

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ

Виконав здобувач III курсу, група КІ2с-22-1


Підпис

Ілля МУЗИКА
Ініціали, прізвище

Керівник
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер
Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Сергій ЛИСЕНКО
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«01» червня 2026 р.


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)


Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Музиці Іллі Юрійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських коміроч для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

Керівник проекту (роботи) Стецюк Василь Миколайович, старший викладач

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

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система мікроконтролерної системи моніторингу на основі IoT складських коміроч для відстеження компонентів у виробництві карбюраторів

Проектування системи мікроконтролерного моніторингу на основі IoT складських коміроч для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

Програмно-апаратна реалізація мікроконтролерної системи моніторингу на основі IoT складських коміроч для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

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

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи моніторингу на основі IoT складських комірок	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи моніторингу на основі IoT складських комірок	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач

Підпис

Ілля МУЗИКА

Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Василь СТЕЦЮК

Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Пояснювальна записка	58		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 2301118.23.01.06 Е8	Архітектура ПЗ проєкту	1		
3		КвРКІ 2301118.23.01.06 Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КвРКІ 2301118.23.01.06 Е8	Апаратне забезпечення проєкту	1		

КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ				
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив	Музика			29.05
Перевір.	Стецюк			1.06.26
Н. контр.	Лисенко			1.06
Затв.	Павлова			1.06

Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів			Літера	Аркуш	Аркушів
			У	1	1
ХНУ, КІ2с-23-1					

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів».

Автор роботи: Ілля МУЗИКА.

Керівник роботи: Василь СТЕЦЮК.

Пояснювальна записка: 58 с., 12 рис., 4 табл., 3 дод., 54 джерела.

Графічна частина: 3 креслення.

ІОТ, ESP32, NХ711, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МІКРОКОНТРОЛЕР, СКЛАДСЬКА КОМІРКА, ТЕНЗОДАТЧИК.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена проектуванню та реалізації мікроконтролерної кіберфізичної системи моніторингу складських комірок на основі технологій Інтернету речей. Актуальність теми зумовлена потребою у своєчасному контролі наявності компонентів у виробничих процесах, зокрема у виробництві карбюраторів, де використовується значна кількість дрібних деталей, таких як жиклери, пружини, гвинти, прокладки, шайби та інші елементи.

Метою роботи є проектування та реалізація програмно-апаратної моделі системи моніторингу складських комірок. Для досягнення поставленої мети проаналізовано існуючі підходи до організації контролю складських запасів, обґрунтовано вибір технічних засобів, розроблено структурну, функціональну та електричну схеми, реалізовано програмну логіку мікроконтролерного вузла, серверну частину й інтерфейс контролю стану складських комірок.



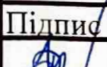

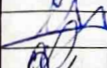
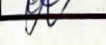
Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теоретичні аспекти та аналіз предметної області систем моніторингу складських компонентів на основі IoT.....	6
1.1 Постановка задачі моніторингу наявності компонентів у виробничих системах.....	6
1.2 Аналіз існуючих підходів до організації обліку та поповнення складських запасів.....	10
1.3 Кіберфізичні системи та IoT як основа автоматизованого моніторингу складських об'єктів	13
1.4 Аналіз методів визначення наявності та кількості компонентів у складських комірках	15
1.5 Обґрунтування доцільності використання мікроконтролерних IoT-рішень для задач моніторингу складських комірок.....	16
1.6 Висновки до першого розділу.....	18
2 Практична реалізація системи моніторингу складських комірок.....	19
2.1 Загальна архітектура системи моніторингу складських комірок.....	19
2.2 Порівняльний аналіз та вибір технічних засобів реалізації.....	22
2.3 Розроблення апаратної частини вузла складської комірки.....	26
2.4 Організація збору та обробки даних на рівні мікроконтролера	29
2.5 Організація передавання даних та взаємодії з серверною частиною	33
2.6 Особливості реалізації системи в умовах виробництва карбюраторів	35
2.7 Висновки до другого розділу	37
3 Реалізація та перевірка роботи системи моніторингу складських комірок	39
3.1 Реалізація програмної логіки мікроконтролерного вузла складської комірки	39
3.2 Реалізація серверної частини та обробки телеметричних даних	44

КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Ілля МУЗИКА		29.05		у		
Перевір.		Василь СТЕЦЮК		1.06.25			2	58
Н.контр.		Сергій ЛИСЕНКО		02.06		ХНУ, КІ2с-23-1		
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		02.06				

3.3 Реалізація інтерфейсу контролю стану складських комірок	50
3.4 Перевірка працездатності системи та аналіз отриманих результатів....	55
3.5 Висновки до третього розділу.....	58
Висновки	60
Перелік джерел посилань	62
Додаток А Копія креслення «Архітектура ПЗ проєкту»	69
Додаток Б Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»	70
Додаток В Копія креслення «Апаратне забезпечення проєкту»	71
Додаток Г Текст програмного забезпечення	72

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню мікроконтролерної системи моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробничих процесах. У сучасних умовах автоматизації промисловості особливого значення набуває безперервність матеріальних потоків, оскільки навіть короткочасна відсутність окремої позиції здатна призвести до порушення технологічного циклу, зниження продуктивності та непрямих економічних втрат. У багатьох виробничих середовищах контроль запасів і досі ґрунтується на періодичних перевірках або ручному обліку, що створює затримку між фактичним станом складських комірок і його відображенням у цифрових системах. Унаслідок цього виникає розрив між фізичними подіями та керувальними рішеннями, який негативно впливає на стабільність процесів постачання та використання компонентів.

Розвиток кіберфізичних систем і технологій Інтернету речей відкрив можливість безпосереднього поєднання фізичних об'єктів із інформаційними сервісами. У межах такого підходу складська комірка перестає виконувати лише функцію пасивного контейнера і набуває властивостей активного елемента виробничого середовища, здатного самостійно фіксувати власний стан, передавати відповідні дані та ініціювати події у цифровій системі обліку. Це дозволяє перейти від епізодичного контролю до постійного автоматизованого моніторингу, зменшити вплив людського фактора та підвищити оперативність прийняття рішень. Особливо важливим є впровадження механізму формування заявки на поповнення при зниженні кількості компонентів до визначеного порогового рівня, що забезпечує своєчасне відновлення запасів і підтримання безперервності виробничого циклу.

Актуальність обраної теми зумовлена потребою у створенні доступних, гнучких і масштабованих рішень для локального контролю запасів без необхідності використання складної та дорогої інфраструктури. Сучасні

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролерні платформи у поєднанні з бездротовими мережевими технологіями забезпечують достатній рівень обчислювальної спроможності, енергоефективності та надійності для побудови розподілених систем моніторингу. За таких умов логіка автоматизованого формування заявки на поповнення може бути інтегрована безпосередньо у кіберфізичний контур керування, де фізичний стан комірки стає першоджерелом для цифрових керувальних рішень.

Метою цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи є проектування мікроконтролерної кіберфізичної IoT-системи складських комірок, яка забезпечує автоматизований моніторинг наявності компонентів і підтримує функцію формування заявки на їх поповнення при досягненні порогових значень. Для досягнення цієї мети у роботі опрацьовано підходи до автоматизації контролю запасів, обґрунтовано вибір принципів визначення наявності компонентів у комірці, сформовано архітектурні рішення для мікроконтролерного вузла та мережевої взаємодії, а також реалізовано модельну програмно-апаратну систему для перевірки працездатності запропонованих рішень у типових сценаріях використання.

Об'єктом бакалаврської кваліфікаційної роботи є процес моніторингу стану складських комірок у виробничих системах. Предметом роботи є методи та засоби побудови мікроконтролерної кіберфізичної системи на основі IoT, що забезпечує автоматизований збір даних, їх передавання та формування керувальних подій у вигляді заявок на поповнення. Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованої концепції як основи для створення ефективних і економічно доцільних систем локального контролю та керування запасами компонентів у виробничих середовищах.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ТА АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СКЛАДСЬКИХ КОМПОНЕНТІВ НА ОСНОВІ IoT

1.1 Постановка задачі моніторингу наявності компонентів у виробничих системах

У сучасній промисловій практиці концепція Kanban набула розвитку у вигляді комерційних рішень від таких постачальників, як Würth Industrie Service та Bossard, де широко застосовується принцип двох контейнерів для керування запасами дрібних і середніх компонентів [38, 39, 40]. У цих системах сигнал на поповнення формується у момент спорожнення одного з контейнерів, що дозволяє пов'язати постачання з фактичним споживанням і зменшити обсяг складських залишків [36, 37].

Перевагою такого підходу є його простота та зрозумілість, а також відносно невисокі вимоги до технічної інфраструктури [40]. Водночас у класичному виконанні подібних рішень фіксація моменту спорожнення контейнера часто залежить від дій персоналу, що зберігає вплив людського фактора і створює ризик затримки між реальним станом комірки та запуском процесу поповнення [36, 39]. За умов інтенсивного та нерівномірного споживання компонентів така затримка може призводити до порушення ритму виробничого процесу [38].

Подальшим розвитком цього підходу стали електронні Kanban-платформи, серед яких показовим прикладом є система KanbanBOX, що інтегрується з корпоративними ERP-рішеннями і дозволяє формувати замовлення на поповнення у цифровому вигляді [36, 38]. Використання подібних систем підвищує прозорість матеріальних потоків, спрощує аналітику та дозволяє централізовано керувати процесами постачання [37, 39].

Перевагою такого рішення є можливість накопичення статистичних даних про споживання компонентів і подальшого використання цієї інформації для

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оптимізації запасів [36, 40]. Разом із тим у більшості реалізацій KanbanBOX та подібних платформ реєстрація подій усе ще ґрунтується на діях оператора, наприклад на скануванні штрихкодів або підтвердженні операцій у терміналі [38, 39]. Унаслідок цього між фізичним станом складської комірки та його цифровим відображенням зберігається часовий розрив, що обмежує можливість повністю автоматизованого реагування на зниження запасів [36, 37].

Більш високий рівень автоматизації демонструють вагові системи контролю, зокрема рішення типу SmartBin, які використовуються у логістичних платформах компаній Bossard і KVT-Fastening [16, 20]. У таких системах контейнери або полиці оснащуються тензометричними датчиками, а поточна маса вмісту безперервно вимірюється та передається у хмарну або корпоративну інформаційну систему [16, 21].

Перевагою SmartBin-підходу є безпосередній зв'язок між фізичним станом контейнера і цифровою моделлю запасів, що дозволяє автоматично формувати замовлення на поповнення при досягненні заданого порогового рівня без участі оператора [20, 22]. Це суттєво зменшує ймовірність запізненого реагування та підвищує стабільність виробничих процесів [36, 38].

Водночас такі системи потребують попереднього калібрування під конкретний тип компонентів і можуть бути чутливими до зовнішніх впливів, зокрема до вібрацій або нерівномірного розподілу маси в контейнері [16, 21]. Крім того, у випадках, коли маса одиниці виробу має значні коливання, точність оцінки кількості компонентів може знижуватися, що вимагає використання додаткових алгоритмів корекції [20, 49].

Іншим прикладом інтелектуальних рішень є оптичні контейнери типу iBin від Würth Industrie Service, у яких для оцінки стану запасів використовується вбудована камера або оптичний сенсор [22, 42]. Такі системи дозволяють визначати рівень заповнення комірки без прямої прив'язки до маси компонентів, що робить їх універсальнішими щодо номенклатури виробів [42, 45]. Перевагою iBin-підходу є можливість роботи з деталями різної форми та розмірів, а також

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потенціал для використання алгоритмів візуального аналізу [22, 47]. Водночас оптичні рішення є більш вимогливими до умов експлуатації, зокрема до освітлення та чистоти оптичних елементів, а також потребують більших обчислювальних ресурсів для обробки даних [22, 48]. У промисловому середовищі це може ускладнювати забезпечення стабільної та відтворюваної якості вимірювань без додаткових заходів захисту та калібрування [42, 45].

Окремий клас становлять RFID-рішення, що застосовуються у вигляді RFID-Kanban-систем і інтелектуальних полиць, які також пропонуються промисловими постачальниками логістичних сервісів, зокрема у рішеннях Würth [42, 43]. У таких системах контейнери оснащуються RFID-мітками, а факт їх переміщення або встановлення у контрольну зону автоматично реєструється зчитувачем [43, 44].

Перевагою цього підходу є зручність ідентифікації об'єктів і можливість автоматичної реєстрації подій без прямої участі оператора [42, 44]. Водночас RFID-рішення, як правило, орієнтовані на подієву модель обліку, де фіксується не безперервна зміна кількості компонентів, а лише окремі стани або переходи, наприклад поява порожнього контейнера [36, 38].

Це обмежує можливість точного відстеження динаміки зменшення запасів у межах однієї комірки та знижує придатність таких систем для задач, де важливим є не лише факт спорожнення, а й прогнозування моменту досягнення критичного рівня [37, 40].

Порівняльний аналіз таких рішень, як класичні Kanban-системи від Würth, що зображено на рисунку 1.1 і Bossard, що зображено на рисунку 1.2, електронні платформи на кшталт KanbanBOX, вагові системи SmartBin, оптичні контейнери iBin та RFID-Kanban-рішення, показує, що сучасна промислова практика вже має у своєму розпорядженні широкий спектр технічних засобів для автоматизації обліку та поповнення запасів.

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 - Kanban-система від Würth [51]

Кожне з цих рішень забезпечує певний баланс між простотою впровадження, рівнем автоматизації та точністю контролю.

Водночас більшість із них або орієнтовані на централізовані платформи з обмеженою гнучкістю локальної логіки, або не розглядають складську комірку як повноцінний самостійний мережевий вузол із власними засобами прийняття рішень.



Рисунок 1.2 - Kanban-система від Bossard [52]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Це створює передумови для розроблення мікроконтролерного IoT-рішення, у межах якого комірка виступає активним елементом кіберфізичної системи, здатним поєднати безперервний фізичний контроль із гнучкою програмною логікою та автоматизованим формуванням заявки на поповнення.

1.2 Аналіз існуючих підходів до організації обліку та поповнення складських запасів

У сучасних виробничих системах задача контролю наявності компонентів у складських комірках вирішується за допомогою різних підходів, які відрізняються рівнем автоматизації, складністю впровадження та ступенем інтеграції з інформаційними системами підприємства [36, 37, 38]. Найбільш поширеними залишаються традиційні методи, що базуються на періодичних інвентаризаціях або ручному обліку відборів [36].

Їхньою основною перевагою є простота організації та відсутність потреби у спеціалізованому обладнанні [40]. Такі рішення не вимагають значних початкових витрат і можуть бути впроваджені практично на будь-якому підприємстві без зміни існуючої інфраструктури [37]. Водночас їхнім суттєвим недоліком є залежність від людського фактора, наявність часової затримки між фактичним станом запасів і його відображенням в облікових системах, а також накопичення помилок у процесі тривалої експлуатації [36, 38]. У результаті керувальні рішення часто приймаються на основі застарілих або неточних даних, що знижує стабільність виробничих процесів [37, 39].

Більш розвиненою групою рішень є системи, інтегровані з корпоративними інформаційними платформами класу ERP або MES, у яких кількість компонентів визначається на основі реєстрації операцій руху матеріалів [36, 37]. Перевагою такого підходу є централізований облік, можливість формування звітів і планування постачання на основі накопичених даних, а також інтеграція з іншими підсистемами управління виробництвом [37,

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38]. Однак ці рішення не забезпечують прямого зв'язку з фізичним станом складських комірок, оскільки фактична кількість компонентів визначається опосередковано через історію операцій [36, 39]. У разі пропуску або помилкової реєстрації відборів виникає розбіжність між обліковими даними та реальним станом запасів, яка з часом може суттєво зростати [38, 40]. Крім того, подібні системи зазвичай потребують дисциплінованого дотримання процедур з боку персоналу, що не завжди можливо забезпечити у виробничих умовах із високою інтенсивністю роботи [37, 39].

Окрему групу становлять подієві рішення, зокрема системи, побудовані на принципі двоконтейнерної логіки або контролю наявності тари за допомогою RFID-міток і датчиків присутності [42, 43]. Їхньою перевагою є простота логіки та зрозумілий виробничий сенс: система реагує не на числове значення залишку, а на факт спорожнення або заміни контейнера [38, 40]. Такі рішення добре підходять для процесів, де компоненти використовуються порціями, а момент поповнення легко формалізується у вигляді події [36, 42].

Водночас подієвий підхід не дає інформації про поточний рівень запасу між цими подіями і не дозволяє відстежувати поступове зменшення кількості компонентів [38, 39]. У результаті заявка на поповнення формується вже на пізній стадії, коли запас досяг критично низького рівня або повністю вичерпаний, що може створювати ризик короточасних простоїв [37, 40].

Ширше застосування у промисловості знаходять рішення, засновані на фізичних методах вимірювання, зокрема вагові системи на основі тензодатчиків [16, 20]. Їхньою основною перевагою є безпосередній зв'язок із фізичним станом складської комірки, оскільки система працює з реальним параметром, що відображає кількість або масу компонентів [16, 21].

Це дозволяє реалізувати безперервний моніторинг і виявляти наближення до порогових значень завчасно, а не лише у момент повного спорожнення [20, 22]. Крім того, такі рішення добре інтегруються з мікроконтролерними платформами та IoT-інфраструктурою, що робить їх придатними для побудови

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розподілених систем моніторингу [11, 12]. Разом із тим вагові системи потребують калібрування, стабільного механічного монтажу та коректної обробки сигналів, оскільки вібрації, перекося контейнера або тимчасове зняття тари можуть призводити до нестабільних показів і хибних спрацювань [16, 21].

Оптичні та дистанційні методи, засновані на використанні камер або датчиків рівня, вирізняються потенційною універсальністю, оскільки не залежать від маси окремої деталі та можуть застосовуватися для компонентів різної форми [22, 42]. Їхньою перевагою є можливість візуального або геометричного контролю заповненості комірки, а в окремих випадках і виявлення неправильного розміщення або сторонніх об'єктів [22, 45].

Водночас у виробничих умовах такі рішення є чутливими до змін освітлення, забруднення оптики та вібрацій, а також потребують складнішої алгоритмічної обробки даних [47, 48]. Це підвищує вимоги до обчислювальних ресурсів і часто змушує переносити частину обробки на серверний рівень, збільшуючи залежність системи від мережевої інфраструктури [22, 49].

Узагальнюючи наведені підходи, можна зазначити, що прості облікові та подієві рішення виграють за простотою впровадження, але поступаються за точністю та оперативністю відображення реального стану запасів [36, 38, 40]. Фізичні методи вимірювання, насамперед вагові, забезпечують кращий зв'язок із реальним станом складських комірок і створюють умови для побудови безперервного моніторингу, однак потребують більш ретельного проектування апаратної частини та алгоритмів обробки сигналів [16, 20, 21]. Оптичні рішення мають потенціал універсальності, але вимагають складнішої реалізації та є більш чутливими до умов експлуатації [22, 45, 48].

У контексті задачі автоматизованого моніторингу складських комірок і формування заявок на поповнення найбільш перспективними виглядають рішення, що поєднують прямий фізичний контроль із можливістю локальної обробки даних на мікроконтролерному рівні та передавання результатів через IoT-інфраструктуру [11, 12, 20]. Такий підхід дозволяє досягти балансу між

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

точністю, надійністю та практичною придатністю системи у виробничих умовах, що створює основу для обґрунтованого вибору архітектури подальшої реалізації [33, 34].

1.3 Кіберфізичні системи та IoT як основа автоматизованого моніторингу складських об'єктів

Оскільки для забезпечення безперервності виробничих процесів необхідно створити підсистему автоматизованого моніторингу наявності компонентів у складських комірках, доцільним є використання мікроконтролерних платформ, які поєднують у собі достатню обчислювальну спроможність, наявність інтерфейсів для підключення датчиків і можливість мережевої взаємодії [11, 12, 33]. У межах такої концепції складська комірка розглядається як окремий IoT-вузол, що здійснює вимірювання фізичних параметрів, пов'язаних із наявністю компонентів, виконує їх попередню обробку та передає результати до серверної частини системи [20, 22, 45].

Як апаратну основу доцільно розглядати мікроконтролери сімейств ESP32 або Arduino, які широко застосовуються в задачах побудови вбудованих і IoT-систем [12, 13, 28]. Платформа ESP32 є особливо привабливою завдяки наявності вбудованого модуля Wi-Fi, що дозволяє реалізувати мережеву взаємодію без використання додаткових зовнішніх пристроїв [13, 14]. Arduino може використовуватися як альтернатива або як прототипна платформа для відпрацювання логіки зчитування даних із датчиків і локальної обробки сигналів [28, 25]. Такий вибір апаратних засобів забезпечує гнучкість у проектуванні та спрощує масштабування системи у разі збільшення кількості комірок [33, 34].

Для визначення наявності та кількості компонентів у комірці доцільно застосувати ваговий підхід на основі тензодатчика, підключеного через відповідний модуль перетворення сигналу [16, 21]. Це дозволяє отримувати безперервний числовий параметр, який відображає поточний стан запасу, і на

його основі реалізувати перевірку порогових умов [20, 22]. Додатково може використовуватися простий датчик наявності контейнера, який підтверджує коректність вимірювання та дозволяє відсікати ситуації, пов'язані зі зняттям або перестановкою тари під час поповнення [16, 21].

Програмна частина системи може бути реалізована з використанням середовищ, орієнтованих на мікроконтролери, зокрема мов програмування C/C++ для Arduino або середовища MicroPython для ESP32 [12, 28]. Такий підхід дозволяє реалізувати алгоритми зчитування даних із датчиків, фільтрації вимірювань, перевірки порогових значень і формування події на поповнення безпосередньо на рівні вузла комірки [20, 22]. Для передавання даних до серверної частини доцільно використати бездротову мережу Wi-Fi та протоколи, орієнтовані на IoT-застосування, наприклад MQTT, що забезпечує легку інтеграцію великої кількості пристроїв у єдину систему [11, 19, 45].

Серверна частина системи може бути розгорнута на локальному комп'ютері або одноплатному комп'ютері типу Raspberry Pi і виконувати функції приймання телеметрії, збереження даних та формування заявок на поповнення у разі досягнення критичних рівнів [23, 24, 36].

Отже, як основний підхід до вирішення поставленої задачі доцільно розглядати побудову розподіленої мікроконтролерної IoT-системи, у якій кожна складська комірка виконує роль автономного вузла вимірювання, а серверна частина забезпечує централізовану обробку даних і підтримку процесу формування заявок на поповнення [33, 34, 45]. Така архітектура відповідає сучасним тенденціям розвитку кіберфізичних систем і створює практичну основу для автоматизації контролю складських запасів у виробничих умовах [30, 32].

1.4 Аналіз методів визначення наявності та кількості компонентів у складських комірках

У межах виконаної роботи поставлено задачу створення та обґрунтування підходів до побудови мікроконтролерної кіберфізичної системи моніторингу складських комірок на основі IoT, призначеної для контролю наявності компонентів у виробничому середовищі та підтримки процесу своєчасного поповнення запасів. Для досягнення цієї мети необхідно проаналізувати принципи функціонування подібних систем, розглянути сучасні підходи до автоматизації обліку та моніторингу складських ресурсів, а також охарактеризувати предметну область з точки зору взаємодії фізичних об'єктів і цифрових засобів обробки даних.

У процесі виконання роботи має бути виконано аналіз існуючих технічних і програмно-апаратних рішень, що застосовуються для контролю складських запасів, із виділенням їхніх переваг, обмежень і типових проблем експлуатації у виробничих умовах. На основі цього аналізу доцільно визначити основні функції системи моніторингу, сформулювати вимоги до її роботи та окреслити логіку взаємодії між вузлом складської комірки та серверною частиною.

Постановка задачі також передбачає розроблення узагальненої функціональної моделі системи, у межах якої складська комірka розглядається як автономний IoT-вузол, що здійснює вимірювання фізичних параметрів, виконує їх попередню обробку та передає результати до інформаційної підсистеми. Серверний рівень при цьому має забезпечувати приймання даних, їх накопичення та формування керувальних рішень у вигляді заявок на поповнення у разі досягнення порогових значень.

Завершальним етапом постановки задачі є визначення критеріїв оцінювання працездатності запропонованого рішення та узагальнення результатів виконаної роботи. Це дозволяє не лише обґрунтувати доцільність застосування мікроконтролерних IoT-рішень для задач моніторингу складських

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комірок, а й сформувати основу для подальшого розвитку та практичного впровадження подібних систем у виробничому середовищі.

1.5 Обґрунтування доцільності використання мікроконтролерних IoT-рішень для задач моніторингу складських комірок

У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи мікроконтролерне IoT-рішення розглядається не як абстрактна ідея, а як конкретна технічна платформа, придатна для моделювання та подальшого масштабування на множині складських комірок. Для реалізації концепції “комірка як IoT-пристрій” передбачено використання мікроконтролера сімейства ESP32 (у вигляді поширеного dev-board, наприклад ESP32-WROOM) зображено на рисунку 1.3.

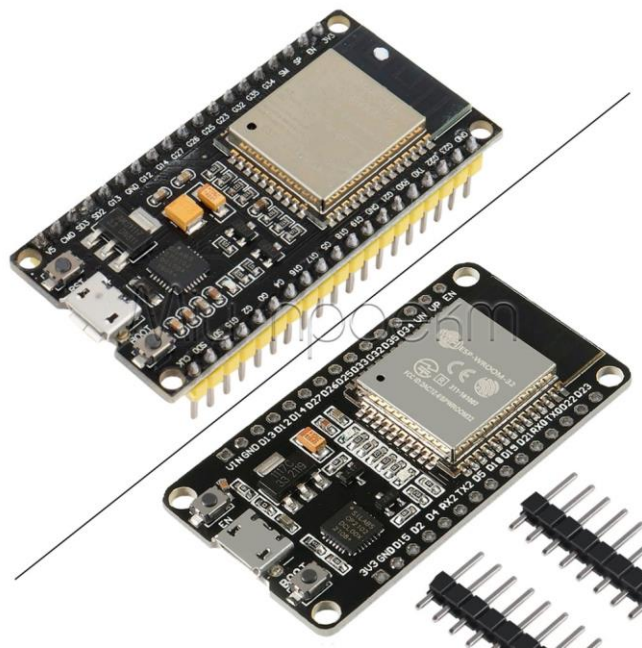


Рисунок 1.3 - Мікроконтролер ESP32-WROOM [53]

Такий вибір є обґрунтованим тим, що ESP32 поєднує достатню обчислювальну спроможність для локальної обробки сигналів, має вбудований Wi-Fi (і за потреби Bluetooth), підтримує стабільну роботу з датчиками та дозволяє будувати вузол комірки без зовнішніх мережевих модулів. На практиці

це спрощує апаратну схему, зменшує кількість точок відмови та робить вузол дешевшим і компактнішим, що критично важливо, коли система розраховується не на один стенд, а на десятки й сотні комірок.

Як базовий метод визначення залишку в комірці доцільно зафіксувати ваговий принцип, оскільки він дає безперервний сигнал, не залежить від дисципліни реєстрації відборів і добре вписується в мікроконтролерну обробку. Для цього передбачено використання тензодатчика відповідного діапазону (типово 1-5 кг для дрібних компонентів, залежно від розміру контейнера) у зв'язці з модулем перетворення HX711, що зображений на рисунку 1.4.

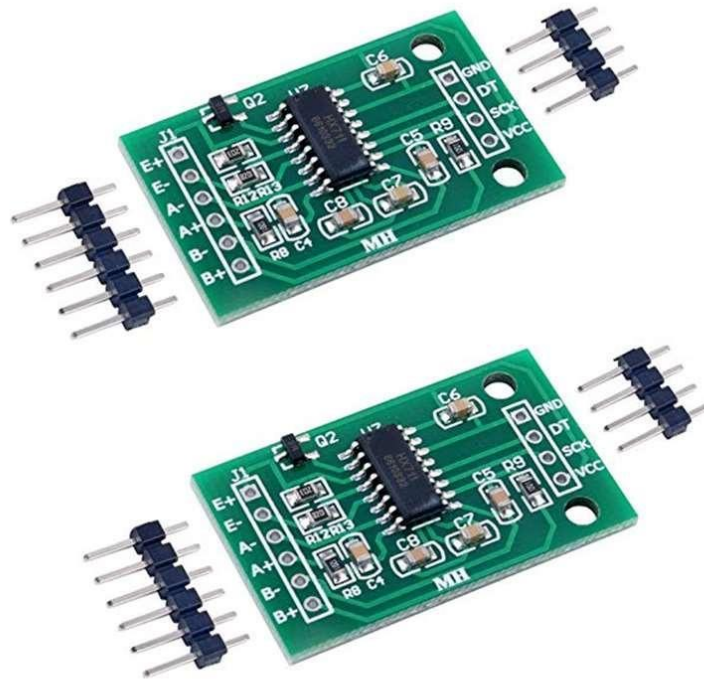


Рисунок 1.4 - Модуль перетворення ваги HX711 [54]

Вузол HX711 є стандартним рішенням для зчитування тензомоста та дає цифровий потік даних, який зручно фільтрується на ESP32. Така конфігурація дозволяє реалізувати ключову для задачі функцію: перехід від вимірної маси до оцінки кількості через заздалегідь задану масу одиниці компонента або масу пакувальної порції. У бакалаврській кваліфікаційній роботі це дозволяє прозоро

описати калібрування, отримання нульового рівня (тара), масштабування та обчислення залишку без складних оптичних алгоритмів.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто теоретичні аспекти та предметну область побудови систем моніторингу складських компонентів на основі технологій Інтернету речей. Основну увагу зосереджено на проблемі своєчасного контролю наявності деталей у виробничих системах, де стабільність матеріальних потоків безпосередньо впливає на безперервність технологічного процесу. Для виробництва карбюраторів ця проблема є особливо важливою, оскільки під час складання використовується значна кількість дрібних компонентів, зокрема жиклерів, пружин, гвинтів, шайб, прокладок та інших елементів. Відсутність навіть однієї позиції може спричинити затримку окремої операції та порушити загальний ритм роботи виробничої дільниці.

У межах розділу проаналізовано задачу моніторингу наявності компонентів у виробничих системах і показано, що традиційні способи контролю запасів не завжди забезпечують потрібну оперативність. Ручний облік, періодичні перевірки та напівавтоматизовані процедури залишають значний вплив людського фактора, через що між фактичним станом складської комірки та його відображенням у цифровій системі виникає часовий розрив. Через це рішення щодо поповнення запасів можуть прийматися із запізненням, а дані в обліковій системі не завжди точно відповідають реальній кількості компонентів у комірці. Окремо розглянуто існуючі підходи до організації обліку та поповнення складських запасів. Проаналізовано класичні Kanban-рішення, електронні Kanban-платформи, RFID-системи, вагові рішення типу SmartBin, оптичні контейнери та корпоративні системи обліку.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СКЛАДСЬКИХ КОМІРОК

2.1 Загальна архітектура системи моніторингу складських комірок

У даному підрозділі детально розглянуто загальну архітектуру системи моніторингу складських комірок, яка сформована з урахуванням реальних умов виробництва та потреб у безперервному контролі наявності компонентів. У межах реалізації систему спроектовано як кіберфізичну, де кожна фізична складська комірка інтегрована з обчислювальним вузлом і здатна формувати цифрове представлення свого стану. Такий підхід дозволяє перейти від епізодичного контролю до постійного моніторингу, що є критично важливим для виробничих процесів із високою інтенсивністю споживання деталей.

Архітектуру побудовано за розподіленим принципом, що передбачає наявність окремих інтелектуальних вузлів, закріплених за кожною складською коміркою. Кожен вузол виконує функції збору, обробки та передавання даних, що дозволяє уникнути концентрації навантаження в одній точці та забезпечити гнучке масштабування системи. У процесі проектування враховано, що кількість комірок у виробничому середовищі може змінюватися, а отже архітектура повинна підтримувати просте додавання нових вузлів без необхідності внесення суттєвих змін у вже розгорнуту систему.

Основу кожного вузла сформовано на базі мікроконтролера, який виконує роль центрального елемента керування. До нього підключено датчики, що дозволяють отримувати інформацію про стан складської комірки. У межах даної реалізації застосовано ваговий метод визначення кількості компонентів, що базується на використанні тензодатчика. Такий підхід дозволяє отримати безперервний сигнал, який прямо відображає зміну кількості деталей у контейнері. На відміну від дискретних або подієвих методів, ваговий підхід дає змогу відстежувати поступове зменшення запасу, що створює можливість прогнозування моменту поповнення.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сигнал із тензодатчика надходить до мікроконтролера через спеціалізований модуль перетворення, який забезпечує підсилення та оцифрування аналогового сигналу. На цьому етапі виконано первинну обробку даних, що включає усереднення значень, компенсацію випадкових коливань та фільтрацію шумів, викликаних вібраціями або нестабільністю розміщення контейнера. Це дозволяє підвищити точність вимірювань і уникнути хибних спрацювань системи.

Додатково до вагового датчика у складі вузла передбачено використання датчика наявності контейнера, який дозволяє визначити факт встановлення або зняття тари. Такий елемент виконує допоміжну функцію і дозволяє коректно інтерпретувати покази вагового датчика, зокрема у випадках, коли контейнер тимчасово відсутній або переміщується під час поповнення. Це підвищує надійність системи та зменшує ймовірність некоректних даних.

Обробку сигналів реалізовано безпосередньо на рівні мікроконтролера, що дозволяє виконати перевірку отриманих значень на відповідність заданим порогам. У межах алгоритму визначено кілька рівнів стану комірки, зокрема нормальний рівень, попереджувальний рівень та критичний рівень. При досягненні відповідного порогу формується подія, яка сигналізує про необхідність поповнення запасу. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати факт спорожнення, а й завчасно реагувати на зниження кількості компонентів.

Передавання даних від вузлів до центральної частини системи організовано за допомогою бездротової мережі Wi-Fi. Використання цієї технології дозволяє уникнути прокладання додаткових кабелів, що є важливим фактором у виробничих умовах, де розміщення обладнання може змінюватися. Кожен вузол підключено до локальної мережі підприємства та здійснює обмін даними із серверною частиною системи.

Для організації обміну повідомленнями використано протокол, орієнтований на IoT-системи, що забезпечує легке підключення великої кількості пристроїв і підтримує подієву модель взаємодії. У межах реалізації

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачено, що вузол передає дані не лише через певні часові інтервали, але й у момент виникнення важливих подій, таких як досягнення критичного рівня запасу. Це дозволяє забезпечити оперативність реагування та зменшити надлишкове навантаження на мережу.

Серверну частину системи реалізовано як централізований компонент, який виконує функції приймання, обробки та зберігання даних. Вона отримує інформацію від усіх вузлів і формує єдину картину стану складських комірок. На цьому рівні реалізовано логіку прийняття рішень, яка полягає у формуванні заявок на поповнення компонентів у разі досягнення критичних значень. Крім того, забезпечено можливість накопичення історичних даних, що дозволяє аналізувати тенденції використання матеріалів і оптимізувати процеси постачання.

Окрему увагу приділено забезпеченню надійності функціонування системи. У разі втрати зв'язку з мережею вузол продовжує виконувати вимірювання та зберігати дані локально. Після відновлення з'єднання накопичена інформація передається на сервер, що дозволяє уникнути втрати даних. Такий механізм підвищує стійкість системи до зовнішніх впливів і забезпечує її стабільну роботу в умовах виробництва.

У підсумку сформована архітектура системи поєднує у собі розподілену структуру, використання мікроконтролерних вузлів і централізовану обробку даних. Це дозволяє досягти балансу між точністю вимірювань, швидкістю реагування та простотою масштабування. Реалізований підхід створює практичну основу для автоматизації контролю складських запасів і забезпечує підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок своєчасного виявлення потреби у поповненні компонентів.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Порівняльний аналіз та вибір технічних засобів реалізації

У даному підрозділі детально розглянуто процес вибору технічних засобів для реалізації системи моніторингу складських комірок з урахуванням реальних умов виробництва, специфіки використання компонентів та вимог до стабільності роботи системи у тривалому режимі експлуатації. Основну увагу зосереджено не лише на функціональних можливостях окремих елементів, а й на їх сумісності, енергоспоживанні, простоті інтеграції та можливості подальшого масштабування системи. Структурну схему системи моніторингу складських комірок зображено на рисунку 2.1.

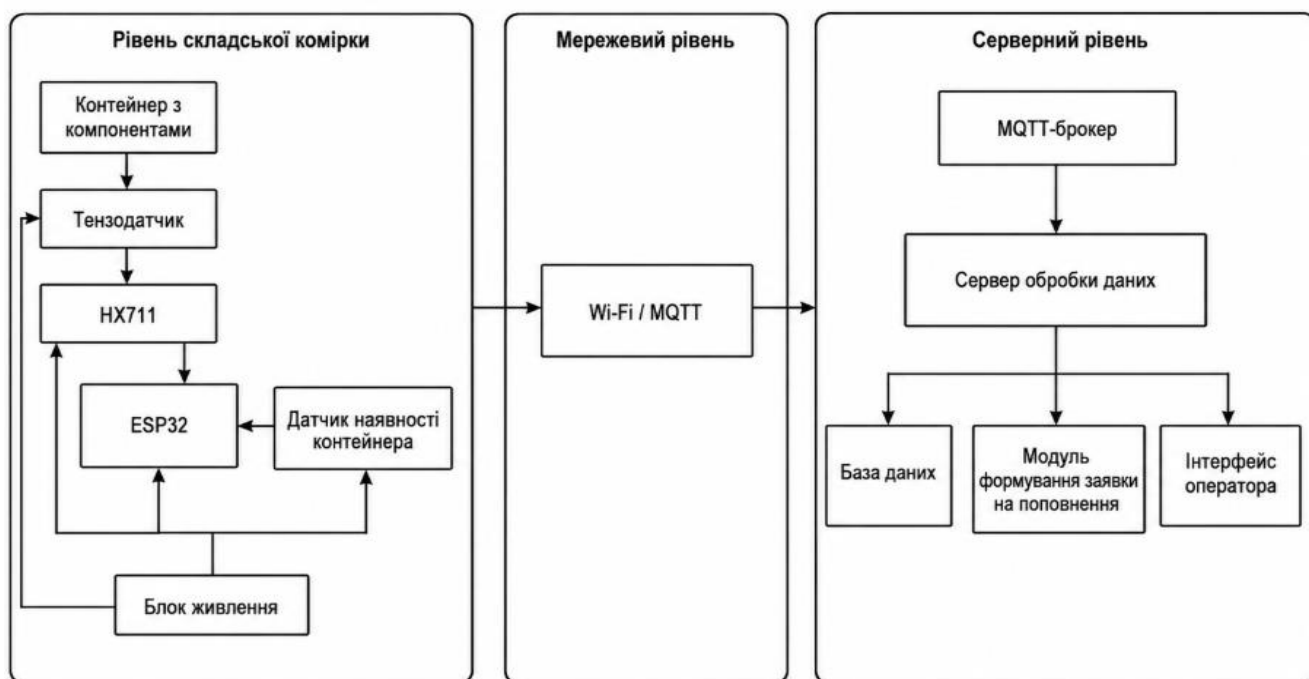


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи моніторингу складських комірок

Першочергово проаналізовано обчислювальні платформи, які виступають центральним елементом кожного вузла моніторингу. У процесі розгляду встановлено, що платформи Arduino, зокрема Arduino Uno або Arduino Nano, характеризуються стабільністю роботи, простотою програмування та великою кількістю готових бібліотек для роботи з датчиками. Вони добре підходять для

реалізації базових алгоритмів збору даних, однак обмежені за обсягом пам'яті та не мають вбудованих засобів бездротового зв'язку. Для організації мережевої взаємодії в такому випадку необхідно використовувати додаткові модулі, наприклад ESP8266 або Ethernet-адаптери, що ускладнює апаратну частину та збільшує кількість точок відмови. Структурна схема системи моніторингу складських комірок подана на рисунку 2.2.

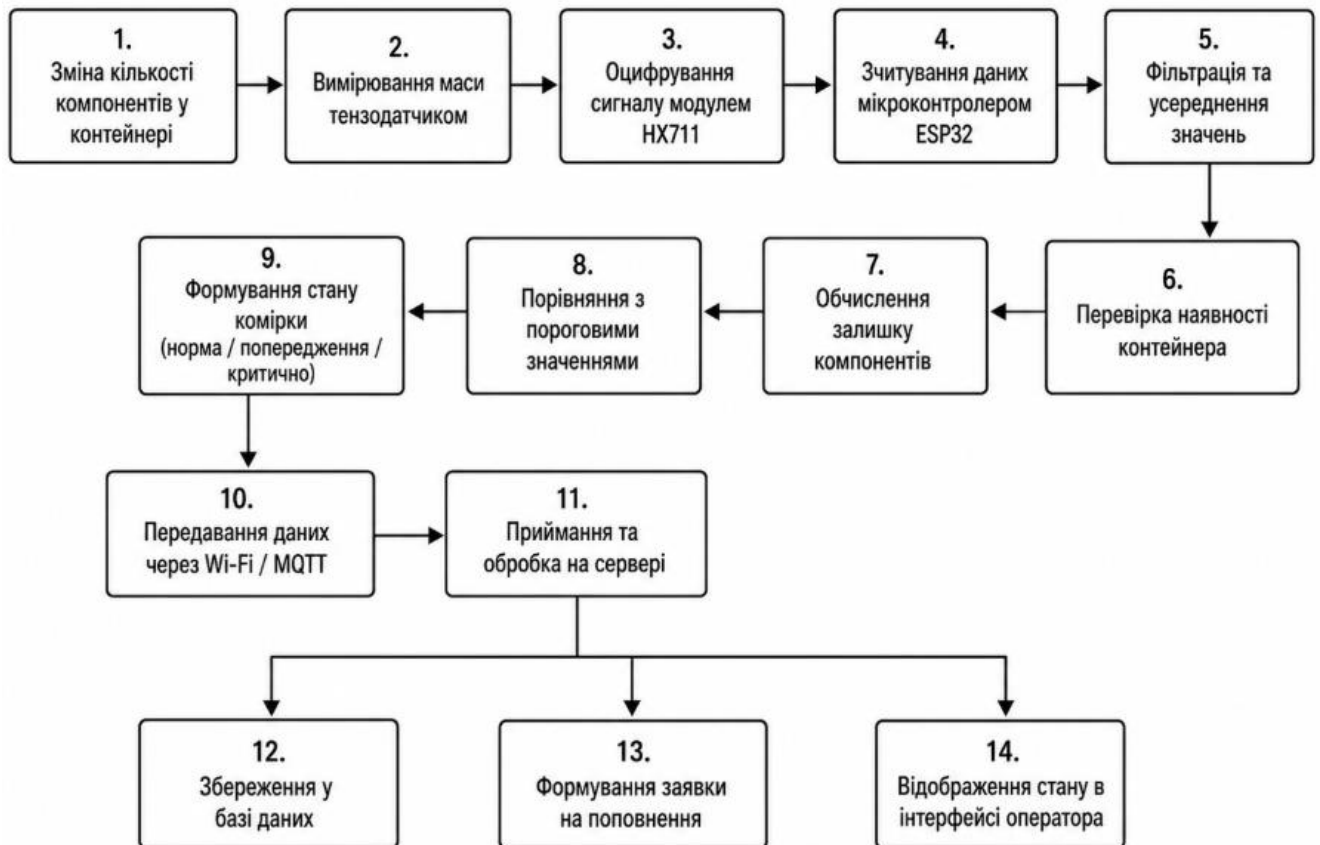


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи моніторингу складських комірок

У порівнянні з цим платформа ESP32 забезпечує значно ширші можливості. Вона має двоядерний процесор, достатній обсяг оперативної пам'яті та вбудовані модулі Wi-Fi і Bluetooth. Це дозволяє реалізувати повноцінний IoT-вузол без використання зовнішніх комунікаційних пристроїв. Крім того, ESP32 підтримує апаратні інтерфейси для роботи з аналоговими та цифровими датчиками, що спрощує підключення тензодатчиків і допоміжних сенсорів. У процесі аналізу встановлено, що саме ця платформа дозволяє реалізувати більш

компактне, енергоефективне та надійне рішення, що особливо важливо у випадку великої кількості вузлів у системі.

Наступним етапом виконано детальний аналіз засобів вимірювання кількості компонентів. У межах практичної реалізації розглянуто декілька варіантів: кінцеві вимикачі, інфрачервоні датчики рівня, ультразвукові сенсори та вагові датчики. Кінцеві вимикачі дозволяють фіксувати лише факт наявності або відсутності контейнера, що не забезпечує необхідного рівня інформативності. Інфрачервоні та ультразвукові датчики можуть визначати рівень заповнення, однак їх точність залежить від форми компонентів і способу їх укладання, що у випадку дрібних деталей створює значні похибки.

У результаті більш детального аналізу встановлено, що тензодатчики є найбільш придатними для вирішення поставленої задачі. Вони дозволяють вимірювати масу з високою точністю та забезпечують стабільні результати незалежно від форми або способу розміщення компонентів у контейнері. У складі системи використано тензодатчик із підсилювачем типу НХ711, який забезпечує перетворення слабкого аналогового сигналу у цифровий формат, придатний для обробки мікроконтролером. Такий модуль має високу роздільну здатність і дозволяє виявляти навіть незначні зміни маси, що є важливим для раннього визначення зниження запасів.

Значну увагу приділено умовам встановлення тензодатчика. Для забезпечення коректної роботи передбачено жорстке кріплення датчика та рівномірний розподіл навантаження. Ураховано, що перекоси або нерівномірний тиск можуть призводити до спотворення результатів, тому конструкція вузла передбачає використання платформи для розміщення контейнера, яка забезпечує стабільний контакт із датчиком. Додатково реалізовано програмну компенсацію незначних коливань, що виникають у процесі експлуатації.

Для підвищення надійності системи також використано допоміжний датчик наявності контейнера, який дозволяє визначити факт встановлення або зняття тари. Це дає можливість виключити помилкові покази, що можуть

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виникати під час обслуговування або поповнення комірки. У поєднанні з ваговим датчиком це формує більш достовірну модель стану складської комірки.

Окремо розглянуто питання організації передавання даних. У процесі аналізу порівняно провідні інтерфейси, такі як RS-485 або Ethernet, та бездротові технології, зокрема Wi-Fi. Провідні рішення забезпечують стабільність і низьку затримку передачі, однак їх впровадження у виробничих умовах пов'язане зі значними витратами на прокладання кабелів і обмежує можливість швидкої зміни конфігурації системи. У той же час бездротовий підхід дозволяє розміщувати вузли у будь-якій частині приміщення та легко змінювати їх розташування.

У результаті обрано технологію Wi-Fi як основний канал зв'язку, що забезпечує достатню швидкість передачі та інтеграцію з існуючою мережею підприємства. Для обміну даними використано протокол MQTT, який реалізує модель «видавець-підписник» і дозволяє ефективно працювати з великою кількістю вузлів. Це дозволяє мінімізувати обсяг переданих даних і забезпечити швидку реакцію системи на зміну стану.

Серверну частину системи реалізовано з урахуванням вимог до обробки та зберігання даних. У якості базової платформи розглянуто використання персонального комп'ютера або одноплатного комп'ютера, що дозволяє забезпечити достатню продуктивність при невисоких витратах. Сервер виконує функції приймання повідомлень від вузлів, їх обробки, збереження в базі даних і формування керувальних дій. Додатково передбачено можливість візуалізації стану системи у вигляді інтерфейсу, що відображає поточний рівень запасів у кожній комірці.

Особливу увагу приділено питанням надійності та відмовостійкості. Передбачено, що у разі втрати мережевого з'єднання вузол продовжує працювати автономно, накопичуючи дані у внутрішній пам'яті. Після відновлення зв'язку інформація передається на сервер, що дозволяє уникнути

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втрати критичних даних. Такий підхід забезпечує стабільність функціонування системи навіть у випадку тимчасових збоїв мережевої інфраструктури.

У підсумку виконаний порівняльний аналіз дозволив сформувавши обґрунтований вибір технічних засобів, які забезпечують необхідний рівень точності, надійності та гнучкості системи. Використання платформи ESP32 у поєднанні з тензодатчиком і модулем HX711, бездротової мережі Wi-Fi та протоколу MQTT створює ефективну основу для побудови сучасної системи моніторингу складських комірок, здатної працювати в умовах реального виробництва та забезпечувати своєчасне прийняття рішень щодо поповнення запасів.

2.3 Розроблення апаратної частини вузла складської комірки

У даному підрозділі детально описано процес розроблення апаратної частини вузла складської комірки, який виступає базовим елементом усієї системи моніторингу. У межах реалізації вузол сформовано як автономний мікроконтролерний модуль, що здійснює вимірювання фізичних параметрів, їх первинну обробку та підготовку до передавання у мережу. Основною вимогою до апаратної частини визначено забезпечення стабільної роботи в умовах виробничого середовища, де присутні вібрації, перепади температури, електромагнітні завади та нерівномірні навантаження на конструкцію.

Базою апаратної реалізації обрано мікроконтролерну платформу ESP32, яка забезпечує достатню обчислювальну потужність, наявність вбудованого бездротового модуля та широкий набір інтерфейсів для підключення периферійних пристроїв. Живлення вузла організовано від стабілізованого джерела постійної напруги, яке забезпечує номінальний рівень 5 В із подальшим перетворенням до 3.3 В для живлення логічної частини мікроконтролера. Для цього використано лінійний або імпульсний стабілізатор напруги, що дозволяє забезпечити стійкість до коливань вхідної напруги та знизити вплив перешкод.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключовим елементом апаратної частини виступає тензодатчик, який реалізує функцію вимірювання маси контейнера з компонентами. У межах конструкції використано датчик, виконаний за мостовою схемою, що забезпечує зміну електричного сигналу пропорційно прикладеному навантаженню. Такий датчик підключено до спеціалізованого модуля НХ711, який виконує функцію підсилення слабкого сигналу та його аналого-цифрового перетворення. НХ711 забезпечує високу роздільну здатність вимірювань і дозволяє отримати стабільні значення навіть при незначних змінах маси.

Підключення тензодатчика до модуля НХ711 виконано з урахуванням кольорового маркування проводів, що відповідають плечам мостової схеми. Далі модуль НХ711 з'єднано з мікроконтролером через цифровий інтерфейс, який використовує дві лінії - тактову та даних. Така схема підключення дозволяє реалізувати синхронний обмін інформацією та забезпечує стабільність передавання сигналу.

Особливу увагу приділено механічній частині вузла, оскільки саме вона безпосередньо впливає на точність вимірювань. Тензодатчик встановлено на жорсткій основі, яка забезпечує мінімізацію сторонніх деформацій. Контейнер із компонентами розміщено на платформі, яка рівномірно передає навантаження на чутливий елемент датчика. Конструкцію виконано таким чином, щоб виключити перекося, нерівномірний тиск та контакт із сторонніми поверхнями. Це дозволяє уникнути спотворення результатів вимірювання та забезпечує повторюваність показів.

Для підвищення достовірності даних у складі вузла додатково використано датчик наявності контейнера. Його реалізацію виконано на основі простого кінцевого вимикача або оптичного сенсора, який фіксує факт встановлення тари на платформу. Сигнал із цього датчика використовується для коректної інтерпретації показів тензодатчика, що дозволяє виключити помилкові значення у випадках, коли контейнер тимчасово відсутній або знаходиться у процесі заміни.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 2.3 зображено схему живлення вузла реалізовано з урахуванням необхідності стабільної роботи як аналогової, так і цифрової частини. Для цього передбачено використання фільтрувальних конденсаторів, які зменшують вплив високочастотних перешкод і забезпечують згладжування пульсацій напруги. Особливу увагу приділено розведенню «землі», що дозволяє мінімізувати вплив цифрових сигналів на аналогову частину, зокрема на роботу тензодатчика.

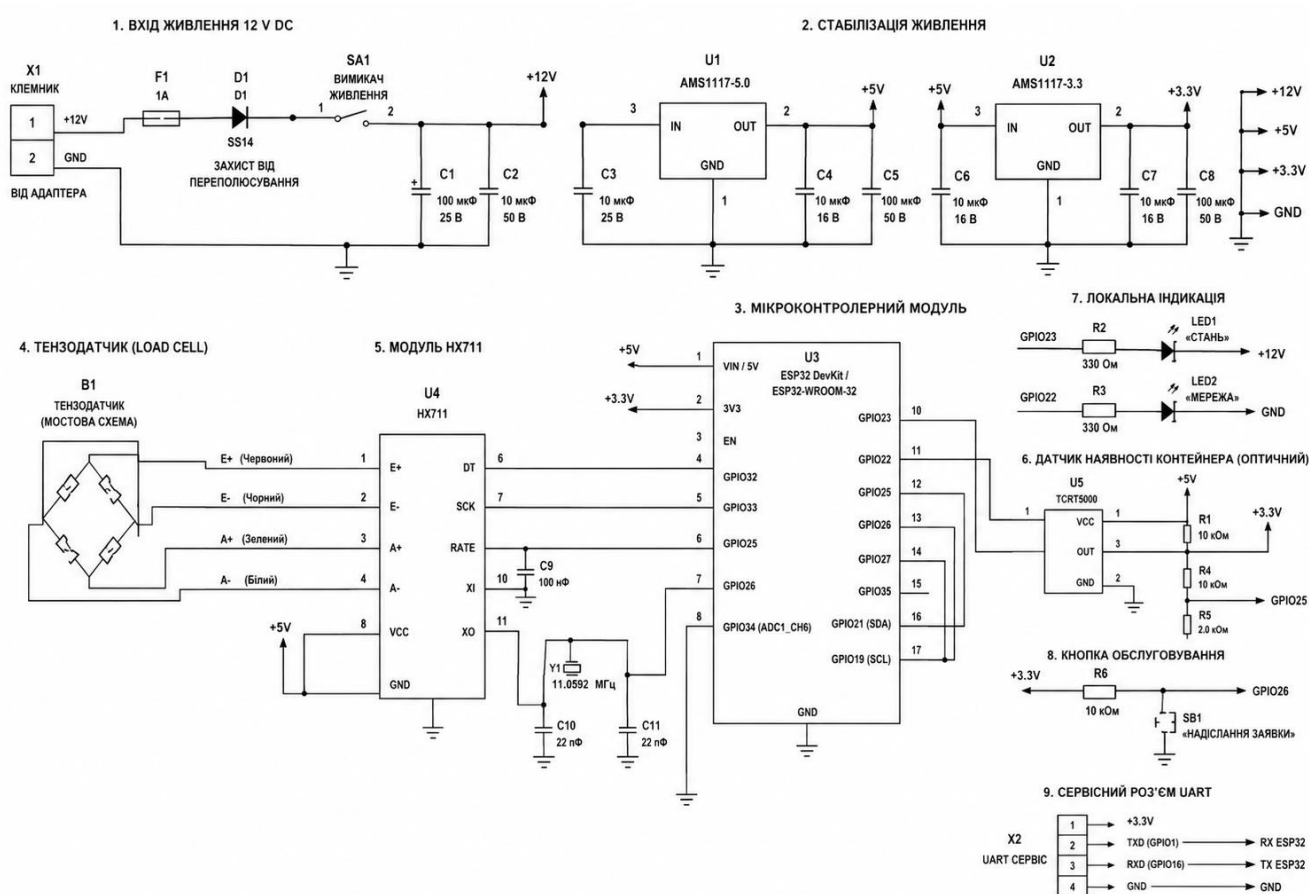


Рисунок 2.3 – Схема електрична принципова системи моніторингу складських комрок

У процесі розроблення також враховано питання електромагнітної сумісності. Провідники, що з'єднують тензодатчик із модулем HX711, виконано мінімальної довжини та за можливості екрановано, що дозволяє зменшити вплив

зовнішніх завад. Крім того, у схемі передбачено використання підтягувальних резисторів для стабілізації рівнів сигналів на цифрових входах мікроконтролера.

Апаратну частину вузла змонтовано на друкованій платі або макетній основі з урахуванням компактності та зручності обслуговування. Розташування компонентів виконано таким чином, щоб забезпечити мінімальну довжину сигнальних ліній та спростити доступ до основних елементів у разі необхідності налаштування або ремонту. Вузол розміщено у захисному корпусі, який забезпечує захист від пилу, механічних пошкоджень і випадкового контакту з електричними елементами.

Окремо розглянуто процес калібрування тензодатчика, який є обов'язковим етапом перед введенням системи в експлуатацію. Калібрування виконано шляхом послідовного навантаження датчика відомими масами та визначення коефіцієнта перетворення, який використовується у програмній частині для переведення цифрового сигналу у фізичне значення маси. Це дозволяє забезпечити точність вимірювань і узгодженість показів між різними вузлами системи.

У результаті розроблення апаратної частини сформовано функціонально завершений вузол складської комірки, який поєднує засоби вимірювання, обробки та передавання даних. Реалізована конструкція забезпечує стабільну роботу, достатню точність вимірювань і можливість інтеграції у розподілену IoT-систему моніторингу. Це створює технічну основу для подальшої реалізації програмної частини та повноцінного функціонування всієї системи контролю складських запасів.

2.4 Організація збору та обробки даних на рівні мікроконтролера

У даному підрозділі розглянуто організацію збору та обробки даних на рівні мікроконтролера, що виступає ключовим елементом вузла складської комірки та забезпечує перетворення фізичних вимірювань у цифрову

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформацію, придатну для подальшого аналізу. У межах реалізації цей рівень виконує не лише функцію зчитування сигналів із датчиків, а й попередню обробку, фільтрацію, інтерпретацію результатів і формування подій, що дозволяє суттєво зменшити навантаження на мережеву та серверну частину системи.

Збір даних організовано на основі періодичного опитування підключених датчиків, серед яких основну роль відіграє тензодатчик, підключений через модуль НХ711. Мікроконтролер здійснює зчитування цифрового значення, яке відповідає поточному навантаженню на датчик. Оскільки сигнал може містити випадкові коливання, викликані вібраціями, механічними впливами або електричними завадами, передбачено багаторівневу обробку отриманих даних.

На першому етапі виконано накопичення серії вимірювань із заданим інтервалом часу. Це дозволяє сформувати вибірку значень, яка використовується для подальшого усереднення. Застосування такого підходу дозволяє зменшити вплив одиничних відхилень і отримати більш стабільний результат. Додатково реалізовано алгоритм відсікання крайніх значень, що дозволяє усунути різкі стрибки, які не відповідають реальному стану системи.

Після первинної фільтрації виконано перетворення цифрового сигналу у фізичне значення маси з використанням коефіцієнта калібрування. Цей коефіцієнт визначено під час налаштування системи та збережено у пам'яті мікроконтролера. Такий підхід дозволяє отримувати значення маси у зручному для подальшої обробки вигляді та забезпечує узгодженість результатів між різними вузлами.

На наступному етапі реалізовано логіку інтерпретації отриманих даних. Значення маси порівнюється із заздалегідь визначеними порогами, що відповідають різним станам складської комірки. У межах алгоритму визначено декілька рівнів, серед яких нормальний стан, стан наближення до мінімального запасу та критичний стан. У разі досягнення порогових значень формується відповідна подія, яка сигналізує про необхідність поповнення компонентів.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення достовірності результатів враховано стан допоміжного датчика наявності контейнера. У разі відсутності контейнера результати вимірювань ігноруються або маркуються як некоректні. Це дозволяє уникнути ситуацій, коли система фіксує нульове значення маси як критичний рівень запасу, хоча фактично контейнер тимчасово знято для обслуговування.

Організацію обробки даних реалізовано таким чином, щоб забезпечити мінімальне навантаження на мікроконтролер при збереженні достатньої швидкості реакції системи. Для цього використано циклічну модель роботи, у якій виконуються послідовні етапи зчитування, обробки та перевірки даних. При цьому частота опитування датчиків обрано з урахуванням інерційності змін маси, що дозволяє уникнути надмірного споживання ресурсів.

Додатково реалізовано механізм формування подій, який дозволяє передавати інформацію лише у разі зміни стану або досягнення критичних значень. Це дозволяє суттєво зменшити обсяг переданих даних і оптимізувати використання мережевих ресурсів. У випадку відсутності змін система може передавати узагальнену інформацію з більшою періодичністю, що забезпечує контроль працездатності вузла.

Для підвищення надійності передбачено збереження останніх вимірних значень у внутрішній пам'яті мікроконтролера. Це дозволяє відновити роботу системи після короткочасних збоїв живлення або перезавантаження без втрати важливої інформації. Крім того, реалізовано контроль коректності отриманих даних, що дозволяє виявляти аномальні значення та запобігати їх використанню у подальшій обробці.

У межах програмної реалізації використано структуру, яка розділяє логіку збору даних, їх обробки та формування подій. Це дозволяє спростити модифікацію алгоритмів і забезпечує гнучкість системи у разі зміни вимог. Зокрема, передбачено можливість налаштування порогових значень, інтервалів опитування та параметрів фільтрації без необхідності повної зміни програмного коду.

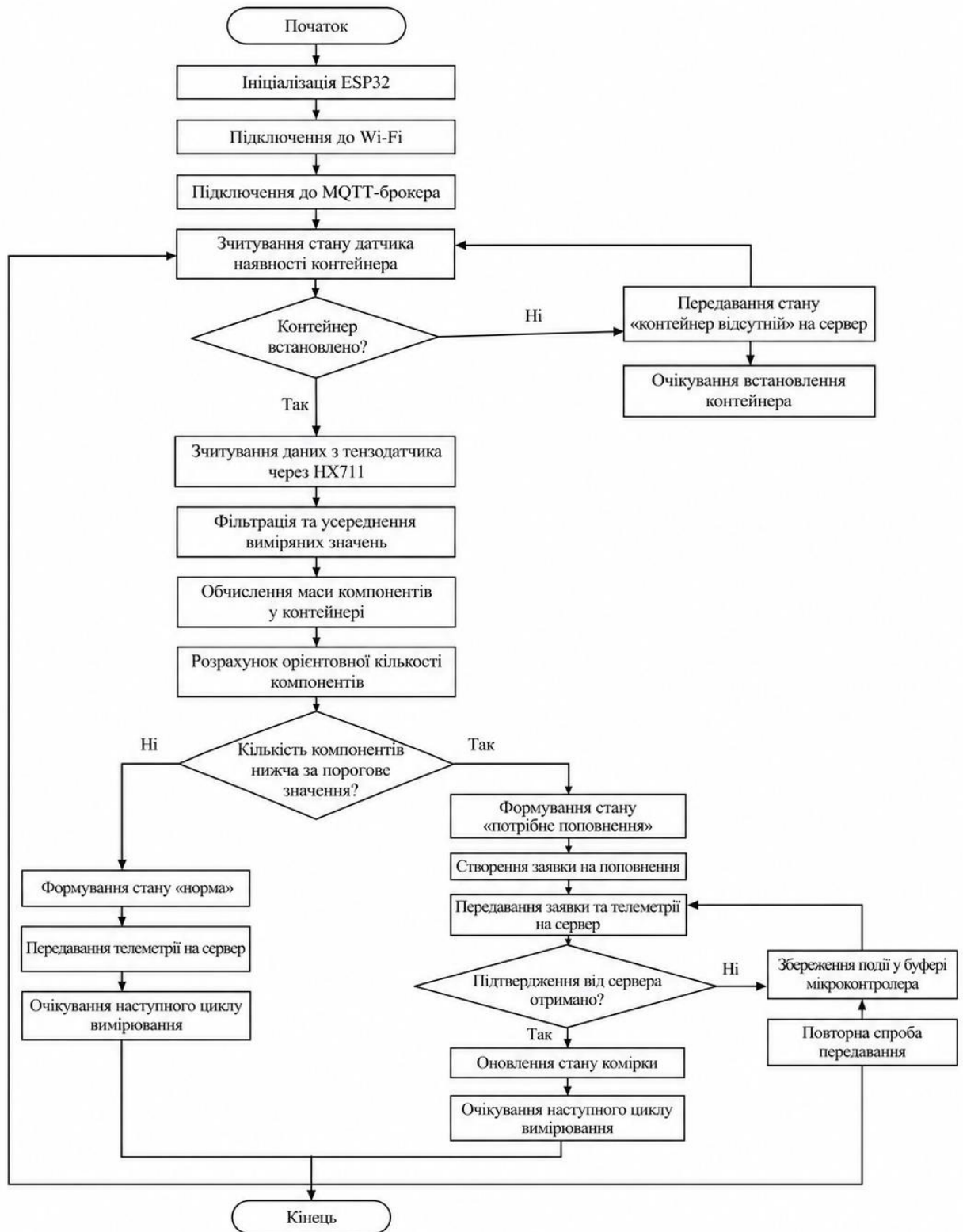


Рисунок 2.4 - Алгоритм обробки сигналу та визначення рівня запасу в комірці

У підсумку організація збору та обробки даних на рівні мікроконтролера реалізована таким чином, що забезпечує стабільне отримання достовірної інформації про стан складських комірок, своєчасне виявлення критичних

ситуацій і підготовку даних для подальшого передавання у мережу. Це дозволяє сформувати ефективний локальний рівень обробки, який є основою для побудови всієї системи моніторингу.

2.5 Організація передавання даних та взаємодії з серверною частиною

У даному підрозділі детально розглянуто організацію передавання даних від вузлів складських комірок до серверної частини системи, а також принципи їхньої взаємодії в межах єдиної інформаційної інфраструктури. Реалізацію цього етапу визначено як одну з ключових складових, оскільки саме вона забезпечує зв'язок між фізичним рівнем вимірювання та рівнем централізованого аналізу і прийняття рішень.

Передавання даних організовано на основі бездротової мережі Wi-Fi, що дозволяє інтегрувати вузли у локальну мережу підприємства без необхідності прокладання додаткових кабелів. Такий підхід суттєво спрощує розгортання системи, особливо у виробничих приміщеннях, де конфігурація обладнання може змінюватися. Кожен мікроконтролерний вузол підключено до точки доступу та отримує унікальну адресу в межах локальної мережі, що дозволяє ідентифікувати його як окремий елемент системи.

Для організації обміну даними обрано протокол MQTT, який орієнтовано на застосування у розподілених IoT-системах. Його використання дозволяє реалізувати модель взаємодії типу «видавець-підписник», де вузли складських комірок виступають джерелами даних, а серверна частина їх отримувачем. Така модель дозволяє уникнути жорсткого зв'язку між окремими компонентами системи та забезпечує гнучкість у розширенні або модифікації архітектури.

У межах реалізації кожен вузол формує повідомлення, яке містить інформацію про поточний стан складської комірки. Структура повідомлення включає ідентифікатор вузла, значення маси, визначений стан (нормальний, попереджувальний або критичний), а також службову інформацію, зокрема

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

часову мітку. Формування такого пакета даних виконано з урахуванням необхідності мінімізації обсягу переданої інформації при збереженні достатньої інформативності.

Передавання даних реалізовано у двох режимах. Перший режим передбачає періодичну передачу даних через задані інтервали часу, що дозволяє серверу отримувати актуальну інформацію про стан системи навіть за відсутності змін. Другий режим реалізовано як подієвий, коли повідомлення надсилається у момент досягнення порогових значень або зміни стану комірки. Такий підхід дозволяє забезпечити оперативну реакцію на критичні ситуації та зменшити навантаження на мережу.

На стороні сервера розгорнуто MQTT-брокер, який виконує функцію посередника у передаванні повідомлень. Він приймає дані від вузлів і передає їх відповідним підписникам, серед яких можуть бути модулі обробки, системи візуалізації або інші компоненти інформаційної системи підприємства. Така організація дозволяє централізувати управління потоками даних і забезпечити масштабованість системи.

Серверна частина також виконує функцію обробки отриманих повідомлень. Після надходження даних виконується їх розбір, перевірка коректності та збереження у базі даних. На основі отриманої інформації реалізовано алгоритми визначення необхідності поповнення запасів, що дозволяє автоматично формувати відповідні заявки. Крім того, накопичені дані можуть використовуватися для аналізу динаміки використання компонентів та оптимізації процесів постачання.

Особливу увагу приділено забезпеченню надійності передавання даних. У межах використання MQTT реалізовано механізми підтвердження доставки повідомлень, що дозволяє гарантувати отримання критично важливої інформації. У випадку тимчасової втрати зв'язку вузол зберігає дані у внутрішній пам'яті та передає їх після відновлення з'єднання. Це дозволяє уникнути втрати інформації та забезпечує безперервність роботи системи.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також передбачено механізми ідентифікації та автентифікації вузлів у мережі. Кожен вузол використовує унікальні облікові дані для підключення до MQTT-брокера, що дозволяє обмежити доступ сторонніх пристроїв і підвищити рівень безпеки системи. Додатково може використовуватися шифрування переданих даних, що забезпечує захист інформації від перехоплення.

У процесі реалізації враховано можливість розширення системи. Архітектура передбачає підключення нових вузлів без необхідності змін у вже існуючих компонентах. Для цього достатньо налаштувати новий вузол на передачу даних у відповідну тему MQTT, після чого він автоматично інтегрується у систему.

У підсумку організація передавання даних та взаємодії з серверною частиною реалізована як гнучка, масштабована та надійна підсистема, що забезпечує своєчасне отримання інформації про стан складських комірок і підтримує процес автоматизованого прийняття рішень. Це дозволяє сформувати єдине інформаційне середовище, у якому фізичні об'єкти та програмні компоненти працюють узгоджено та ефективно.

2.6 Особливості реалізації системи в умовах виробництва карбюраторів

У даному підрозділі розглянуто особливості реалізації системи моніторингу складських комірок у специфічних умовах виробництва карбюраторів, де організація матеріальних потоків має свої характерні риси, а вимоги до точності та оперативності контролю є підвищеними. У межах такої виробничої діяльності використовується значна кількість дрібних деталей, серед яких гвинти, жиклери, пружини, шайби та інші елементи, що відрізняються малою масою та високою інтенсивністю використання. Це створює додаткові складнощі при реалізації автоматизованого контролю їх наявності.

Однією з ключових особливостей є нерівномірність споживання компонентів, що обумовлена специфікою технологічного процесу складання

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карбюраторів. У різні моменти часу навантаження на окремі складські комірки може суттєво змінюватися, що вимагає від системи здатності швидко реагувати на зміну стану запасів. У зв'язку з цим реалізовано підхід, за якого вузли моніторингу працюють у режимі безперервного вимірювання, а обробка даних виконується з урахуванням динаміки змін, а не лише статичних значень.

Важливим фактором виступає також мала маса окремих деталей, що потребує використання високочутливих засобів вимірювання. У процесі реалізації враховано, що зміна кількості компонентів може супроводжуватися незначними змінами загальної маси, тому застосування тензодатчиків із високою роздільною здатністю дозволяє фіксувати навіть мінімальні відхилення. При цьому особливу увагу приділено калібруванню системи для кожного типу компонентів, оскільки різні деталі мають різну масу, і це безпосередньо впливає на точність визначення їх кількості.

Ще однією характерною особливістю є вплив виробничого середовища на роботу апаратної частини. У цехах можуть виникати вібрації від роботи обладнання, перепади температури та підвищений рівень запиленості. У межах реалізації це враховано шляхом забезпечення механічної стійкості конструкції вузлів, використання захисних корпусів та застосування алгоритмів фільтрації, що дозволяють компенсувати вплив випадкових коливань сигналу. Це забезпечує стабільність вимірювань навіть у складних умовах експлуатації.

Особливу роль відіграє організація розміщення складських комірок у межах виробничого простору. Як правило, вони розташовані безпосередньо біля робочих місць або на лініях складання, що обумовлює необхідність компактного виконання вузлів моніторингу та їх зручного монтажу. У процесі реалізації передбачено, що вузол інтегрується безпосередньо у конструкцію комірки або встановлюється під контейнером, не порушуючи звичного процесу роботи персоналу.

Додатково враховано людський фактор, оскільки взаємодія оператора з коміркою може впливати на результати вимірювань. Наприклад, під час

поповнення або вилучення компонентів можливі короточасні коливання маси або часткове зняття контейнера. У зв'язку з цим реалізовано логіку обробки даних, яка дозволяє ігнорувати нестабільні значення та враховує стан допоміжних датчиків. Це дозволяє підвищити достовірність роботи системи та уникнути хибних спрацювань.

Також важливою особливістю є необхідність інтеграції системи з існуючими виробничими процесами. Система моніторингу не повинна ускладнювати роботу персоналу або вимагати додаткових дій з боку операторів.

Окремо розглянуто питання оперативності формування заявок на поповнення. У виробництві карбюраторів навіть короточасна відсутність окремих компонентів може призвести до зупинки технологічного процесу. З огляду на це реалізовано механізм раннього виявлення зниження запасів, що дозволяє формувати заявку ще до досягнення критичного рівня. Це створює запас часу для виконання логістичних операцій і забезпечує безперервність виробництва.

У підсумку особливості реалізації системи в умовах виробництва карбюраторів визначаються високою інтенсивністю використання компонентів, малою масою деталей, впливом виробничого середовища та необхідністю забезпечення безперервності технологічного процесу. Врахування цих факторів дозволяє створити систему, яка не лише виконує функцію контролю, а й органічно вписується у виробничий процес, підвищуючи його ефективність і стабільність.

2.7 Висновки до другого розділу

У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто практичну реалізацію системи моніторингу складських комірок, призначеної для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів. Основну увагу приділено формуванню технічно узгодженої архітектури, вибору апаратних

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засобів, організації збору й обробки даних на рівні мікроконтролера, передаванню інформації до серверної частини та врахуванню особливостей реального виробничого середовища. У результаті сформовано цілісне уявлення про систему як про розподілений кіберфізичний комплекс, у якому кожна складська комірka виконує роль окремого IoT-вузла.

У межах розділу обґрунтовано загальну архітектуру системи моніторингу складських комірок. Показано, що найбільш доцільною є розподілена побудова, за якої кожна комірka має власний мікроконтролерний вузол, сенсорну частину та засоби передавання даних. Такий підхід дозволяє не прив'язувати всю систему до одного централізованого вимірювального блока, а забезпечити гнучке масштабування відповідно до кількості складських позицій. Це має важливе значення для виробництва карбюраторів, оскільки в технологічному процесі використовується багато дрібних деталей різної номенклатури, і кожна з них може потребувати окремого контролю залишку.

Під час порівняльного аналізу технічних засобів визначено, що для побудови вузла складської комірки найбільш придатною є платформа ESP32. Її використання пояснюється наявністю достатньої обчислювальної спроможності, вбудованого Wi-Fi-модуля, підтримкою роботи з цифровими інтерфейсами та можливістю реалізації локальної логіки без залучення додаткових мережевих пристроїв.

У підсумку другий розділ дозволив перейти від теоретичного обґрунтування теми до конкретного технічного рішення. Сформовано архітектуру системи, обрано основні компоненти, описано апаратний вузол складської комірки, визначено логіку збору й обробки даних та організовано взаємодію з серверною частиною. Запропонована реалізація поєднує простоту апаратної побудови, можливість масштабування, локальну автономність вузлів і достатню точність контролю залишків. Це створює основу для подальшої програмної реалізації, розроблення інтерфейсу контролю та перевірки працездатності системи у третьому розділі.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СКЛАДСЬКИХ КОМІРОК

3.1 Реалізація програмної логіки мікроконтролерного вузла складської комірки

Програмну логіку мікроконтролерного вузла складської комірки реалізовано як окремий локальний рівень керування, який забезпечує зчитування даних із сенсорів, попередню обробку вимірювань, визначення стану запасу компонентів і підготовку інформації для передавання до серверної частини системи. У межах розробленої системи саме мікроконтролерний вузол виступає первинним джерелом даних, оскільки він безпосередньо взаємодіє з фізичною складською коміркою та фіксує зміну кількості компонентів у контейнері.

Основою програмної логіки є послідовний цикл роботи мікроконтролера ESP32. Після запуску вузла виконується ініціалізація основних апаратних і програмних компонентів: налаштовуються цифрові входи та виходи, встановлюється взаємодія з модулем HX711, завантажуються калібрувальні коефіцієнти, задаються порогові значення для конкретної складської комірки та перевіряється готовність допоміжного датчика наявності контейнера. Така структура запуску дозволяє підготувати вузол до стабільної роботи ще до початку основного циклу вимірювання.

У програмній частині окремо враховано те, що система призначена для умов виробництва карбюраторів, де в комірках можуть зберігатися деталі різної маси та форми. Для дрібних компонентів, зокрема жиклерів, гвинтів, шайб, пружин та інших елементів, навіть невелика зміна маси контейнера має практичне значення. Через це програмна логіка не обмежується одноразовим зчитуванням сигналу з тензодатчика, а передбачає багаторазове вимірювання з подальшим усередненням. Це дозволяє зменшити вплив випадкових коливань, які можуть виникати через вібрації, торкання контейнера або короткочасне механічне збурення.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структуру програмної логіки мікроконтролерного вузла складської комірки зображено на рисунку 3.1.

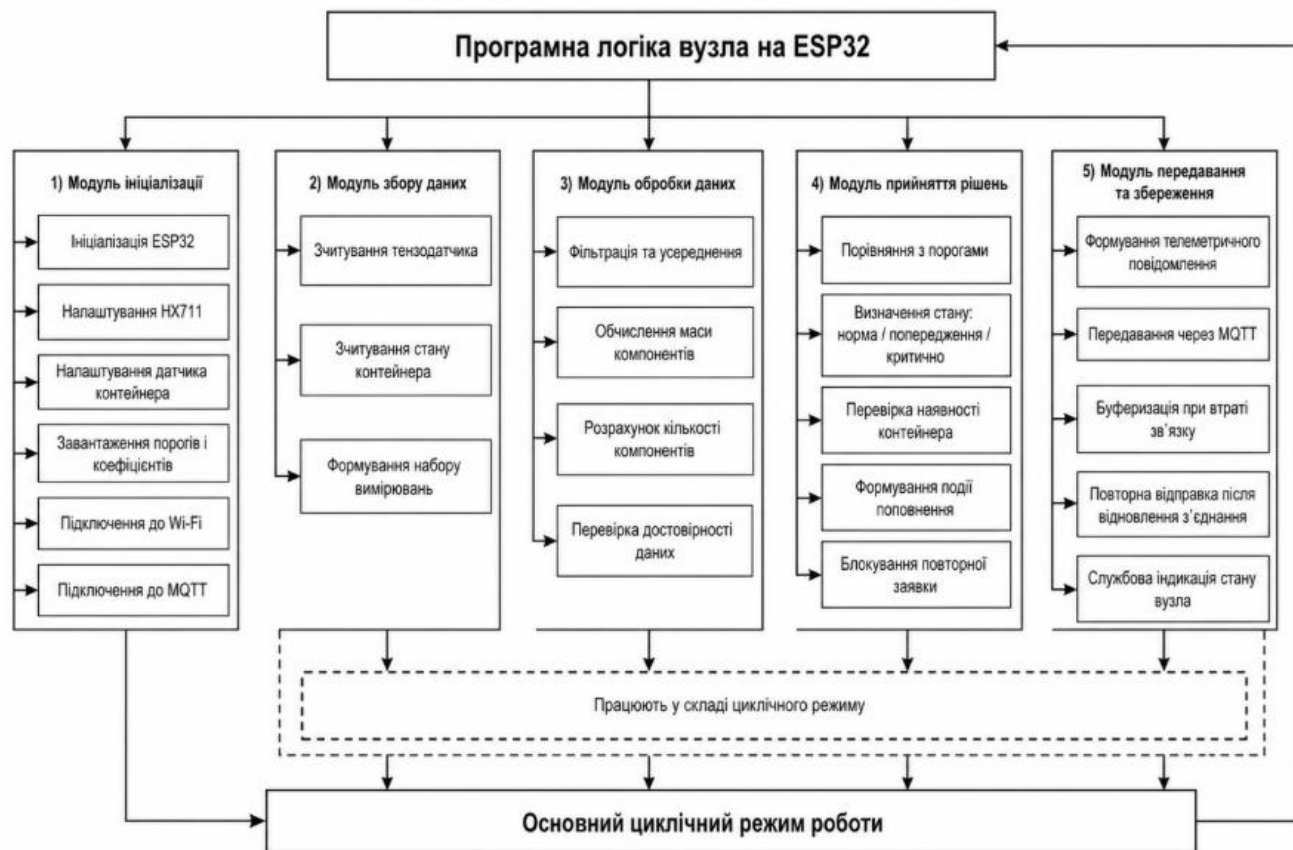


Рисунок 3.1 – Структура програмної логіки мікроконтролерного вузла складської комірки

Першим етапом роботи основного циклу є перевірка стану датчика наявності контейнера. Цей етап має важливе значення, оскільки тензодатчик може показувати нульову або різко змінену масу не лише через відсутність компонентів, а й через тимчасове зняття тари під час поповнення або обслуговування. У програмній логіці передбачено, що вимірювання маси вважається коректним лише тоді, коли контейнер підтверджено як встановлений. Якщо контейнер відсутній, вузол не формує заявку на поповнення, а передає або фіксує службовий стан «контейнер відсутній». Це дозволяє уникнути хибного спрацювання системи в ситуаціях, коли оператор зняв контейнер для поповнення.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

Після підтвердження наявності контейнера мікроконтролер переходить до зчитування даних із тензодатчика через модуль HX711. Модуль HX711 виконує оцифрування сигналу, отриманого від тензодатчика, а ESP32 зчитує цифрове значення та передає його до блоку програмної обробки. Оскільки вихідні значення можуть містити шум, у програмі реалізовано усереднення кількох вимірювань. Для цього формується серія зчитувань, після чого розраховується середнє значення. Такий підхід дає змогу отримати більш стабільний результат і зменшити ймовірність помилки, спричиненої одиничним стрибком сигналу.

Наступним етапом є перетворення отриманого цифрового значення у фізичну масу. Для цього використовується калібрувальний коефіцієнт, визначений під час налаштування вузла. У програмній логіці враховано масу порожнього контейнера, тобто тару, яка віднімається від загального значення. У результаті отримується маса саме компонентів, що знаходяться у комірці. Такий підхід є зручним для виробничих умов, оскільки дозволяє використовувати однакову логіку для різних контейнерів, змінюючи лише параметри калібрування та масу одиниці конкретного компонента.

Після визначення маси компонентів виконується розрахунок орієнтовної кількості деталей у контейнері. Для цього маса компонентів ділиться на масу однієї деталі або на масу умовної пакувальної одиниці. Наприклад, для жиклерів або гвинтів такий підхід дозволяє достатньо точно оцінити кількість елементів, оскільки їхня маса є відносно стабільною. Для деталей із більшою варіативністю маси результат може використовуватися не як точне поштучне значення, а як оцінка рівня запасу.

Саме тому в програмній логіці основну увагу приділено не абсолютній точності до однієї одиниці, а надійному визначенню стану комірки відносно порогових значень.

Основні параметри, які використовуються у програмній логіці вузла складської комірки, подано в таблиці 3.1.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Основні параметри програмної логіки вузла складської комірки

Параметр	Призначення
Ідентифікатор комірки	Визначає конкретний вузол у системі моніторингу
Калібрувальний коефіцієнт	Використовується для перетворення сигналу НХ711 у значення маси
Маса порожнього контейнера	Дозволяє відокремити масу тари від маси компонентів
Маса одного компонента	Використовується для орієнтовного розрахунку кількості деталей
Порогове значення запасу	Визначає мінімально допустиму кількість компонентів у комірці
Інтервал вимірювання	Задає періодичність зчитування даних із сенсорів
Кількість вимірювань для усереднення	Зменшує вплив випадкових коливань сигналу
Стан контейнера	Показує, чи встановлена тара на вимірювальній платформі

Після розрахунку залишку компонентів система переходить до логічної оцінки стану складської комірки. Для цього отримане значення порівнюється з пороговими рівнями, які задано для конкретного типу компонентів. Нормальний стан означає, що кількість компонентів достатня для продовження виробничого процесу. Попереджувальний стан вказує на наближення до мінімального запасу. Критичний стан означає, що необхідно сформулювати заявку на поповнення, оскільки подальше використання компонентів без відновлення запасу може призвести до зупинки виробничої операції.

Для запобігання хибним спрацюванням реалізовано логіку підтвердження критичного стану. Це означає, що заявка на поповнення не формується після одного випадкового вимірювання, яке опинилося нижче порога.

Після визначення стану комірки формується телеметричне повідомлення. У ньому містяться ідентифікатор вузла, поточна маса компонентів, орієнтовна кількість деталей, стан контейнера, статус запасу та службова інформація. Таке повідомлення передається до серверної частини системи через мережевий інтерфейс. Якщо встановлено критичний стан, додатково формується подія поповнення, яка надалі обробляється сервером як основа для створення заявки.

Формат інформації, яку формує мікроконтролерний вузол перед передаванням до серверної частини, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Формат телеметричних даних мікроконтролерного вузла

Поле повідомлення	Зміст поля
cell_id	Унікальний ідентифікатор складської комірки
weight	Поточна маса компонентів у контейнері
quantity	Орієнтовна кількість компонентів
container_state	Стан контейнера: встановлений або відсутній
stock_state	Стан запасу: норма, попередження або критично
request_flag	Ознака необхідності формування заявки
timestamp	Час формування повідомлення
error_code	Код помилки або службового стану вузла

Програмну логіку вузла побудовано таким чином, щоб у разі тимчасової втрати зв'язку з сервером система не втрачала важливі події. Якщо передавання даних неможливе, мікроконтролер зберігає останній актуальний стан або критичну подію у внутрішньому буфері. Після відновлення з'єднання інформація повторно передається на сервер. Це підвищує надійність системи та дозволяє зберегти цілісність процесу моніторингу навіть за умов нестабільної мережі.

У програмній реалізації також передбачено службову індикацію станів вузла. За допомогою світлодіодів або повідомлень у серійний порт може відображатися стан підключення до мережі, готовність датчиків, наявність контейнера та факт переходу в критичний режим. Така індикація спрощує налагодження вузла та дозволяє швидко визначати основні проблеми під час тестування.

У підсумку програмну логіку мікроконтролерного вузла складської комірки реалізовано як послідовний цикл збору, перевірки, обробки та передавання даних. Запропонована логіка забезпечує безперервний контроль стану компонентів, стійке визначення порогових рівнів і формування подій поповнення без постійної участі оператора. Це дозволяє розглядати мікроконтролерний вузол як самостійний кіберфізичний елемент, який поєднує фізичне вимірювання, локальну обробку та інформаційну взаємодію із серверною частиною системи.

3.2 Реалізація серверної частини та обробки телеметричних даних

Серверну частину системи моніторингу складських комірок реалізовано як центральний програмний рівень, який приймає телеметричні дані від мікроконтролерних вузлів, виконує їх первинну перевірку, зберігає результати вимірювань і формує події, пов'язані з необхідністю поповнення компонентів. Якщо мікроконтролерний вузол відповідає за фізичне вимірювання стану

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конкретної комірки, то серверна частина забезпечує узагальнення інформації від усіх вузлів і перетворює окремі вимірювання у зручну для контролю картину стану виробничих запасів.

У межах реалізованої архітектури серверна частина виконує роль проміжного рівня між складськими комірками та користувацьким інтерфейсом. Вона не взаємодіє безпосередньо з тензодатчиком або модулем HX711, а працює вже з підготовленими телеметричними повідомленнями, які надходять від ESP32 через мережевий канал. Такий розподіл функцій дозволяє розвантажити сервер від низькорівневої обробки сигналів і водночас залишити за ним задачі, пов'язані з накопиченням даних, аналізом станів, формуванням заявок і підготовкою інформації для відображення оператору.

Схему взаємодії мікроконтролерного вузла із серверною частиною системи зображено на рисунку 3.2.

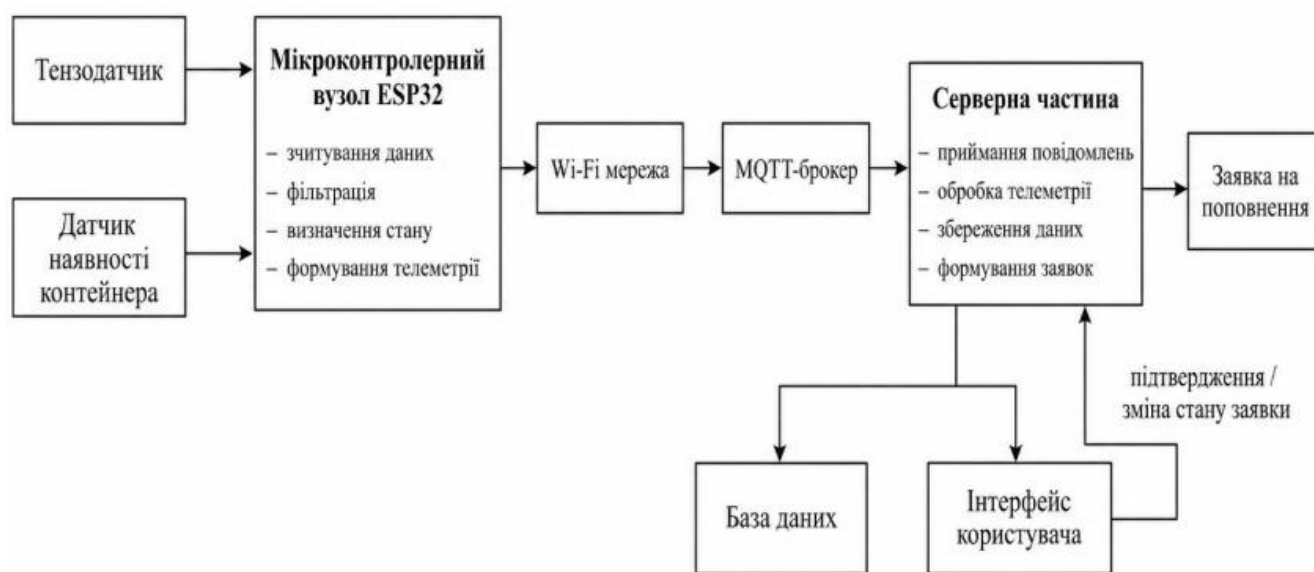


Рисунок 3.2 – Схема взаємодії мікроконтролерного вузла із серверною частиною системи

Передавання даних між вузлом складської комірки та сервером організовано за допомогою протоколу MQTT. Такий підхід обрано через те, що MQTT добре підходить для IoT-систем із великою кількістю пристроїв, які

передають невеликі повідомлення з певною періодичністю або в момент виникнення події.

У цій системі мікроконтролерний вузол виконує роль видавця повідомлень, а серверна частина - підписника, який приймає повідомлення з відповідних тем. MQTT-брокер виступає проміжним елементом, що приймає дані від вузлів і передає їх програмному модулю обробки.

Для кожної складської комірки передбачено власний ідентифікатор, який використовується у структурі теми MQTT та в базі даних. Завдяки цьому сервер може точно визначити, від якого вузла надійшло повідомлення, до якої комірки воно належить і для якого компонента потрібно оновити інформацію.

Телеметричне повідомлення, яке надходить від мікроконтролера, має містити достатній набір полів для повного опису стану комірки. До таких полів належать ідентифікатор комірки, поточна маса компонентів, орієнтовна кількість деталей, стан контейнера, стан запасу, ознака потреби у поповненні та службова інформація.

У серверній частині повідомлення приймається, розбирається на окремі поля та проходить перевірку коректності. Якщо дані мають неправильний формат, відсутні обов'язкові поля або значення виходять за допустимі межі, повідомлення не використовується для формування заявки, а фіксується як службова або помилкова подія. Після приймання даних серверна частина виконує їх логічну обробку. На першому етапі перевіряється наявність комірки у довіднику системи. Якщо ідентифікатор вузла вже зареєстровано, дані прив'язуються до відповідної комірки та компонента.

Структуру телеметричного повідомлення, яке обробляється серверною частиною, наведено в таблиці 3.3.

Якщо повідомлення надійшло від невідомого вузла, воно може бути відхилене або записане в окремий журнал для подальшого налаштування. Це дозволяє уникнути появи несанкціонованих або помилково підключених пристроїв у загальній системі моніторингу.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Структура телеметричного повідомлення серверної частини

Поле повідомлення	Приклад значення	Призначення
cell_id	cell_01	Ідентифікує складську комірку в системі
component_name	жиклер	Визначає тип компонента, що зберігається у комірці
weight	124.5	Передає поточну масу компонентів у грамах
quantity	83	Містить орієнтовну кількість компонентів
container_state	installed	Показує, чи встановлено контейнер у комірці
stock_state	warning	Визначає стан запасу: норма, попередження або критично
request_flag	true	Вказує, чи потрібно формувати заявку на поповнення
timestamp	2026-05-14 12:30:15	Фіксує час формування повідомлення
error_code	0	Передає службовий код помилки або нормального стану

На другому етапі аналізується стан контейнера. Якщо вузол передав повідомлення про відсутність тари, сервер не створює заявку на поповнення лише на основі нульової або малої маси. Такий підхід має важливе практичне значення, оскільки під час виробничого процесу контейнер може бути знятий оператором для поповнення, очищення або заміни. У такому випадку мала маса не означає дефіцит компонентів, а є службовою ситуацією. Серверна частина

фіксує цей стан окремо, що дозволяє не змішувати реальне зниження запасу з технологічним обслуговуванням комірки.

На третьому етапі виконується перевірка стану запасу. Якщо мікроконтролерний вузол передає статус «норма», сервер оновлює поточні дані та зберігає вимірювання у базі. Якщо передано статус «попередження», система фіксує наближення до мінімального запасу, але заявка може ще не створюватися автоматично. Такий стан використовується для раннього інформування та відображення в інтерфейсі. Якщо ж вузол передає статус «критично» або ознаку `request_flag = true`, сервер запускає логіку формування заявки на поповнення.

Формування заявки реалізовано не як просте дублювання кожного критичного повідомлення, а як контрольована подія з перевіркою поточного стану. Перед створенням нової заявки сервер перевіряє, чи не існує вже активної заявки для цієї самої комірки та цього самого компонента. Якщо активна заявка вже створена, система лише оновлює інформацію про поточний стан, але не формує дубль.

Це дозволяє уникнути перевантаження журналу заявок і запобігає ситуації, коли одна й та сама критична комірка створює багато однакових повідомлень протягом короткого часу. Базу даних серверної частини реалізовано як сховище для поточних і історичних даних. У ній передбачено збереження довідника комірок, переліку компонентів, телеметричних вимірювань, станів запасу та заявок на поповнення. Така структура дозволяє не лише відображати поточний стан системи, а й аналізувати зміну запасів у часі. Наприклад, на основі накопичених вимірювань можна визначити, які компоненти витрачаються швидше, у які періоди виникають пікові навантаження та які порогові значення потребують уточнення.

Основні стани заявки на поповнення наведено в таблиці 3.4.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Основні стани заявки на поповнення компонентів

Стан заявки	Зміст стану
Створена	Система зафіксувала критичний рівень запасу та сформувала заявку
Очікує підтвердження	Заявка очікує перегляду або підтвердження відповідальною особою
У роботі	Поповнення комірки вже виконується або передане відповідальному працівнику
Закрита	Запас відновлено, а заявка завершена
Скасована	Заявка визнана неактуальною або помилковою

У межах серверної логіки особливо важливим є розмежування поточних даних і журналу подій. Поточні дані відображають актуальний стан кожної комірки на момент останнього повідомлення. Журнал подій зберігає історію зміни станів, зокрема переходи з «норми» у «попередження», з «попередження» у «критично», створення заявки, підтвердження поповнення та повернення комірки до нормального стану. Завдяки такому розділенню система зберігає не лише останнє значення, а повну послідовність подій, що виникають у процесі експлуатації.

Обробку телеметричних даних реалізовано за подієвим принципом. Це означає, що кожне нове повідомлення від вузла складської комірки запускає певний набір операцій: приймання, перевірку, збереження, оновлення стану та, за потреби, створення заявки. Такий підхід добре узгоджується з природою IoT-систем, де дані надходять нерівномірно та залежать від активності фізичних об'єктів. У випадку складських комірок це особливо важливо, оскільки зміни запасів можуть відбуватися не постійно, а у моменти відбору компонентів або поповнення тари.

Для підвищення надійності серверної частини передбачено обробку помилкових або неповних повідомлень. Якщо пакет не містить обов'язкових

полів, має некоректний ідентифікатор або передає значення, які не можуть відповідати фізичному стану комірки, таке повідомлення не впливає на поточний стан запасу. Воно може зберігатися у журналі помилок із відповідним кодом. Це дозволяє виявляти проблеми у роботі вузлів, неправильне калібрування або збої передавання даних.

Окремо передбачено контроль часу останнього оновлення. Якщо від певної комірки протягом заданого інтервалу не надходять дані, сервер може перевести її у службовий стан «немає зв'язку». Такий стан не означає дефіцит компонентів, але вказує на можливу проблему з вузлом, живленням, мережею або MQTT-з'єднанням. Це дозволяє відрізнити виробничі події від технічних несправностей і підвищує зручність експлуатації системи.

У серверній частині також передбачено підготовку даних для інтерфейсу користувача. Після обробки телеметрії формується актуальна інформація про кожну комірку: назва компонента, поточна кількість, стан запасу, час останнього оновлення та наявність активної заявки. Ці дані можуть передаватися до вебінтерфейсу або іншої системи відображення, де оператор бачить загальну картину стану складських запасів. У разі критичного рівня відповідна комірка може виділятися окремим статусом, що дозволяє швидко звернути увагу на проблемну позицію.

3.3 Реалізація інтерфейсу контролю стану складських комірок

Інтерфейс контролю стану складських комірок реалізовано як прикладний рівень системи, через який користувач отримує узагальнену та зрозумілу інформацію про наявність компонентів у виробничих комірках. Якщо мікроконтролерний вузол відповідає за вимірювання фізичного стану контейнера, а серверна частина - за приймання й обробку телеметричних даних, то інтерфейс виконує роль візуального середовища контролю, у якому результати роботи системи подаються у зручному для сприйняття вигляді. Саме

цей рівень дозволяє швидко оцінити, які комірки працюють у штатному режимі, де запас наближається до мінімального рівня, а де вже виникла потреба у поповненні.

Під час реалізації інтерфейсу основну увагу приділено простоті сприйняття інформації, оскільки у виробничих умовах користувач не повинен витрачати багато часу на пошук проблемної позиції. Інтерфейс має не лише відображати числові значення, а й одразу показувати загальний стан кожної складської комірки. Для цього кожна комірка представлена як окремий інформаційний блок, у якому відображено її ідентифікатор, назву компонента, поточну кількість або масу, стан контейнера, рівень запасу та наявність активної заявки на поповнення. Така структура дозволяє швидко зіставити фізичну комірку на виробництві з її цифровим представленням у системі.

Загальний вигляд інтерфейсу контролю стану складських комірок зображено на рисунку 3.3.

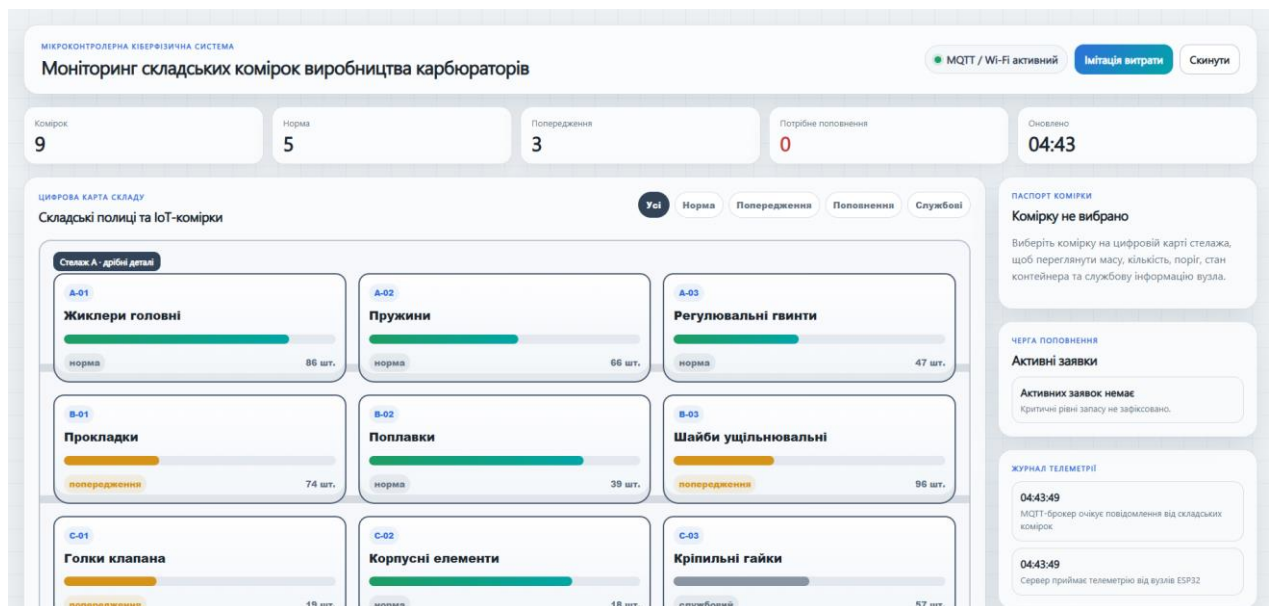


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд інтерфейсу контролю стану складських комірок

У межах інтерфейсу передбачено кілька основних станів складської комірки. Нормальний стан означає, що запас компонентів є достатнім і не потребує втручання. Попереджувальний стан вказує на зниження кількості

деталей до рівня, за якого варто очікувати подальшого наближення до критичного порога. Критичний стан означає, що кількість компонентів у комірці стала нижчою за встановлене порогове значення і система сформувала або має сформувати заявку на поповнення. Окремо відображено службові стани, пов'язані з відсутністю контейнера, втратою зв'язку з вузлом або некоректними даними. Таке розділення дозволяє не змішувати виробничі події з технічними несправностями, що є важливим для правильної інтерпретації ситуації.

Інтерфейс реалізовано з урахуванням того, що система може обслуговувати не одну, а багато складських комірок. Через це основний екран побудовано як панель моніторингу, де всі комірки згруповано за виробничими ділянками або типами компонентів. Для виробництва карбюраторів це особливо важливо, оскільки в системі можуть одночасно контролюватися комірки з жиклерами, пружинами, гвинтами, шайбами, прокладками, поплавками та іншими деталями. Завдяки такій організації оператор може швидко визначити, до якої групи належить проблемна позиція і на якій ділянці потрібно виконати поповнення.

У центральній частині інтерфейсу відображено поточний стан складських комірок у вигляді карток або рядків. Кожна картка містить коротку, але достатню інформацію про конкретний вузол. У ній показано назву компонента, залишок у відсотках або орієнтовну кількість деталей, статус запасу, час останнього оновлення та стан зв'язку з мікроконтролерним вузлом. Це дозволяє контролювати не лише виробничий залишок, а й технічну працездатність самої системи моніторингу. Якщо від комірки тривалий час не надходять дані, інтерфейс відображає це як окремий службовий стан, що дає змогу вчасно виявити проблему зі зв'язком, живленням або роботою мікроконтролера.

Особливу увагу приділено відображенню заявок на поповнення. У разі переходу комірки у критичний стан серверна частина формує відповідну подію, а інтерфейс відображає її у вигляді активної заявки. У такій заявці зазначено, яка саме комірка потребує поповнення, який компонент зберігається у ній, який

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поточний залишок зафіксовано системою та коли сформовано подію. Це дозволяє відповідальній особі швидко зорієнтуватися і виконати поповнення без додаткового ручного пошуку інформації.

Приклад відображення активної заявки на поповнення компонентів подано на рисунку 3.4.

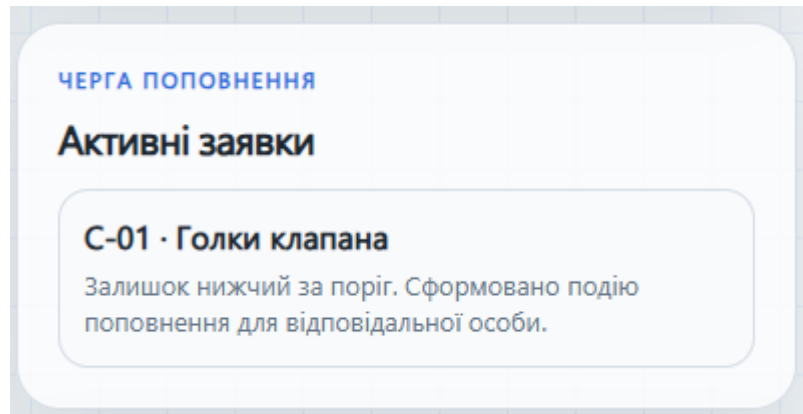


Рисунок 3.4 – Відображення активної заявки на поповнення компонентів у системі

Логіка інтерфейсу побудована так, щоб користувач бачив не лише поточний стан, а й зміну ситуації у часі. Для цього передбачено журнал подій, у якому фіксуються основні зміни: надходження телеметрії, перехід комірки у попереджувальний або критичний стан, створення заявки, підтвердження поповнення, повернення до нормального рівня та службові повідомлення про відсутність контейнера або втрату зв'язку. Такий журнал дозволяє простежити послідовність роботи системи та зрозуміти, у який момент виникла потреба у поповненні. Для виробничого середовища це має практичне значення, оскільки дає можливість аналізувати не лише факт дефіциту, а й причини та частоту його виникнення.

У межах реалізації також передбачено оновлення даних у режимі, наближеному до реального часу. Коли сервер отримує нове MQTT-повідомлення від вузла складської комірки, відповідна інформація обробляється і стає доступною в інтерфейсі. Це дозволяє уникнути ситуації, коли користувач бачить

застарілі дані, які вже не відповідають фактичному стану комірки. Для цього інтерфейс періодично звертається до серверної частини або отримує оновлення після зміни стану, залежно від обраного способу реалізації. У результаті відображення запасів залишається актуальним і може використовуватися як оперативний інструмент контролю.

Окремо враховано потребу в простому візуальному розрізненні станів. У практичній реалізації стан «норма» може позначатися нейтральним або спокійним маркером, попереджувальний стан - виділенням, яке привертає увагу, а критичний стан - більш помітним індикатором. При цьому в текстовому описі стан обов'язково дублюється словами, щоб система залишалася зрозумілою навіть без орієнтації лише на колір. Такий підхід підвищує зручність використання інтерфейсу та зменшує ризик неправильного трактування інформації.

Інтерфейс контролю стану складських комірок також виконує функцію зв'язку між автоматизованою системою та виробничим персоналом. Хоча система самостійно виявляє критичний рівень запасу та формує подію поповнення, остаточне виконання логістичної дії все одно пов'язане з людиною або внутрішнім процесом підприємства. Тому в інтерфейсі передбачено можливість перегляду активних заявок і зміни їхнього стану. Наприклад, заявка може перейти зі стану «створена» у стан «в роботі», а після фактичного поповнення комірки - у стан «закрита». Це дозволяє пов'язати автоматичне виявлення дефіциту з реальним виконанням операції поповнення.

Важливою частиною інтерфейсу є відображення технічного стану вузлів. Для кожної комірки може показуватися час останнього повідомлення, рівень зв'язку або службовий статус, отриманий від мікроконтролера. Це дає змогу відрізнити ситуацію, коли запас дійсно знизився, від ситуації, коли вузол тимчасово не передає дані. У виробничих умовах таке розмежування є суттєвим, оскільки помилка зв'язку не повинна автоматично сприйматися як потреба у

поповненні, а відсутність контейнера не повинна трактуватися як повне вичерпання запасу.

У процесі реалізації інтерфейсу враховано можливість подальшого розширення системи. Додавання нової складської комірки не потребує зміни загальної логіки відображення, оскільки кожен вузол ідентифікується через унікальний номер або код. Після реєстрації нового вузла в серверній частині він може автоматично з'являтися в інтерфейсі разом із відповідною назвою компонента та пороговими значеннями. Така побудова забезпечує масштабованість системи та дозволяє поступово розширювати її на нові групи деталей або виробничі ділянки.

У межах розробленої системи інтерфейс не перевантажено зайвими елементами, оскільки його основне призначення полягає у швидкому контролі стану складських комірок і роботі із заявками на поповнення. Надмірна кількість другорядної інформації могла б ускладнити використання системи в реальних умовах. Тому основний акцент зроблено на поточному стані запасу, наявності критичних подій, активних заявках і технічній працездатності вузлів. Такий підхід дозволяє зробити інтерфейс зрозумілим і придатним для використання у виробничому середовищі.

3.4 Перевірка працездатності системи та аналіз отриманих результатів

Перевірку працездатності системи моніторингу складських комірок виконано з метою підтвердження коректної взаємодії всіх її основних складових: мікроконтролерного вузла, вимірювальної частини, каналу передавання даних, серверної частини та інтерфейсу контролю. Основну увагу зосереджено на тому, чи здатна система стабільно визначати зміну кількості компонентів у комірці, правильно розпізнавати досягнення порогового рівня та своєчасно формувати заявку на поповнення. Для цієї роботи важливим є не лише сам факт отримання

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювань, а повний цикл функціонування системи: від фізичної зміни стану контейнера до появи відповідної події у цифровому середовищі.

Перевірку організовано за сценаріями, які імітують типові умови експлуатації складської комірки у виробництві карбюраторів. У таких умовах комірка може містити дрібні компоненти, зокрема жиклери, гвинти, пружини, шайби або прокладки, кількість яких поступово зменшується під час складання виробів. Через це в межах перевірки змодельовано поступове зменшення маси контейнера, досягнення попереджувального рівня, перехід у критичний стан, формування заявки на поповнення, тимчасове зняття контейнера та відновлення нормального рівня після поповнення. Такий підхід дозволив оцінити роботу системи не в одному статичному режимі, а в динаміці, наближеній до реального виробничого процесу.

На початковому етапі перевірено коректність запуску мікроконтролерного вузла. Після подавання живлення ESP32 виконує ініціалізацію програмних модулів, налаштовує взаємодію з HX711, перевіряє стан датчика наявності контейнера та встановлює з'єднання з бездротовою мережею. Після цього вузол підключається до MQTT-брокера і переходить до основного циклу вимірювання. У ході перевірки підтверджено, що після запуску система стабільно переходить у робочий режим, а службові стани вузла коректно передаються до серверної частини. Це має практичне значення, оскільки вузол складської комірки повинен працювати автономно і не вимагати постійного ручного налаштування після кожного перезапуску.

Окремо перевірено роботу вимірювального каналу, який складається з тензодатчика та модуля HX711. Для цього виконано кілька послідовних вимірювань при різних значеннях навантаження на платформу. Спочатку зафіксовано значення порожнього контейнера, яке використано як тара. Далі у контейнер поступово додано умовні компоненти, після чого виконано зворотний процес їх поетапного вилучення. Отримані результати показали, що система фіксує зміну маси та передає її у вигляді цифрових значень, придатних для

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальшого розрахунку кількості компонентів. Для зменшення впливу випадкових коливань застосовано усереднення кількох вимірювань, що забезпечило більш плавну зміну показів і зменшило ймовірність одиничних стрибків.

Аналіз зміни вимірюваної маси показав, що система достатньо стабільно відображає поступове зменшення кількості компонентів у комірці. У штатному режимі покази не змінюються різко, а при вилученні частини деталей зменшення маси фіксується у наступних циклах вимірювання. Така поведінка підтверджує доцільність використання вагового методу для задачі моніторингу дрібних компонентів, оскільки він дозволяє відстежувати не лише факт спорожнення контейнера, а й сам процес наближення до критичного рівня. Для виробничого середовища це особливо важливо, бо заявка на поповнення має формуватися до моменту повного вичерпання запасу.

Наступним етапом перевірено роботу логіки визначення станів складської комірки. У програмі передбачено кілька станів: нормальний рівень, попереджувальний рівень, критичний рівень, відсутність контейнера та відсутність зв'язку. Під час перевірки кількість компонентів поступово зменшувалася до заданого порогового значення. До моменту досягнення попереджувального рівня система відображала стан «норма». Після зниження запасу нижче першого порога інтерфейс переходив до попереджувального стану, а після досягнення критичного рівня формувалася подія поповнення. Така послідовність підтвердила правильність роботи алгоритму порівняння поточних значень із заданими межами.

Особливу увагу приділено перевірці захисту від хибних спрацювань. У реальних умовах виробництва контейнер може тимчасово зніматися для поповнення або очищення, а також зміщуватися під час роботи оператора. Якщо система сприйматиме кожне різке зменшення маси як дефіцит, це призведе до формування помилкових заявок. Для перевірки цього сценарію контейнер навмисно знімався з платформи, після чого система фіксувала не критичний

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень запасу, а службовий стан «контейнер відсутній». Після повернення контейнера на платформу вимірювання поновлювалися, а стан запасу визначався вже за актуальною масою. Це підтвердило правильність використання допоміжного датчика наявності контейнера в загальній логіці роботи системи.

Під час аналізу цього сценарію встановлено, що розділення станів «контейнер відсутній» і «критичний запас» підвищує практичну надійність системи. У виробництві карбюраторів це має важливе значення, оскільки комірки з дрібними деталями можуть часто обслуговуватися, поповнюватися або переноситися.

Окремо перевірено реакцію серверної частини на критичний рівень запасу. Коли мікроконтролер передавав ознаку необхідності поповнення, сервер формував заявку та відображав її в інтерфейсі. При повторному надходженні критичних повідомлень від тієї самої комірки нова дублююча заявка не створювалася, а актуальний стан уже наявної заявки оновлювався. Це дозволяє уникнути перевантаження системи великою кількістю однакових подій і забезпечує більш зручну роботу з журналом заявок.

Під час перевірки інтерфейсу встановлено, що користувач отримує достатньо інформації для швидкого розуміння стану системи. Для кожної комірки відображається назва або ідентифікатор компонента, поточний рівень запасу, стан контейнера, час останнього оновлення та статус заявки. Це дозволяє не тільки бачити факт критичного рівня, а й розуміти, чи пов'язаний він із реальним зменшенням запасу, відсутністю контейнера або проблемою зв'язку. Така подача інформації зменшує ризик помилкової інтерпретації даних і робить інтерфейс придатним для практичного використання у виробничому середовищі.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто реалізацію та перевірку роботи системи моніторингу складських комірок,

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначеної для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів. Основну увагу приділено практичному втіленню технічних рішень, сформованих у попередньому розділі, а саме програмній логіці мікроконтролерного вузла, серверній обробці телеметричних даних, побудові інтерфейсу контролю та перевірці працездатності системи в типових умовах використання. Це дозволило перейти від загального проєктного опису до функціонально завершеної моделі, у якій фізичний стан складської комірки перетворюється на цифрові дані, обробляється програмними засобами та використовується для формування заявки на поповнення.

У межах реалізації програмної логіки мікроконтролерного вузла складської комірки сформовано послідовний алгоритм роботи ESP32. Передбачено ініціалізацію мікроконтролера, налаштування взаємодії з модулем HX711, зчитування значень із тензодатчика, перевірку наявності контейнера, фільтрацію вимірювань, розрахунок маси компонентів і визначення поточного стану запасу. Важливим результатом стало те, що частину логіки прийняття рішень перенесено безпосередньо на рівень вузла комірки. Завдяки цьому система не лише передає необроблені значення на сервер, а попередньо визначає стан «норма», «попередження», «критично» або службовий стан, пов'язаний із відсутністю контейнера чи некоректними вимірюваннями.

Реалізація серверної частини забезпечила централізоване приймання, перевірку, збереження та інтерпретацію телеметричних даних. Серверний рівень приймає повідомлення від мікроконтролерних вузлів через MQTT, розпізнає ідентифікатор комірки, аналізує поточну масу, орієнтовну кількість компонентів, стан контейнера та ознаку потреби у поповненні. Особливу увагу приділено запобіганню дублюванню заявок: якщо для певної комірки вже створено активну заявку, система не формує повторні однакові повідомлення, а лише оновлює актуальний стан. Це підвищує зручність роботи з подіями та робить серверну частину придатною для використання в умовах, де багато комірок можуть одночасно передавати телеметрію.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто задачу проектування мікроконтролерної системи моніторингу складських комірок на основі IoT для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів. Актуальність теми пов'язана з потребою у своєчасному контролі запасів дрібних і середніх деталей, які безпосередньо впливають на безперервність виробничого процесу. У виробництві карбюраторів використовуються різні за масою, формою та призначенням компоненти, зокрема жиклери, пружини, гвинти, шайби, прокладки, поплавки та корпусні елементи. Відсутність навіть однієї такої позиції здатна порушити ритм складання, тому автоматизований контроль стану складських комірок має практичне значення.

У першому розділі розкрито предметну область і показано, що традиційні способи обліку запасів, які базуються на ручних перевірках, періодичних інвентаризаціях або дії оператора, не завжди забезпечують достатню оперативність. Визначено, що основною проблемою таких підходів є часовий розрив між фактичним станом складської комірки та його відображенням у цифровій системі.

У другому розділі сформовано архітектуру системи моніторингу складських комірок. Систему подано як розподілену кіберфізичну структуру, у якій кожна складська комірка виступає окремим IoT-вузлом. Для апаратної реалізації обрано мікроконтролер ESP32, оскільки він має достатню обчислювальну спроможність, підтримує Wi-Fi та дозволяє реалізувати автономний вузол без додаткових мережевих модулів. Для визначення кількості компонентів у комірці обґрунтовано використання вагового методу на основі тензодатчика та модуля HX711. Такий підхід дає змогу отримувати безперервне значення маси контейнера з компонентами та на його основі оцінювати поточний залишок. Додатково передбачено датчик наявності контейнера, який дозволяє

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відрізнити реальне зниження запасу від службової ситуації, коли тара тимчасово знята для поповнення або обслуговування.

У третьому розділі описано практичну реалізацію програмної частини системи, серверної обробки, інтерфейсу контролю та перевірку працездатності. Програмну логіку мікроконтролерного вузла реалізовано як циклічний процес, у якому послідовно виконуються ініціалізація ESP32, підключення до мережі, перевірка контейнера, зчитування вимірювань, обчислення залишку, визначення стану та передавання даних на сервер. Серверну частину реалізовано як центральний рівень приймання, зберігання та обробки телеметрії. Інтерфейс контролю розроблено у вигляді панелі моніторингу складських комірок, де відображаються поточні залишки, стани вузлів, активні заявки та службові повідомлення.

Практична цінність розробленого рішення полягає в тому, що система може використовуватися як модель для подальшого впровадження автоматизованого контролю складських комірок на виробничих ділянках. Вона дозволяє зменшити залежність від ручних перевірок, підвищити прозорість матеріальних потоків, швидше виявляти дефіцит компонентів і своєчасно формувати заявки на поповнення. Найбільш доцільним таке рішення є для комірок із дрібними деталями стабільної маси, які активно використовуються у процесі складання карбюраторів.

У підсумку мету бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнуто. Спроектовано та реалізовано модель мікроконтролерної кіберфізичної IoT-системи моніторингу складських комірок, яка забезпечує вимірювання стану запасів, локальну обробку даних, передавання телеметрії, серверну обробку та формування заявок на поповнення. Отримане рішення створює основу для подальшого масштабування системи, удосконалення алгоритмів аналізу запасів і можливої інтеграції з виробничими інформаційними системами підприємства.

					КвРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Jarašūnienė A. et al. Research on Impact of IoT on Warehouse Management. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 4. 2213. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/2213> (дата звернення: 21.05.2026).
2. Tubis A. A. et al. Intelligent Warehouse in Industry 4.0: Systematic Literature Review. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 8. 4105. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/8/4105> (дата звернення: 21.05.2026).
3. Mashayekhy Y. et al. Impact of Internet of Things (IoT) on Inventory Management: A Literature Survey. *Logistics*. 2022. Vol. 6, No. 2. 33. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/6/2/33> (дата звернення: 21.05.2026).
4. Tikwayo L. N. et al. Applications of Industry 4.0 Technologies in Warehouse Management: A Systematic Literature Review. *Logistics*. 2023. Vol. 7, No. 2. 24. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/2/24> (дата звернення: 21.05.2026).
5. Min H. Smart Warehousing as a Wave of the Future. *Logistics*. 2023. Vol. 7, No. 2. 30. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/7/2/30> (дата звернення: 21.05.2026).
6. Soori M., Arezoo B., Dastres R. Internet of Things for Smart Factories in Industry 4.0, a Review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*. 2023. Vol. 3. P. 192–204. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345223000275> (дата звернення: 21.05.2026).
7. Taj S. et al. IoT-Based Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *Digital Economy and Sustainable Development*. 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542660523003050> (дата звернення: 21.05.2026).
8. Dafflon B., Moalla N., Ouzrout Y. The Challenges, Approaches, and Used Techniques of CPS for Manufacturing in Industry 4.0: A Literature Review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. Vol. 113. P.

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2395–2412. URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00170-020-06572-4.pdf> (дата звернення: 21.05.2026).

9. Oks S. J. et al. Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*. 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10796-022-10252-x> (дата звернення: 21.05.2026).

10. Aron C. et al. Cloud Material Handling Systems: A Cyber-Physical System to Enable Interoperability in Logistics Networks. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2024. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-023-02262-6> (дата звернення: 21.05.2026).

11. Mendoza A. P. et al. Applications and Methodologies of Internet of Things in Warehouse Inventory Management: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050925001930> (дата звернення: 21.05.2026).

12. Sahara C. R. et al. Real-Time Data Integration of an Internet-of-Things-Based Smart Warehouse. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*. 2022. Vol. 18, No. 5. P. 622–644. URL: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPC-08-2020-0113/full/html> (дата звернення: 21.05.2026).

13. Jin S. et al. Integrating IoT and Blockchain for Intelligent Inventory Management in Supply Chains. *Alexandria Engineering Journal*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724001111> (дата звернення: 21.05.2026).

14. Korkusuz-Polat T. et al. A Blockchain-Based Quality 4.0 Application for Warehouse Management Processes. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 23. 10950. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/23/10950> (дата звернення: 21.05.2026).

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Pracucci A. et al. Designing Digital Twin with IoT and AI in Warehouse to Support Manufacturing Companies. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 15. 6835. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/15/6835> (дата звернення: 21.05.2026).

16. Sun X. et al. The Application of Industry 4.0 Technologies in Sustainable Logistics: A Systematic Literature Review. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17693-y> (дата звернення: 21.05.2026).

17. Carpitella S. et al. Trends in Sustainable Inventory Management Practices in the Industry 4.0 Era. *Processes*. 2025. Vol. 13, No. 4. 1131. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/13/4/1131> (дата звернення: 21.05.2026).

18. Strøm E. M. et al. Conceptualizing Warehouse 4.0 Technologies in the Third-Party Logistics Industry. *Logistics*. 2025. Vol. 9, No. 3. 125. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6290/9/3/125> (дата звернення: 21.05.2026).

19. Vaičiūtė K. et al. Improving the Information Systems of a Warehouse as a Factor of Business Process Efficiency. *Systems*. 2025. Vol. 13, No. 3. 186. URL: <https://www.mdpi.com/2079-8954/13/3/186> (дата звернення: 21.05.2026).

20. Ruquzzaman M. et al. A Systematic Review of Recent Advances in IoT-Based Warehouse Management Systems. *Results in Engineering*. 2026. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123026002380> (дата звернення: 21.05.2026).

21. Xie Z. et al. A Multi-Criteria Decision-Making Framework for Sustainable Supplier Selection Based on Industry 4.0. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 24. 16809. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/24/16809> (дата звернення: 21.05.2026).

22. Ding S. et al. Revealing the Hidden Potentials of Internet of Things in Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*. 2023. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623027166> (дата звернення: 21.05.2026).

23. Guha B. et al. Conceptualizing Data-Driven Closed Loop Production Systems for Industry 4.0. *Discover Artificial Intelligence*. 2023. URL:

<https://link.springer.com/article/10.1186/s44147-023-00222-8> (дата звернення: 21.05.2026).

24. Francuz Á. et al. Intelligent Control Approaches for Warehouse Performance Optimization in Industry 4.0. *Future Internet*. 2025. Vol. 17, No. 10. 468. URL: <https://www.mdpi.com/1999-5903/17/10/468> (дата звернення: 21.05.2026).

25. Pore E. et al. Drone-Enabled Practices in Modern Warehouse Management Systems. *Drones*. 2026. Vol. 10, No. 3. 189. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/10/3/189> (дата звернення: 21.05.2026).

26. Аулін В. В. та ін. Інноваційні рішення в складській логістиці. *Матеріали прикладної інженерної академії*. 2024. URL: https://mariea.kntu.kr.ua/pdf/10%2841%29_I/29.pdf (дата звернення: 21.05.2026).

27. Безсмертна О. В., Боковець В. В. Складська логістика України під час війни. *Інноваційна економіка*. 2024. URL: https://inns.vn.ua/web/uploads/pdf/Bokovets_Article.pdf (дата звернення: 21.05.2026).

28. Крюковська С. Проблеми та перспективи автоматизації складського господарства в транспортній логістиці. *Економіка та суспільство*. 2024. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4958> (дата звернення: 21.05.2026).

29. Білоконь Т. М., Сергійчук І. В. Автоматизація складської логістики з використанням системи Pick to Light. *Матеріали конференції Вінницького національного технічного університету*. 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2025/paper/download/22942/18934> (дата звернення: 21.05.2026).

30. Семеняк В. О. Інтеграція новітніх технологій в логістичні процеси підприємств. *Збірник матеріалів конференції КІІ імені Ігоря Сікорського*. 2025. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/329619> (дата звернення: 21.05.2026).

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

31. Ноздріна Л. Інтернет речей як складова Індустрії 4.0: проєктний підхід. *Соціально-економічні відносини в цифровому суспільстві*. 2020. URL: <https://ser.net.ua/index.php/SER/article/download/400/405/514> (дата звернення: 21.05.2026).

32. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Version 5.2. 2026. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 21.05.2026).

33. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide: ESP32. Version 6.0.1. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/stable/esp32/index.html> (дата звернення: 21.05.2026).

34. Espressif Systems. ESP32 Hardware Design Guidelines. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32/esp-hardware-design-guidelines-en-master-esp32.pdf> (дата звернення: 21.05.2026).

35. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. Version 5.7. 2026. URL: https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf (дата звернення: 21.05.2026).

36. Arduino. ESP32 / ESP8266: Arduino Cloud Guide. 2025. URL: <https://docs.arduino.cc/arduino-cloud/guides/esp32> (дата звернення: 21.05.2026).

37. Arduino. Nano ESP32 Documentation. 2026. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano-esp32> (дата звернення: 21.05.2026).

38. OASIS. MQTT Version 5.0: OASIS Standard. 2019. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата звернення: 21.05.2026).

39. MQTT.org. MQTT Specification. 2026. URL: <https://mqtt.org/mqtt-specification/> (дата звернення: 21.05.2026).

40. Eclipse Foundation. Eclipse Mosquitto Documentation. 2026. URL: <https://mosquitto.org/documentation/> (дата звернення: 21.05.2026).

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41. Eclipse Foundation. Sparkplug Version 3.0 Specification. 2023. URL: <https://sparkplug.eclipse.org/specification/version/3.0/> (дата звернення: 21.05.2026).
42. HiveMQ. MQTT Essentials: All the Core Concepts and Basics Explained. 2026. URL: <https://www.hivemq.com/mqtt/> (дата звернення: 21.05.2026).
43. Clark L. Adafruit HX711 24-bit ADC. *Adafruit Learning System*. 2024. Оновлено 2025. URL: <https://learn.adafruit.com/adafruit-hx711-24-bit-adc> (дата звернення: 21.05.2026).
44. DFRobot. KIT0176 HX711 Reference: API, Protocol and Pinout. 2026. URL: <https://wiki.dfrobot.com/kit0176/docs/21751> (дата звернення: 21.05.2026).
45. Arduino. HX711 Library Documentation. 2025. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/hx711/> (дата звернення: 21.05.2026).
46. FastAPI. FastAPI Documentation. 2026. URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата звернення: 21.05.2026).
47. Meta Open Source. React Documentation. 2026. URL: <https://react.dev/> (дата звернення: 21.05.2026).
48. SQLite Consortium. SQLite Documentation. 2026. URL: <https://sqlite.org/docs.html> (дата звернення: 21.05.2026).
49. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL 17 Documentation. 2024. URL: <https://www.postgresql.org/docs/17/index.html> (дата звернення: 21.05.2026).
50. Docker Inc. Docker Compose Documentation. 2026. URL: <https://docs.docker.com/compose/> (дата звернення: 21.05.2026).
51. Kanban-система від Würth. URL: https://www.wuerth-industrie.com/web/en/wuerthindustrie/cteile_management/kanban/kanban_steuerung/rfid__kanban/iterminal.php
52. Kanban-система від Bossard. URL: <https://www.facebook.com/bossardinc/>
53. ESP32-WROOM. URL: <https://prom.ua/ua/p2668360822-plata-esp32-wroom.html>

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

54. Модуль перетворення ваги HX711. URL: <https://arduino.ua/prod1815-hx711-dvyhkanalnii-modyl-datchikov-vesa-tenzodatchikov-bolshoi>

					КВРКІ 2301118.23.01.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ДОДАТОК Г

(обов'язковий)

Текст програмного забезпечення

```
const startCells = [
  { id: "A-01", name: "Жиклери головні",
weight: 430, max: 520, threshold: 130,
unit: 5, container: true, online: true,
shelf: "A" },
  { id: "A-02", name: "Пружини", weight:
132, max: 240, threshold: 62, unit: 2,
container: true, online: true, shelf: "A"
},
  { id: "A-03", name: "Регулювальні
гвинти", weight: 188, max: 410, threshold:
105, unit: 4, container: true, online:
true, shelf: "A" },
  { id: "B-01", name: "Прокладки", weight:
74, max: 210, threshold: 52, unit: 1,
container: true, online: true, shelf: "B"
},
  { id: "B-02", name: "Поплавки", weight:
512, max: 650, threshold: 180, unit: 13,
container: true, online: true, shelf: "B"
},
  { id: "B-03", name: "Шайби
ущільнювальні", weight: 96, max: 260,
threshold: 88, unit: 1, container: true,
online: true, shelf: "B" },
  { id: "C-01", name: "Голки клапана",
weight: 58, max: 170, threshold: 56, unit:
3, container: true, online: true, shelf:
"C" },
  { id: "C-02", name: "Корпусні елементи",
weight: 2180, max: 2900, threshold: 760,
unit: 120, container: true, online: true,
shelf: "C" },
  { id: "C-03", name: "Кріпильні гайки",
weight: 170, max: 340, threshold: 90, unit:
3, container: false, online: true, shelf:
"C" }
];

let cells = structuredClone(startCells);
let selectedId = null;
let filter = "all";
let timer = null;
let logs = [
  "Сервер приймає телеметрію від вузлів
ESP32",
  "MQTT-брокер очікує повідомлення від
складських комірок"
];

const rackGrid =
document.getElementById("rackGrid");
const template =
document.getElementById("binTemplate");

function stateOf(cell) {
  if (!cell.online || !cell.container)
return "service";
  if (cell.weight <= cell.threshold) return
"critical";
  if (cell.weight <= cell.threshold * 1.7)
return "warning";
  return "normal";
}

function stateText(state) {
  return {
    normal: "норма",
    warning: "попередження",
    critical: "поповнити",
    service: "службовий"
  }[state];
}
```

```

function draw() {
  rackGrid.innerHTML = "";

  cells
    .filter(cell => filter === "all" ||
stateOf(cell) === filter)
    .forEach(cell => {
      const state = stateOf(cell);
      const view =
template.content.cloneNode(true);
      const button =
view.querySelector(".bin");
      button.classList.add(state);
      button.dataset.id = cell.id;

      const percent = Math.max(0,
Math.min(100, Math.round((cell.weight /
cell.max) * 100)));

      view.querySelector(".bin-
code").textContent = cell.id;
      view.querySelector(".bin-
name").textContent = cell.name;
      view.querySelector(".bin-fill-
level").style.width = `${percent}%`;
      view.querySelector(".bin-
status").textContent = stateText(state);
      view.querySelector(".bin-
count").textContent = `${Math.max(0,
Math.round(cell.weight / cell.unit))}
шт.`;

      button.addEventListener("click", ()
=> {
        selectedId = cell.id;
        renderSelected(cell);
      });

      rackGrid.appendChild(view);
    });

  renderSummary();

  renderQueue();
  renderLog();

  if (selectedId) {
    const cell = cells.find(c => c.id ===
selectedId);
    if (cell) renderSelected(cell);
  }

  function renderSummary() {
    const states = cells.map(stateOf);
    document.getElementById("totalCells").t
extContent = cells.length;
    document.getElementById("normalCells").
textContent = states.filter(s => s ===
"normal").length;
    document.getElementById("warningCells")
.textContent = states.filter(s => s ===
"warning").length;
    document.getElementById("criticalCells"
).textContent = states.filter(s => s ===
"critical").length;
  }

  function renderSelected(cell) {
    const state = stateOf(cell);
    document.getElementById("selectedTitle"
).textContent = `${cell.id} .
${cell.name}`;
    document.getElementById("selectedDescri
ption").textContent =
      `Комірка належить до стелажа
${cell.shelf}. Поточний стан визначено на
основі маси контейнера, порогового
значення та службового сигналу наявності
тари.`;

    const specs = [
      ["Стан", stateText(state)],
      ["Поточна маса",
`${Math.round(cell.weight)} г`],

```

```

        ["Орієнтовна кількість",
`{\Math.max(0, Math.round(cell.weight /
cell.unit))} шт.`],
        ["Порогове значення",
`{\cell.threshold} г`],
        ["Контейнер", cell.container ?
"встановлено" : "відсутній"],
        ["Зв'язок", cell.online ? "активний" :
"немає даних"],
        ["MQTT-тема",
`warehouse/${cell.id}/telemetry` ]
    ];

    document.getElementById("selectedSpecs"
).innerHTML = specs
        .map(([a, b]) => `

```

</div>
 `).join("");
}

function renderLog() {
 const log =
document.getElementById("telemetryLog");
 log.innerHTML = logs.slice(-
7).reverse().map(item => `
<div class="log-item">
 {\new
Date().toLocaleTimeString("uk-UA", { hour:
"2-digit", minute: "2-digit", second: "2-
digit" })}
 <p>{\item}</p>
 </div>
 `).join("");
}

function simulate() {
 cells = cells.map(cell => {
 if (!cell.online || !cell.container)
return cell;
 const diff = Math.random() * (cell.max
* 0.045);
 return { ...cell, weight: Math.max(0,
cell.weight - diff) };
 });

 if (Math.random() < .12) {
 const i = Math.floor(Math.random() *
cells.length);
 cells[i].container =
!cells[i].container;
 logs.push(`{\cells[i].id}: змінено
стан контейнера`);
 } else {
 const changed =
cells[Math.floor(Math.random() *
cells.length)];
 logs.push(`{\changed.id}: отримано
нове MQTT-повідомлення`);
 }
}

```



74


```

```

    }

    draw();
}

document.querySelectorAll(".filter").forEach(btn => {
    btn.addEventListener("click", () => {
        document.querySelectorAll(".filter").forEach(b => {
            b.classList.remove("active");
            btn.classList.add("active");
            filter = btn.dataset.filter;
            draw();
        });
    });

document.getElementById("simulateBtn").addEventListener("click", () => {
    const btn = document.getElementById("simulateBtn");
    if (timer) {
        clearInterval(timer);
        timer = null;
        btn.textContent = "Імітація витрати";
    } else {
        timer = setInterval(simulate, 1800);
        btn.textContent = "Зупинити";
    }
}

```

```

});

document.getElementById("resetBtn").addEventListener("click", () => {
    cells = structuredClone(startCells);
    selectedId = null;
    logs = ["Дані стенда скинуто до початкового стану"];
    document.getElementById("selectedTitle").textContent = "Комірку не вибрано";
    document.getElementById("selectedDescription").textContent = "Виберіть комірку на цифровій карті стелажа, щоб переглянути масу, кількість, поріг, стан контейнера та службову інформацію вузла.";
    document.getElementById("selectedSpecs").innerHTML = "";
    draw();
});

setInterval(() => {
    document.getElementById("clock").textContent = new Date().toLocaleTimeString("uk-UA", { hour: "2-digit", minute: "2-digit" });
}, 1000);

draw();

```

Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Ілля МУЗИКА

Співавтор:

Назва: Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

Експерт: Василь СТЕЦЮК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.18%

Коефіцієнт подібності 2: 0.77%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-30 09:08:27.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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


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

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

Обґрунтування:

2026-05-30

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 272840 Назва: БКР Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів Додано в БД: 2026-05-30 Автора: Ілля МУЗИКА Керівники: Василь СТЕЦЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	104200	748	2377 (2%)	34 (5%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Музика Ілля Юрійович

Тема: Мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 58

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є мікроконтролерна система моніторингу на основі IoT складських комірок для відстеження наявності компонентів у виробництві карбюраторів.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки та сучасних методів розробки: у першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області систем моніторингу складських компонентів на основі технологій Інтернету речей, проаналізовано особливості контролю наявності деталей у виробничих процесах, розглянуто принципи побудови IoT-систем моніторингу, визначено основні вимоги до функціонування системи відстеження компонентів у виробництві карбюраторів та виконано постановку задачі дослідження. У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи виконано практичне проектування системи моніторингу складських комірок, а саме: сформовано архітектуру системи, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, розроблено структуру мікроконтролерного IoT-вузла, організовано процес збору та обробки даних, реалізовано механізм передавання інформації до серверної частини, визначено принципи взаємодії між складськими комірками та центральною системою, а також сформовано модель розподіленого кіберфізичного комплексу для контролю наявності компонентів. У третьому розділі

бакалаврської кваліфікаційної роботи виконано реалізацію та перевірку роботи системи моніторингу складських комірок, а саме: розроблено програмне забезпечення мікроконтролерного вузла, реалізовано серверну обробку телеметричних даних, створено інтерфейс контролю та моніторингу стану складських комірок, забезпечено формування заявок на поповнення компонентів, проведено перевірку працездатності системи в типових умовах експлуатації та виконано тестування функціональних можливостей розробленої системи.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу предметної області; недостатньо чітко описано процес складання програмно-технічного засобу.

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

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (D/70)

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

Траворська Наталія Іванівна, доцент,
кафедри ІТЗ

“*14*” *серпня* 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КІС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Ілля МУЗИКА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

1 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Автор Ілля МУЗИКА

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: Старший викладач Василь МИКОЛАЙОВИЧ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розмішені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розмішені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

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

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,18%; та системою Anti-Plagiarism складає 1,0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Василь СТЕЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ