural network. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 107, No 3. P. 5–13.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek Ł. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*. Volume 18, Issue 2, 2024. P. 296–304.

11. Voloshchuk A., Osukhivska H., Khvostivskyi M., Sverstiuk A., Khvostivska L. Component method for analyzing the energy consumption signal as a periodically correlated random process. *ITTAP'2025: 5th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems*. Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 4146. P. 128-137.

12. Palamar A., Palamar M., Osukhivska H. Real-time Health Monitoring Computer System Based on Internet of Medical Things. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2023)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, November 22–24, 2023. Vol. 3628. P. 106-115.

13. Palamar M., Yavorska M., Palamar A., Strembitskyi M. Modeling and Research of Satellite Antenna Adjustment Process for Earth Remote Sensing. *2022 IEEE 2nd Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*, Kharkiv, Ukraine, November 14-18, 2022. P. 317-320.

14. Palamar M., Nakonetchnyi Y., Palamar A., Strembitskyi M., Apostol Y. Modernization of the azimuth drive design for the antenna system. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2025. Vol. 117, No 1, P. 54–61.

15. Strembitskyi M., Yavorska M., Palamar A., Kochan R., Yeromenko V. A comparative study of bug algorithms for robot navigation. *CEUR Workshop Proceedings, 3rd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2025)*, Ternopil, Ukraine, June 11-12, 2025. Vol. 4057 P. 312-321.

16. Yatsyshyn V., Pastukh O., Kukharska V., Palamar A., Kulikov S. Method and tool of detecting software architecture patterns in the process of computer systems development. *CEUR Workshop Proceedings, 4th International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP 2024)*, Ternopil, Ukraine, Opole, Poland, October 23-25, 2024. Vol. 3896. P. 12-24.

17. Palamar A. Methods and means of increasing the reliability of computerized modular uninterruptible power supply system. *Scientific Journal of TNTU*, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 99, No 3. P. 133–141.

					<i>КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		63

18. Palamar M., Horyn T., Palamar A., Batuk V. Method of calibration MEMS accelerometer and magnetometer for increasing the accuracy determination angular orientation of satellite antenna reflector. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 108, No 4. P. 79–88.

19. Palamar A., Voloskyi V., Kramar O., Kramar T., Stankevych O., Yatsyshyn V. Information computer system with a virtual tour for cultural heritage preservation of the Zbarazh Castle Museum's exhibition hall. CEUR Workshop Proceedings, The 3rd International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA 2024), Lviv, Ukraine, October 31, 2024. Vol. 3851.

20. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Інформаційно-вимірювальна система для контролю метеорологічних параметрів на основі Інтернету речей. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 118.

21. Оконський М.В., Лупенко С.А., Паламар А.М. Комп'ютерна система для моніторингу метеорологічних параметрів на основі ІоТ. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей Х міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 112.

22. Palamar M., Pasternak Y., Palamar A., Poikhalo A. Precision tracking of the trajectory LEO satellite by antenna with induction motors in the control system. Proceedings of the 2017 IEEE 9th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017), Bucharest, Romania, September 21–23, 2017. Vol. 2. P. 1051–1055.

23. Palamar A., Pettai E. Microgrid for the Department of Electrical Drives and Power Electronics. 8th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 11-16, 2010), Pärnu, Estonia, 2010. P. 54-61.

24. Паламар М., Пастернак Ю., Паламар А. Дослідження динамічних похибок системи прецизійного керування антеною з асинхронним електроприводом. Вісник ТНТУ, Тернопіль: ТНТУ, 2014. Вип. 76, № 4. С. 164–173.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Palamar A., Palamar M. Fire Safety Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2023. 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023), Ternopil, Ukraine, June 14-16, 2023. Vol. 3468. P. 164-172.

26. Palamar A., Karpinskyy M. Control of an Uninterruptible Power Supply in a DC Microgrid System. 10th International Symposium "Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering" and "Doctoral School of Energy and Geotechnology II" (January 10-15, 2011), Pärnu, Estonia, 2011. P. 80-84.

27. Stadnyk M., Palamar A. Project management features in the cybersecurity area. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 106, No 2. P. 54–62.

28. Погребенник В.Д., Клим Г.І., Бордун І.М., Пташник В.В., Паламар А.М. Системи оперативного контролю інтегральних параметрів водного середовища. Т. 2. Елементи комп'ютерних систем оперативного контролю: колективна монографія. Житомир: Видавничий дім «Бук-Друк», 2021. 180 с.

29. Palamar A., Karpinskyy M., Vodovozov V. Design and Implementation of a Digital Control and Monitoring System for an AC/DC UPS. 7th International Conference-Workshop «Compatibility and Power Electronics» (CPE 2011), June 1-3, 2011. P. 173–177.

30. Palamar A. Intelligent control and monitoring module for uninterruptible power supply system. II International Scientific and Practical Conference «Theoretical and Applied Aspects of Device Development on Microcontrollers and FPGAs» (MC&FPGA-2020), Kharkiv, Ukraine. 2020. P. 12-13.

31. Palamar A. Control system simulation by modular uninterruptible power supply unit with adaptive regulation function. Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine, 2020. Vol. 98, No 2. P. 129–136.

32. Атаманчук П.С. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2020. 276 с.

33. Стищенко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. Харків: ХНРУЕ, 2018. 336 с.

34. Грибан В.Г., Негодченко О.В. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури, 2009. 209 с.

					КС КРБ 123.169.00.00 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедрою КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

ІОТ-СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ МАСИ ТОВАРІВ НА  
СКЛАДАХ

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на  8  листках

Вид робіт: Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ к.т.н. Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Студент групи СІ-41

\_\_\_\_\_ Панас В.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи бакалавра: «IoT-система дистанційного моніторингу маси товарів на складах».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.169.00.00.

### 1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Панас Віктор Михайлович.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра є наказ по університету № 4/9-188 від «24» квітня 2026 року.

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи бакалавра – 21.06.2026 р.

## 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Оформлення технічної документації до кваліфікаційної роботи бакалавра здійснюється згідно діючих вимог вітчизняних та міжнародних стандартів. Технічна документація до кваліфікаційної роботи бакалавра включає в себе текст пояснювальної записки та креслення, які максимально інформативно та стисло відображають основні результати розробки IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів. Основними регламентними документами при оформленні та пред'явленні результатів проектування є групи діючих стандартів ДСТУ, ISO, ЄСКД та ЄСПД. Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи бакалавра відбувається шляхом захисту роботи на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Система призначена для автоматичного моніторингу маси товарів із можливістю дистанційного доступу до результатів вимірювань. Система забезпечує безперервне або періодичне зчитування даних з сенсорів ваги, їх обробку мікроконтролерним модулем, передавання по бездротових каналах зв'язку до IoT-платформи та подальшу візуалізацію для користувача.

Основне призначення системи полягає в підвищенні ефективності процесів обліку, зменшенні впливу людського фактора, забезпеченні прозорості контролю та створенні умов для подальшої автоматизації логістичних і виробничих процесів.

### 2.2 Мета створення системи

Метою створення системи є розробка універсального комп'ютеризованого рішення для моніторингу маси товарів на складах, яке поєднує вимірювальні засоби з IoT-технологіями та забезпечує надійне дистанційне отримання й наочне представлення даних у режимі реального часу та збереження історії вимірювань.

Досягнення поставленої мети передбачає створення функціонально завершеної системи, здатної працювати автономно, бути масштабованою та інтегрованою з хмарними сервісами.

### 2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом автоматизації є процес зважування вантажів, що може здійснюватися на стаціонарних або мобільних платформах. Вантажі можуть мати різну масу та характер розміщення, що потребує застосування тензометричних давачів і відповідних схем підсилення сигналів.

Система функціонує в умовах можливих механічних впливів, коливань температури та нестабільності мережевого з'єднання, що необхідно враховувати під час проєктування апаратної і програмної частин.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна забезпечувати точне вимірювання маси вантажів, стабільну передачу даних та зручну візуалізацію інформації для користувача. Архітектура системи має бути модульною, відкритою до розширення та відповідати сучасним вимогам до IoT-рішень.

Система повинна працювати з мінімальним втручанням оператора, підтримувати автономний режим та забезпечувати збереження даних у разі короткочасних збоїв зв'язку.

### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Структурно система має складатися з таких основних компонентів:

- вимірювального модуля на основі тензодавачів;
- мікроконтролерного блоку обробки даних;
- модуля бездротового зв'язку;
- хмарної IoT-платформи;
- клієнтського інтерфейсу для візуалізації даних.

Функціонування системи повинно забезпечувати повний цикл обробки інформації – від зняття показів до їх відображення у зручному для користувача вигляді.

### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Обмін даними між компонентами системи повинен здійснюватися з використанням стандартних протоколів і інтерфейсів. Для зв'язку між мікроконтролером і сенсорами застосовуються цифрові або аналогові інтерфейси з відповідним перетворенням сигналів.

Передавання даних до IoT-платформи повинно здійснюватися за допомогою бездротових технологій, таких як Wi-Fi або мобільний зв'язок, із використанням протоколів, орієнтованих на IoT, наприклад MQTT або HTTP.

### 3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати кілька режимів роботи, зокрема:

- режим безперервного моніторингу маси;
- режим періодичних вимірювань;
- режим калібрування та налаштування;
- режим аварійного сповіщення при перевищенні заданих порогів.

Перемикання між режимами має здійснюватися програмними засобами без необхідності фізичного втручання в апаратну частину.

#### 3.1.4 Перспективи розвитку та модернізації системи

Архітектура системи повинна передбачати можливість подальшої модернізації, зокрема:

- підключення додаткових датчиків;
- розширення функціоналу аналітики даних;
- інтеграцію з іншими інформаційними системами;
- підтримку альтернативних IoT-платформ.

Це забезпечить довготривалу актуальність розробленого рішення.

#### 3.1.5 Вимоги до надійності системи

Система повинна характеризуватися стабільною роботою в умовах тривалої експлуатації. Необхідно забезпечити захист від збоїв живлення, помилок передавання даних та некоректних вимірювань. Програмне забезпечення має передбачати механізми обробки помилок, повторної передачі даних та збереження критичної інформації.

Показники надійності IoT-системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах повинні відповідати вимогам ДСТУ 50136-1. Ймовірність безвідмовної роботи системи повинна складати не менше 99,8 %.

#### 3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Система повинна виконувати такі основні функції:

- вимірювання маси вантажів;
- обробка та фільтрація даних;
- передавання результатів вимірювань;
- збереження історії даних;

- візуалізація інформації у вигляді графіків і таблиць;
- сповіщення про перевищення встановлених порогових значень.

Усі функції мають виконуватися з дотриманням заданих вимог до точності та швидкодії.

### 3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

Апаратна частина системи повинна базуватися на сучасних енергоефективних мікроконтролерах і надійних тензометричних давачах. Компоненти повинні бути сумісними між собою, доступними для повторення та відповідати умовам експлуатації. Живлення системи має забезпечувати стабільну роботу всіх модулів і передбачати можливість автономного живлення.

Вимоги до елементної бази розробки:

- режими роботи і умови експлуатації вибраних елементів повинні відповідати вказаним в ТЗ;
- вибрана елементна база має забезпечувати необхідні режими роботи системи;
- елементна база по можливості має бути широковживаною, доступною і дешевою. Необхідно також враховувати можливість заміни вибраних елементів на аналогічні (вітчизняні чи імпортного виробництва).

## 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ.

Комплект конструкторської документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
  1. структурна схема системи;
  2. схема електрична принципова;
  3. блок-схема алгоритму роботи;

4. результати моделювання системи.

\*Примітка: В комплект конструкторської документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

## 5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання КРБ	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Аналіз технічного завдання, вимог до комп'ютерної системи, та можливих рішень поставленого завдання	03.02 – 15.02
3.	Розроблення структури, вибір апаратного забезпечення, проектування комп'ютерної системи	20.04 – 25.04
4.	Реалізація алгоритму, написання програмного забезпечення, моделювання комп'ютерної системи	26.04 – 05.05
5.	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6.	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.05 – 07.06
7.	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	08.06 – 14.06
8.	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9.	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.2026

## 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

Під час виконання кваліфікаційної роботи в дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

Додаток Б  
Перелік елементів



## Додаток В

### Лістинг програми

Лістинг В.1 – Код програми мікроконтролера для реалізації системи дистанційного моніторингу маси товарів на складах.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include "HX711.h"
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// ----- HX711 -----
#define DT D6
#define SCK D5
HX711 scale;
float calibration_factor = -7050;
// ----- LCD -----
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// ----- Button -----
#define BUTTON_PIN D3
// ----- Scanner (UART) -----
#define SCANNER_RX D7 // TX scanner -> D7
#define SCANNER_TX D8 // RX scanner -> D8
// ----- Variables -----
String scannedCode = "";
float weight = 0;
bool stable = false;
bool sent = false;
// Буфер (простий)
#define BUFFER_SIZE 10
String bufferData[BUFFER_SIZE];
int bufferIndex = 0;
// ----- Stability -----
float lastWeight = 0;
int stableCount = 0;
#define STABLE_THRESHOLD 0.05
#define STABLE_COUNT_REQUIRED 5

// ----- Setup -----
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.swap(); // використання D7 як RX, а D8 як TX
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

  lcd.init();
  lcd.backlight();

  scale.begin(DT, SCK);
```

```

scale.set_scale(calibration_factor);
scale.tare();

connectWiFi();

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("System Ready");
}

// ----- WiFi -----
void connectWiFi() {
  WiFi.begin(ssid, password);
  lcd.clear();
  lcd.print("Connecting...");

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }

  lcd.clear();
  lcd.print("WiFi OK");
}

// ----- Send to Google -----
bool sendData(String code, float w) {
  if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) return false;

  WiFiClient client;
  HTTPClient http;

  String url = String(serverName) + "?code=" + code + "&weight=" +
String(w);

  http.begin(client, url);
  int httpResponseCode = http.GET();

  http.end();

  return (httpResponseCode > 0);
}

// ----- Buffer -----
void saveToBuffer(String data) {
  if (bufferIndex < BUFFER_SIZE) {
    bufferData[bufferIndex++] = data;
  }
}

void sendBuffer() {
  for (int i = 0; i < bufferIndex; i++) {
    int sep = bufferData[i].indexOf('|');
    String code = bufferData[i].substring(0, sep);
    float w = bufferData[i].substring(sep + 1).toFloat();

```

```

        if (sendData(code, w)) {
            delay(200);
        }
    }
    bufferIndex = 0;
}

// ----- Read Scanner -----
void readScanner() {
    if (Serial.available()) {
        scannedCode = Serial.readStringUntil('\n');
        scannedCode.trim();

        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Code:");
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.print(scannedCode);

        sent = false;
    }
}

// ----- Read Weight -----
void readWeight() {
    weight = scale.get_units(5);

    if (abs(weight - lastWeight) < STABLE_THRESHOLD) {
        stableCount++;
    } else {
        stableCount = 0;
    }

    if (stableCount >= STABLE_COUNT_REQUIRED) {
        stable = true;
    } else {
        stable = false;
    }

    lastWeight = weight;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("W:");
    lcd.print(weight, 2);
    lcd.print(" kg  ");
}

// ----- Loop -----
void loop() {

    readScanner();
    readWeight();
}

```

```

// якщо немає коду – нічого не робимо
if (scannedCode == "") {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Scan code...");
    return;
}

// якщо маса нестабільна
if (!stable) {
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Stabilizing...");
    return;
}

// очікуємо кнопку
if (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW && !sent) {

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Sending...");

    if (sendData(scannedCode, weight)) {
        lcd.clear();
        lcd.print("Sent OK");

        sendBuffer(); // пробуємо відправити буфер
    } else {
        lcd.clear();
        lcd.print("Saved buffer");

        String data = scannedCode + "|" + String(weight);
        saveToBuffer(data);
    }

    sent = true;

    delay(2000);

    // скидання
    scannedCode = "";
    stable = false;
    stableCount = 0;

    lcd.clear();
}

delay(200);
}

```