

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів
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 022089.22.03.74 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група КІ2-22-3

Керівник доктор техн. наук, професор
Науковий ступінь, учене звання

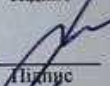
Нормоконтролер канд. фіз.-мат. наук, доц
Науковий ступінь, учене звання

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КПС
01 червня 2026 р.

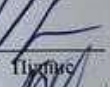
дата


Підпис

Дмитро СМАКУЛА
Ініціали, прізвище


Підпис

Єлизавета ГНАТЧУК
Ініціали, прізвище


Підпис

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

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

Смакулі Дмитру Руслановичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Керівник проекту (роботи) Професор Гнатчук Єлизавета Геннадіївна

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

Затверджена наказом ректора університету від 01.03.2026 р. № 5

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 для контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи для контролю стану контейнера для побутових відходів

Просктування кіберфізичної системи контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

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

Проект кіберфізичної системи

Алгоритми системи

Код роботи програми в середовищі Wokwi

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 кіберфізичної системи контролю стану контейнерів для побутових відходів.	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування да розрахунок вартості кіберфізичної системи для контролю стану контейнерів для побутових відходів.	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач


Підпис

Дмитро СМАКУЛА

Імя, ПРІЗВИЩЕ


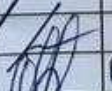

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Слизова ГНАТЧУК

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
			Текстові документи			
1		КвРКІ 022089.22.03.74 ПЗ	Пояснювальна записка	70		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 022089.22.03.74 Е8	Проект кіберфізичної системи в середовищі Wokwi	1		
3		КвРКІ 022089.22.03.74 Е8	Проект кіберфізичної системи в середовищі Simulink	1		
4		КвРКІ 022089.22.03.74 Е8	Алгоритми системи	1		
5		КвРКІ 022089.22.03.74 Е8	Лістинг коду	1		

					КвРКІ 022089.22.03.74ВП			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Смакула				У	1	1
Перевір.		Гнатчук				ХНУ, КІ2-22-3		
Н. контр.		Кисіль		01.06				
Затв.		Павлова						

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для небезпечних побутових відходів».

Автор роботи: Дмитро СМАКУЛА.

Керівник роботи: Єлизавета ГНАТЧУК.

Пояснювальна записка: 75 с., 24 рис., 8 табл., 4 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АРХІТЕКТУРА, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, КОНТЕЙНЕР,
МОНІТОРИНГ, ДАВАЧ, МІКРОКОНТРОЛЕР, УТИЛІЗАЦІЯ.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці та дослідженню програмно-апаратної системи моніторингу параметрів стану контейнерів на базі мікроконтролерної платформи. Актуальність теми зумовлена зростанням вимог до надійності, енергоефективності та безперервності функціонування комп'ютерних систем, серверного обладнання, вбудованих пристроїв і елементів інфокомунікаційної інфраструктури. Своєчасний контроль температури, вологості, енергоспоживання та інших параметрів дає змогу попереджати аварійні ситуації, знижувати ризики відмов і підвищувати ефективність експлуатації технічних засобів.

Метою роботи є проектування, реалізація та тестування апаратно-програмного комплексу для збору, передавання, оброблення й візуалізації даних з давачів у реальному часі. Для досягнення поставленої мети було виконано аналіз сучасних підходів до побудови систем моніторингу, з метою підвищення ефективності моніторингу технологічних процесів та забезпечення оперативного реагування на зміну контрольованих параметрів, спроектовано програмне забезпечення мікроконтролера і користувацький інтерфейс для перегляду результатів вимірювань.





Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Кіберфізична система для контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів	5
1.1 Аналіз можливостей та переваг кіберфізичної системи для контролю стану контейнерів для збору побутових відходів	5
1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення для обробки інформації отриманої від кіберфізичних систем для контролю стану.....	13
1.3 Аналіз сучасних проблем поводження з відходами	15
1.4 Постановка задачі.....	17
1.5 Висновки до першого розділу.....	19
2 Проектування кіберфізичної системи контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів.....	20
2.1 Декомпозиція кіберфізичної системи моніторингу на функціональні підсистеми.....	20
2.2 Розробка структурної схеми та архітектури системи.....	23
2.3 Дослідження функціональних характеристик КФС засобами Simulink	26
2.4 Функціонал кіберфізичної системи.....	27
2.5 Аналіз потенційних ризиків та обмежень при експлуатації кіберфізичних систем.....	33
2.6 Аналіз провідних протоколів та інтерфейсів передачі даних у кіберфізичних системах.....	36
2.7 Висновки до другого розділу	38
3 Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи для контролю стану контейнера для побутових відходів	40
3.1 Програмна реалізації та алгоритми функціонування системи	40

КвРКІ. 022089.22.03.74ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Дмитро Смакула		01.08
Перевір.		Слизавета Гнатчук		
Н.контр.		Тетяна Кисіль		01.08
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		
			Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів	
			Літера	Аркуші
			у	72
			ХНУ КІ2-22-3	

3.2 Моделювання та дослідження характеристик системи в середовищі Wokwi	42
3.3 Мікроконтролер Arduino	44
3.4 Створення в симуляторі модель системи	45
3.5 Обґрунтування та підбір компонентів для фізичної реалізації системи	50
3.6 Специфікація обладнання та розрахунок вартості апаратної частини системи	55
3.7 Висновки до третього розділу	57
Висновки.....	59
Перелік джерел посилань.....	61
Додаток А Проєкт кіберфізичної системи в середовищі Wokwi	67
Додаток Б Проєкт кіберфізичної системи в середовищі Simulink	68
Додаток В Алгоритми системи.....	69

ВСТУП

У наш час актуальність автономної кіберсистеми важко переоцінити, з кожним новим роком все більша частина сучасної техніки розробляється з вбудованим акумулятором, а не простому підключенню через кабель до мережі і з часом з'являється все більше використаних акумуляторів, батарейок та їх залишків. В кожного вдома є лампи чи то старого зразка чи то нові з світлодіодів, проте всі вони мають свій термін експлуатації після якого їх кудись потрібно зібрати для утилізації. Згідно варіанту проведено дослідження для контролю контейнерів в які збирають небезпечні відходи. Для безпеки зберігання та подальшої можливості утилізації. Несвоєчасне вивезення або пошкодження таких відходів у місцях збору може призвести до витoku токсичних речовин і важких металів, що становить пряму загрозу для довкілля та здоров'я людей. Традиційний ручний контроль заповненості та стану таких екологічних пунктів є неефективним і потребує значних логістичних витрат. Саме тому автоматизація моніторингу за допомогою автономних систем є критично важливою. Розроблений комплекс дозволяє в реальному часі відстежувати стан контейнерів, забезпечувати безпеку зберігання токсичних елементів та оперативно координувати процеси їх подальшого вивезення й утилізації.

Метою проєкту є дослідження системи для контролю за контейнерами в яких зберігають небезпечні відходи.

Об'єктом дослідження є функціонал кіберфізичної моніторингової системи за станом контейнера

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ЗБОРУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

1.1 Аналіз можливостей та переваг кіберфізичної системи для контролю стану контейнерів для збору побутових відходів

Кіберфізична система або КФС - це концепція з інформаційних технологій, яка передбачає собою інтеграцію обчислювальних технологій або ресурсів будь-якого виду, як апаратних, так і програмних засобів [1].

В КФС обчислювальна частина буде розподіленою по всій фізичній системі, котра є і носієм, і сильно пов'язана з елементами, без яких її просто не реалізувати фізично (рис. 1.1 Комплектуючі кіберфізичної системи).

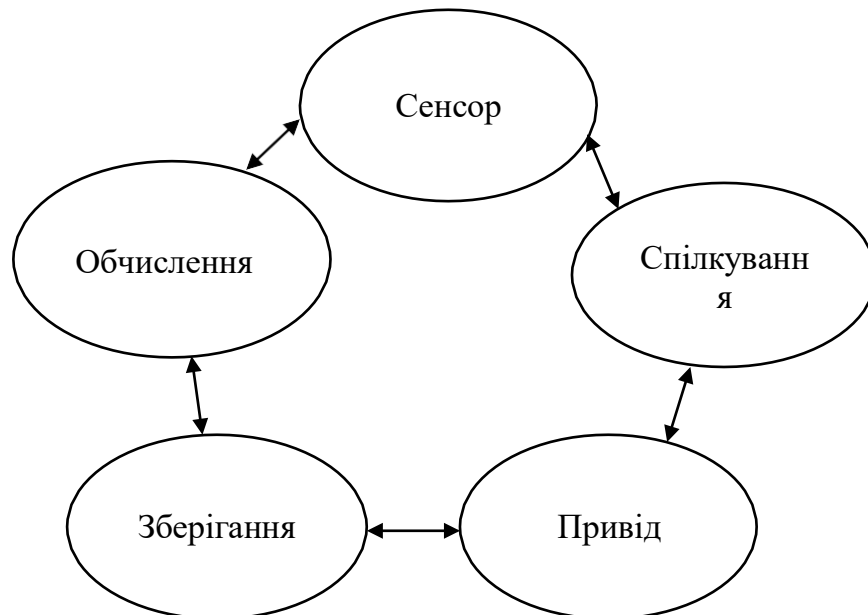


Рисунок 1.1 – Комплектуючі кіберфізичної системи [2]

Сам термін кіберфізичні системи виник вперше ще під час четвертої промислової революції в 2016 році та не тільки втратив актуальності до сьогодні, а й набув ще більшу, за рахунок розвитку і бажання людей до автоматизації простих речей.[3]. До прикладу автомобільна галузь, була створена кіберфізична система, яку всі називають просто «Автопілот» те, що на перший погляд, може

здатись чимось нереальним, складним для розуміння, а на ділі доволі просто, в кіберфізичній системі використовуються прості ультразвукові сенсори, радари та камери.

З метою наглядності та більшого розуміння було створено схему (рис. 1.2 Алгоритм роботи кіберфізичної системи) функціонування кіберфізичної системи



Рисунок 1.2 – Алгоритм роботи кіберфізичної системи

Для професійного опису, прийнято використовувати кіберфізичну систему моделі 5С [4], яка крок за кроком може пояснити як, «Сирі» дані перетворюються на корисну дію:

-зв'язок це рівень датчиків і сенсорів, які вимірюють тиск, температуру, вологість. Дані від яких повинні передаватись без затримок, відразу до користувача;

-перетворення це рівень де дані з рівня зв'язку перетворюються на інформацію. Наприклад заповненість визначають силою струму, яка збільшується коли рівень відходів зростає, і при 5V на панелі керування показується 80% заповненості контейнера;

-кіберрівень на цьому рівні система збирає усі дані, що отримує в одну повноцінну картинку. Саме на цьому рівні знаходяться бази даних та сервера;

-рівень пізнання притаманний новішим кіберфізичним системам, через використання штучного інтелекту для прийняття швидких, точних та правильних рішень. Також штучний інтелект може давати прогнози стосовно небезпеки, до прикладу, температура зростає на 3 градуси кожен годину, це може привести до пожежі через 6 годин;

-конфігурація це рівень зворотного зв'язку, до прикладу, коли на рівні пізнання є попередження про небезпеку пожежі, користувач вмикає систему охолодження чи відкриває контейнер для стравлювання тиску при його надлишку в контейнері для запобігання небезпечним ситуаціям.

В нових методах класифікації, які використовують в зарубіжних компаніях та наукових фондах, закладено призначення, кількість задач, кількість користувачів та тип процесорів [5].

Кіберфізичні системи для перевірки стану можуть бути як автоматичні, так і керовані людиною, у наш час пріоритет мають саме автоматизовані КФС [6].

Тому більшість сучасних кіберфізичних систем розробляють саме автоматизованими. В таких системах є кілька рівнів автономності, від систем, що можуть просто давати прогноз та рекомендації за допомогою скриптів та

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сценаріїв або штучних інтелектів. До повноцінних самостійних систем, які можуть виконувати самодіагностику, самоорганізацію та навіть самовідновлення. В рамках проєкту по моніторингу контейнерів для побутових відходів, кіберфізичні системи допомагають мінімізувати ризики стосовно людського фактору, а саме можливих помилок, неточності, неуважності та порушенням техніки безпеки. Такі системи можуть використовуватись місцях де людині буде небезпечно знаходитись і виконувати певну роботу, автоматизовані КФС можуть вирішити і цю проблему (рис. 1.2 Типи кіберфізичних систем).

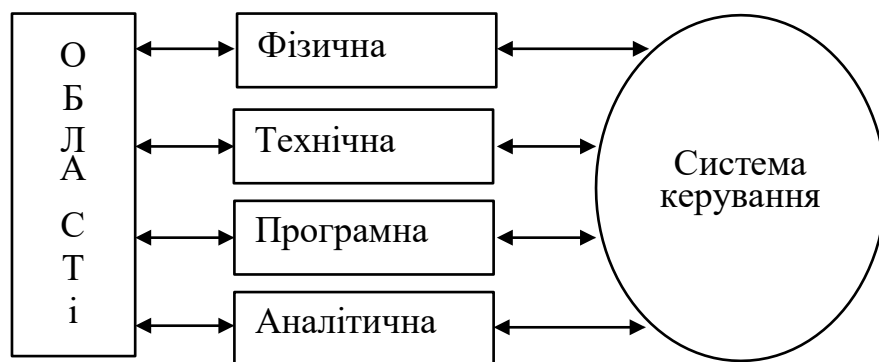


Рисунок 1.3 – Типи кіберфізичних систем [7]

Кращий та найпростіший варіант комплектуючих для простої КФС:

- 1) процесор;
- 2) сенсори для відстеження стану об'єкта (контейнеру);
- 3) живлення (акумулятор або кабелі, які проводять струм);
- 4) давачі або лампи які будуть відображати зібрану інформацію.

Звісно, комплектуючі можна використовувати, можна контролювати, чи контейнер герметичний чи не виділяються небезпечні гази чи немає небезпеки виникнення вогню через високу температуру. Процес підбору апаратних компонентів для кіберфізичних систем є комплексною інженерною задачею. Необхідно враховувати як технічну сумісність елементів для запобігання міжсистемним конфліктам. Критерій вартості набуває критичного значення при

масштабуванні рішень до рівня промислових підприємств або об'єктів критичної інфраструктури, таких як атомні електростанції (АЕС)

Як правило, більшість кіберфізичних систем масового використання «ціна-якість» складаються з:

- мікроконтролера;
- системи живлення;
- модуля зв'язку (якщо не вбудований в контролер);
- сенсора або давача;
- захисного корпусу;
- давачі або інша система для зчитування даних.

Якщо брати за правило найбільш основні функції кіберфізичних систем - це моніторинг, аналіз інформації, дистанційне керування, збереження даних до баз даних (БД), автоматизація. Звичайно це не все, що можуть кіберфізичні системи, всі такі функції просто неможливо буде перерахувати. Варто також зауважити, що ці списки не можуть бути повними, через стрімкий розвиток технологій, інтернету речей та ШІ, які сильно розширюють межі та можливості кіберфізичних систем. Проте нижче наведено основні функції та ті, що є фундаментальними які визначають життєздатність та ефективність сучасних кіберфізичних систем (табл. 1.1).

Варто також підкреслити кіберфізичну систему контролю стану контейнерів для побутових відходів [8]. Вона надає переваги яких неможливо добитись простим моніторингом.

– прогноз безпеки завдяки рівню Cognition (пізнання) система не просто попереджає але й аналізує динаміку змін;

– енергоефективність оскільки контейнер є автономними об'єктами. Пристрої перебувають в режимі сну до необхідності передачі даних або тригера (висока температура, тиск);

– екологічна прозорість дані які збирає така система, що записуються у базу даних є прямим доказом належного поводження з відходами;

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– мінімізація логістичних витрат додання кіберфізичної системи до бази даних може дозволити побудувати динамічні маршрути для техніки, яка буде збирати та відвозити на утилізацію відходи. Завдяки цьому також знижуються витрати на паливо, та викиди газів в атмосферу (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Функції кіберфізичних систем

1.	Аналіз (обробка інформації)	-система спостерігає за фізичним станом об'єкту спостереження. -система розпізнає дані з датчиків та передає їх далі.
2.	Моніторинг або система спостереження (в реальному та не тільки часі)	-запрограмування завдання постійно зчитувати дані які передають датчики та при необхідності переводити з однієї в іншу систему вимірювання для більш зручної оцінки . -система може в реальному часі попередити про небезпеку або про необхідність певних дій для правильного функціонування системи та об'єкту спостереження.
3.	Дистанційне керування	-завдяки правильному налаштуванню кіберфізичної системи, можливо без безпосереднього втручання керувати об'єктом.
4.	Збереження даних до Бази даних	-система може паралельно до моніторингу зберігати все в «Хмару» або спеціально створену БД, для подальшого аналізу зібраної інформації за певний період часу.
5.	Повна автоматизація	-відтворення сценаріїв . -автоматичне приймання рішень (до прикладу ІІІ).

Четвертий це забезпечення фізичної безпеки на стійкості на апаратному рівні. Оскільки кіберфізична система - це не тільки цифровий світ, а й фізичні об'єкти, безпека якої залежить від захищеності самих контролерів, сенсорів та давачів. Це передбачає встановлення захисних противандальних та герметичних корпусів і систему, яка запобігає перепадам напруг та замиканням.

П'ятим пунктом буде відмовостійкість. Безпека кіберфізичної системи - це не лише захист від вандалізму чи атак на кібер рівні, але й в тому щоб система могла продовжувати працювати коректно та справно навіть випадку виходження з ладу одного з елементів. Що передбачає створення сценаріїв, до прикладу сервер буде атаковано - в цьому випадку система має відключитись і працювати незалежно та автономно, сама приймати рішення за допомогою сценаріїв, які були закладені при розробці програмного забезпечення.

Таким чином безпека кіберфізичної системи це в першу чергу поєднання цифрового захисту та фізичної стійкістю та автономною надійністю кожного елемента системи. Це робить кіберфізичну систему ефективною та стабільною в сучасних умовах високої кібербезпеки.

1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення для обробки інформації отриманої від кіберфізичних систем для контролю стану

На сучасному етапі розвитку ІТ напрям кіберфізичних систем є відносно новою динамічною сферою, що не перестає розвиватися [10]. В свою чергу це зумовлює достатньо обмежену кількість архітектурних моделей програмного забезпечення. Спільнота інформаційних технологій все ще перебуває в стані пошуку універсальних архітектурних моделей, які б запропонували повну автоматизацію, надійність та точність за відносно невисоку ціну. Через це розробка та впровадження нових оптимізованих структурних рішень для інтеграції апаратних і програмних засобів залишається одним із пріоритетних завдань сучасної прикладної інженерії (рис. 1.5).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

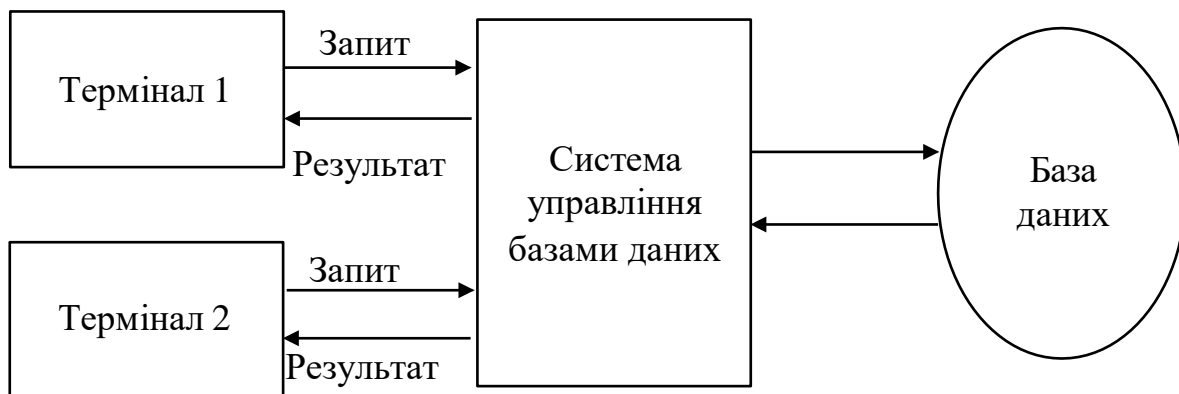


Рисунок 1.5 – Загальна архітектура ПЗ + КФС

Незважаючи на велику кількість методичних вказівок, щодо апаратного забезпечення, сфера розробки програмного забезпечення на спеціалізованому рівні для кіберфізичних систем, стикається з критичним браком вказівок, через фокусування наявних інструкцій на фізичних компонентах, давачі, сенсори, акумулятори. Забуваючи питання архітектури для ПЗ позаду і в наслідок чого часто на етапі проєктування виникає чимало проблем та питань [12].

Є велика різниця в технічних та корпоративних рішеннях, які базуються на стандартах (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння рішень

Технічні рішення	Корпоративні стандарти
Виведення базових типів інформації та використання сторонніх месенджерів.	Спеціалізовані панелі керування з візуалізацією графіків.
Використання публічних протоколів (НТТР) або публічні хмари без гарантій захисту інформації.	Промислові протоколи (НМІ), використання віддалених серверів та резервних каналів зв'язку.
Відсутня повністю або мінімальна безпека за допомогою автентифікації.	Багатофакторна автентифікація та шифрування трафіку.

Кінець таблиці 1.2

Складнощі при додаванні нових модулів або вузлів.	Модульна архітектура, яка дозволяє легко додавати або відключати цілі вузли.
Не відповідає стандартам ДСТУ.	Повна відповідальність промисловим стандартам та ДСТУ.
При збогах система просто зависає.	Є логування помилок та робота в автономному режимі при втраті зв'язку.

Для кращого аналізу кіберфізичної системи варто розглянути кожний рівень не просто як окремий об'єкт, а як суцільну повноцінну екосистему, де збій на будь-якому одному рівні може зіпсувати ефективність всієї структури. В сучасних умовах конкуренції інтеграція усіх рівнів є обов'язковим фактором та стандартом для створення кіберфізичних систем промислового класу.

Всього є чотири рівні:

- нижній рівень (вбудоване ПЗ);
- середній рівень (мережа, інтернет та зв'язок);
- верхній рівень (Хмара, БД або сервер);
- аналітичний рівень (відносно новий, з використання ІІІ).

На професійному рівні для конкуренції, яка в сфері ІТ зростає з кожним днем, передові компанії розробки та проектування програмного забезпечення повинні використовувати всі 4 рівні для того щоб, не залишатись позаду інших.

1.3 Аналіз сучасних проблем поводження з відходами

Станом на сьогодні більшість сміттєсховищ майже вичерпали свій ресурс. Тому сучасну структуру управління відходами можна охарактеризувати як

без небезпеки для людей та навколишнього середовища. Важливими аспектами в системі моніторингу за побутовими відходами будуть:

1. Температура - акумулятори можуть «замкнути» від чого почати нагріватись та навіть спричинити пожежу.

2. Тиск - в герметичних контейнерах може збільшуватись тиск, причиною чого може стати пожежа і в наслідок контейнер стане вибухонебезпечним.

3. Заповненість контейнера - попередження, що місця вже немає і пора відходи переробляти або вивозити в відповідні організації, які займаються переробкою.

Тому в проекті було реалізовано таку систему, яка може моніторити всі ці 3 основні пункти.

Крім екологічного аспекту, використання кіберфізичних систем може допомогти вирішити економічні проблеми, пов'язані з відходами. Просте регулярне обслуговування напівпорожніх контейнерів може призводити до зайвих дій, витрат палива, зношення техніки. Автоматизація цих дій за допомогою кіберфізичних систем може скоротити витрати до 30%.

Такий економічний ефект можливо досягти завдяки концепції «Динамічного збору відходів». В порівнянні з стандартним способом, де сміття збирають та відвозят по графіку, оператор може побачити реальну картину в режимі реального часу, що в свою чергу дозволяє швидко реагувати лише на заповнені контейнери, та не витрачати паливо до пустих контейнерів, що в свою чергу сильно зменшує викиди газів в атмосферу, проблема яких стає все більшою.

1.4 Постановка задачі

Об'єктом даного дослідження є розробка кіберфізичної системи, призначеної для моніторингу та контролю стану резервуарів збору специфічних побутових відходів (зокрема, відпрацьованих елементів живлення та

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

люмінесцентних ламп). Основним завданням цього розділу є декомпозиція загальної мети проєкту, а також формування структурованої послідовності підзадач, вирішення яких необхідне для комплексної реалізації та розгортання системи. Виходячи з досліджень, проведених раніше було визначено наступні цілі:

1. Дослідження архітектури та особливостей функціонування кіберфізичних систем.

2. Огляд та аналіз теоретичної бази, вивчення сучасних підходів та протоколів передачі даних, що дозволить обрати стійку, надійну та недорогу систему та її архітектуру.

3. Проведення порівняльного аналізу існуючих методів моніторингу та дослідження сучасних світових аналогів кіберфізичних систем контролю стану контейнерів утилізації відходів з метою визначення їхніх переваг і недоліків, що дозволить обґрунтувати архітектуру конкурентоспроможного та високонадійного інженерного рішення.

4. Формулювання генеральної мети, визначення специфіки та архітектурних особливостей дослідження із систематизацією проміжних результатів. Проектування та програмно-апаратна реалізація діючого прототипу кіберфізичної системи, що забезпечує безперервний моніторинг у режимі реального часу таких параметрів, як рівень заповненості, температурний режим та внутрішній тиск у контейнері.

5. Проведення аналізу проектних ризиків та оцінка динаміки реалізації розробки за контрольними точками. Впровадження системи моніторингу, яка дозволить чітко визначати поточну стадію життєвого циклу проєкту, оперативно виявляти потенційні деструктивні чинники чи технічні складнощі, а також вчасно корегувати план-графік інженерних робіт із проектування кіберфізичної системи контролю стану контейнерів.

Виконання вище зазначених пунктів може дозволити прокласти зрозумілий та вірний маршрут для виконання ефективної та корисної

					КвРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кіберфізичної системи. Це забезпечує не лише теоретичну, але і практичну цінність роботи для сфери екологічної та економічної безпеки і стабільності.

Контроль за станом контейнерів для специфічних побутових відходів (лампочок в тому числі ртутних, акумуляторів та батарейок) за допомогою недорогої та простої системи може дозволити мінімізувати техногенні та екологічні ризики. Додатково це автоматизує утилізацію та вивезення відходів.

Тому те, що на перший погляд здається незначним та простим на ділі має широку сферу використання на високу користь, що поєднується з ефективністю.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи було детально вивчено теорію та технічні основи, необхідні для створення екологічних систем автоматизації. На основі аналізу технологій Інтернету речей та архітектури кіберфізичних систем (зокрема популярної моделі 5С) було визначено, як саме будуватиметься майбутній комплекс — від збору даних звичайними датчиками до їх аналізу та обробки у хмарі. Окрему увагу приділено серйозній екологічній проблемі — утилізації небезпечних побутових відходів, таких як використані батарейки, акумулятори та ртутні лампи. Дослідження показало, що без постійного контролю за контейнерами, де зберігаються такі відходи, значно зростає ризик витоків чи аварій.

Це доводить, що розробка автоматизованої системи для вимірювання температури, тиску та рівня заповненості цих резервуарів є дуже важливою та актуальною задачею. Також у розділі було проаналізовано будову програм і технічної частини кіберфізичних систем, визначено головні вимоги до їхньої безпеки, захисту даних від хакерських атак та загальної надійності в роботі. У результаті цього аналізу було чітко сформульовано завдання на розробку автономної та енергоефективної системи моніторингу. Це створило надійну теоретичну базу для подальшого проектування та практичного створення самого пристрою.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗА СТАНОМ КОНТЕЙНЕРІВ ДЛЯ ЗБОРУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

2.1 Декомпозиція кіберфізичної системи моніторингу на функціональні підсистеми

Останім часом спостерігається стрімкий науково-технічний прогрес у сферах мікроелектроніки, бездротового зв'язку та штучного інтелекту призвів до того, що на світовому ринку та в інженерній практиці можна знайти та впровадити величезну кількість різноманітних кіберфізичних систем, розроблених практично для будь-якої мети та адаптованих під специфічні потреби різних галузей людської діяльності. Розвиток цього напрямку демонструє величезний рівень масштабованості: від локальних, низькобюджетних рішень до надскладних глобальних інфраструктурних проєктів.

На нижньому рівні знаходяться вузькоспеціалізовані пристрої Інтернету речей (IoT), призначені для вирішення точкових побутових або комунальних завдань, таких як автоматизований моніторинг міського простору, де проста перевірка наявності вільного місця в сміттєвому баку за допомогою ультразвукових сенсорів дозволяє оптимізувати логістику комунальних служб та суттєво знизити витрати на паливо.

На противагу таким локальним давачам, вищий рівень займають високоінтегровані інтелектуальні комплекси, що функціонують в умовах жорсткого реального часу. Яскравим прикладом таких систем є сучасні автопілоти та системи безпілотного керування транспортом, які в секунду обробляють гігабайти інформації з лідарів, камер та радарів, приймаючи критично важливі для життя пасажирів рішення на основі складних нейромережевих алгоритмів. Проєктування кіберфізичних систем для розумних будинків є одним із найбільш динамічних напрямків, оскільки воно вимагає об'єднання в єдину екосистему абсолютно різнорідних підсистем: від клімат-

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Кінець таблиці 2.1

3.	Підсистема енергопостачання	Підсистема автономного енергозабезпечення забезпечує безперебійну роботу КФС в умовах нестабільного електропостачання за рахунок використання акумуляторів та сонячних панелей для відновлення заряду.
4.	Інформаційно-аналітична підсистема	Інформаційно-аналітична підсистема є ядром КФС, що об'єднує локальні бази даних та хмарні сховища для архівації телеметрії. Вона також містить модулі генерації звітів та системного логування для подальшого автоматизованого або експертного аналізу даних
5.	Підсистема управління логістикою	Підсистема логістичного управління, базовим компонентом якої є навігаційний модуль (GPS), забезпечує динамічну оптимізацію маршрутів. Вона розраховує найкоротші траєкторії руху до критичних об'єктів (переповнених або несправних контейнерів).
7.	Підсистема кібербезпеки	Підсистема кібербезпеки призначена для криптографічного захисту звітів та шифрування каналів зв'язку. Вона інтегрує модулі автентифікації, які верифікують джерела даних та гарантують надходження телеметрії від легітимних давачів.

Інтеграція та скоординована взаємодія зазначених компонентів дозволяє трансформувати локальний об'єкт збору відходів у повноцінний інтелектуальний вузол кіберфізичної системи. Завдяки якому дані, що отримують

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

давачі не будуть просто десь там накопичуватись, а стають основою або причиною для прийняття рішень [18-19].

2.2 Розробка структурної схеми та архітектури системи

Сучасна архітектура кіберфізичних систем відзначається надзвичайно високою різноманітністю, складністю внутрішніх взаємозв'язків та значною кількістю варіативних апаратних і програмних компонентів. Проектування таких комплексів ускладнюється великою кількістю сучасних комплектуючих з різними характеристиками. Через це розробнику доводиться постійно шукати баланс між високою продуктивністю процесорів, низьким енергоспоживанням периферії та фінансовими витратами на обладнання [20-21]. Особливо гостро це питання постає при роботі з автономними пристроями, де обмежений ресурс джерел живлення диктує жорсткі рамки для частоти опитування давачів та потужності радіопередавачів.

Для вирішення цих завдань та забезпечення надійного контролю за станом контейнерів із побутовими відходами відповідно до вимог технічного завдання було спроектовано автономну архітектуру. В основу цього рішення покладено сучасні принципи побудови кіберфізичних платформ, що робить розроблену систему гнучкою, стійкою до збоїв та конкурентною на ринку промислових аналогів. Головна особливість запропонованої моделі полягає в її поділі на три ієрархічні рівні, кожен з яких виконує свій набір функцій та забезпечує безперервну передачу інформації від об'єкта до кінцевого користувача.

Такий підхід дозволяє відокремити апаратні залежності й спростити програмну логіку від конкретних моделей давачів, що значно спрощує майбутню модернізацію системи. Завдяки взаємодії цих рівнів створюється єдине інформаційне середовище, здатне ефективно працювати в динамічних умовах міста та інтегруватися в глобальні муніципальні платформи управління відходами (рис. 1.7 Трьохрівнева архітектура потоків даних КФС).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

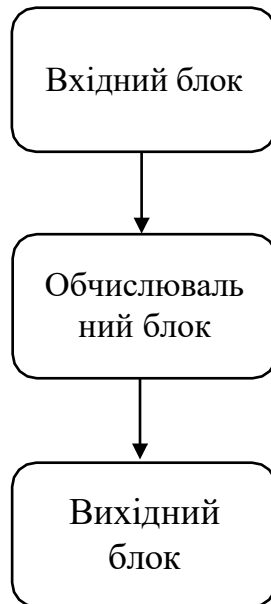


Рисунок 1.7 – Трьохрівнева архітектура КФС

Після того, як було ретельно вивчено правила побудови подібних пристроїв, перевірено способи підключення дротів та розібрано всі робочі характеристики обраних деталей, вдалося намалювати загальну схему з'єднань пристрою. Ця схема дуже просто і наочно показує, як саме влаштована вся система зсередини, куди підключаються лінії живлення для кожної плати, а також якими шляхами передаються сигнали та інформація між головним мікроконтролером Arduino та всіма підключеними до нього датчиками. На схемі чітко видно розподіл на окремі робочі рівні, що значно полегшує розуміння принципу роботи всього комплексу. Крім безпосередньо самої графічної схеми, для більшої зручності під час вивчення проекту було вирішено зібрати докупи всі отримані технічні дані.

Щоб гарно розкласти по полицях інформацію про кожну окрему деталь, наочно показати її роль у схемі та пояснити, за що саме відповідає той чи інший модуль кіберфізичної системи, було складено детальну текстову таблицю. Це дозволяє швидко знайти потрібні параметри будь-якого компонента без

необхідності перерахувати весь текст розділу заново. (табл. 2.2 Блоки архітектури ПЗ).

Таблиця 2.2 – Блоки архітектури ПЗ

1.	Вхідний блок (сенсорний рівень)	В цьому блоці є такі компоненти як датчик температури для попередження та запобігання виникнення вогню в середині контейнера. Другим датчиком є потенціометр (РОТ) через його простоту та відносно не дорогу ціну, він в реальному часі за допомогою ультразвуку вимірювати рівень сміття в баку.
2.	Вихідний блок (рівень індикації інформації).	Блок складається з образної панелі керування куди підключені світлодіоди які відповідають за свою роль або ж екран на якому все вказано.
3.	Обчислювальний блок (рівень керування).	На обчислювальному рівні мікроконтролер виконує функції центрального процесора, здійснюючи зчитування та обробку аналогових сигналів із первинних сенсорів. Алгоритм передбачає генерацію та відправку тривожного сигналу в разі досягнення критичних порогів телеметрії: заповнення контейнера на 90% та 100%, зростання внутрішнього тиску до 5 або 7 бар, чи перевищення температурного показника відмітки 70 градусів

Відповідно до визначених блоків розроблено структурно-функціональну архітектуру та план реалізації кіберфізичної системи моніторингу стану спеціалізованих контейнерів для побутових відходів (ртутних ламп, акумуляторів). Апаратна комплектація системи включає сенсори,

обчислювальну платформу на базі мікроконтролера Arduino, світлодіодні індикатори для оперативного візуального сповіщення, а також OLED-дисплей для виведення точних показників (поточної температури та рівня заповнення ємності у відсотках)

2.3 Дослідження функціональних характеристик КФС засобами Simulink

Інтегроване в середовище MATLAB програмне забезпечення Simulink компанії MathWorks є засобом для візуального проектування, симуляції та дослідження складних динамічних систем. Висока ефективність цього інструменту зумовлена наявністю численних спеціалізованих наборів блоків та математичних функцій. Ці засоби охоплюють прикладні напрями науки і техніки: класичну теорію керування, цифрову обробку сигналів.

Застосування інструментів Simulink дозволяє перейти від базових статичних розрахунків до повноцінного імітаційного моделювання динаміки процесів у часі. Важливою особливістю платформи є універсальність, завдяки якій в одній моделі можна комбінувати процеси різної фізичної природи. Загалом, середовище підтримує моделювання таких класів систем в MatLab [22].

Завдяки цим перевагам Simulink є найпопулярнішим, найкращим інструментом для проектування систем керування і цифрової обробки інформації.

Саме тому для розробки та тестування системи було обрано програму Simulink. Вибір програми був зумовлений можливістю реалізації

яке в свою чергу дозволяє:

1. Створити віртуальний прототип системи, без витрат на апаратні компоненти на етапі проектування.
2. Провести візуальне програмування логічних операцій, тиск, температура, заповненість.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

3. Виконати тестування роботи алгоритму, викручення слайдерів на максимум.

2.4 Функціонал кіберфізичної системи.

Науково-практична цінність та архітектурні переваги розробленого рішення полягає у створенні замкнутого циклу безперервного двостороннього обміну даними між фізичним об'єктом (спеціалізованим контейнером для твердих побутових відходів) та локальною цифровою системою керування. Такий підхід дозволяє реалізувати на практиці концепції Інтернету речей та кіберфізичних систем, де фізичні процеси синхронізовані з обчислювальними алгоритмами.

Спроектована архітектура повністю автоматизує процес роботи з інформацією. Система самостійно, без участі людини, збирає первинні дані з усіх підключених давачів, очищає їх від випадкових завад і помилок, проводить необхідні математичні розрахунки та відправляє готові результати на головний пульт диспетчера.

Завдяки цьому можна постійно та в режимі реального часу стежити за станом кожного сміттевого контейнера. Система дозволяє безперервно перевіряти, наскільки заповнений бак, чи немає всередині різкого стрибка температури та чи не виникли інші небезпечні ситуації. Оскільки весь процес контролюється програмою, це повністю виключає помилки, пов'язані з людським фактором.

Ще однією важливою перевагою розробленого пристрою є його висока самостійність і стійкість до будь-яких збоїв. Сама структура системи та її програмні алгоритми налаштовані так, що головний мікроконтролер на контейнері може працювати та приймати рішення абсолютно автономно. Навіть якщо інтернет-зв'язок із центральним хмарним сервером або головною базою даних повністю зникне на тривалий час, пристрій не вимкнеться і не перестане

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

працювати. Він продовжить збирати дані, керувати індикацією та контролювати об'єкт у локальному режимі.

У разі виникнення мережевих збоїв або повного зникнення зв'язку, система автоматично переходить у автономний режим роботи із локальним накопиченням інформації.

Дані зберігаються у вигляді списку із мітками часу, що повністю запобігає втраті вимірювань за весь період відсутності з'єднання. Крім того, апаратна архітектура розробленої система, спроектована з урахуванням жорстких вимог щодо мінімізації енергоспоживання.

Завдяки цьому система зберігає повну працездатність у разі знеструмлення зовнішньої електричної мережі, миттєво переключаючись на резервні автономні джерела живлення (акумулятори). Таке технічне рішення забезпечує тривалий час автономної роботи і робить пристрій повністю придатним для тривалого використання в умовах нестабільної критичної інфраструктури. [23].

Робота системи полягає в зчитуванні інформації (стану відходів) за допомогою датчиків, а саме [24]:

1. Приймач температури зчитує рівень температури всередині контейнера для запобігання виникнення пожежі.

2. Приймач рівня тиску зчитує тиск в контейнері для запобігання виникнення вибухонебезпечних ситуацій через надлишок тиску в герметичному контейнері.

3. Датчик заповненості контейнера вимірює рівень до якого заповнений контейнер, що допомагає вчасно його спорожнювати. Візуальний вигляд в програмі Simulink (Рисунок. 2.1 Датчик заповненості контейнера).

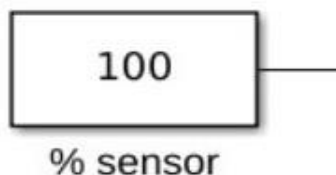


Рисунок 2.1 – Датчик заповненості контейнера

Наступним кроком іде математична обробка інформації отриманої з датчиків, використано формули ≥ 5 , ≥ 60 , $\geq 90\%$. Випадку коли датчі зібрали інформацію і після її обробки виявилось, що температура вище 50 градусів, що є потенційно небезпечно, поступає сигнал на наступний пункт [25]. Вигляд в програмі Simulink (Рисунок 2.2 Математичний блок заповненості контейнера).

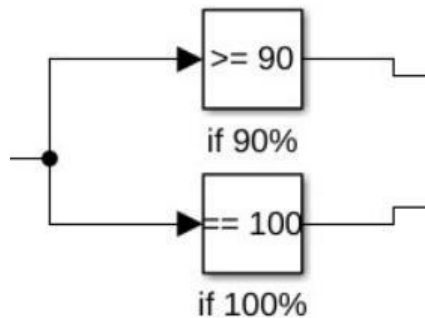


Рисунок 2.2 – Математичний блок заповненості контейнера

На рівні візуалізації передбачено світлодіодну індикацію станів системи. За умов відповідності всіх контрольованих показників встановленим нормам, LED-індикатори світяться зеленим кольором. Якщо один із параметрів наближається до критичної межі, відповідний індикатор змінює колір на жовтий, що сигналізує про потенційну небезпеку. У разі виходу параметрів за межі допустимого діапазону (наприклад, підвищення температури всередині контейнера до 70 °C), індикатор відповідного датчика стає червоним, вказуючи на аварійний стан системи.

До рівня візуалізації інтегровано висококонтрастний OLED-дисплей. Завдяки використанню стандартних інтерфейсів передачі даних та кабельним лініям його можна розмістити у зручному місці. Це дозволяє одночасно виводити інформацію як безпосередньо на корпус контейнера для оперативного контролю персоналом під час збору відходів, так і на віддалену панель керування в диспетчерському пункті або на робоче місце оператора, який здійснює безперервний моніторинг інфраструктури в режимі реального часу [26].

Окрім покращення стабільності системи, такий підхід забезпечує резервування засобів відображення, що гарантує доступ до даних у разі механічного пошкодження одного з екранів (рис. 2.3 – Блок візуалізації показників).

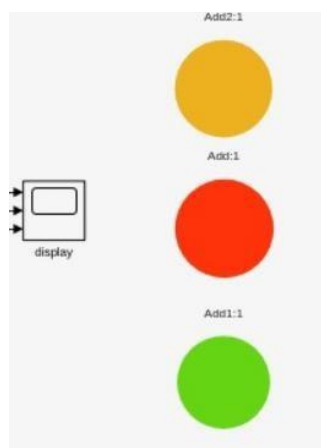


Рисунок 2.3 – Блок візуалізації показників

За допомогою програми Simulink було розроблено також сценарії роботи кіберфізичної системи для контролю стану контейнерів для побутових відходів. Всього є 3 сценарії, які для зручності було вирішено називати станами.

Перший стан, це стан спокою, коли всі показники в нормі, температура нижче 60 градусів, тиск нижче 5 бар, а заповненість нижче 90%. В цьому випадку всі індикатори будуть зеленого кольору, а на дисплеї буде відображатись показники в цифрах для кращого розуміння.

Другий стан це потенційна небезпека, коли показники близькі до небезпечних, температура від 60 до 70 градусів, тиск від 5 до 7 бар, а заповненість від 90% до 99%. В цьому стані індикатори будуть жовтого кольору, що інтуїтивно дає зрозуміти, що є проблема.

Третім, найбільш критичним режимом є аварійний стан, за якого телеметричні показники перевищують гранично допустимі значення. Цей режим активується, якщо внутрішня температура контейнера перевищує 70 °С, надлишковий тиск зростає понад 7 бар, або рівень заповненості відходами

досягає 100%. При переході в цей стан мікроконтролер негайно вмикає алгоритми екстреного захисту: аварійні LED-індикатори змінюють свій колір на червоний для швидкого візуального сповіщення на об'єкті, а на дисплеї безперервно виводяться точні цифрові значення параметрів.

Це дозволяє обслуговуючому персоналу оперативно оцінити загрозу (самозаймання чи переповнення) та вжити необхідних заходів (рис. 2.4 Схема системи в Simulink).

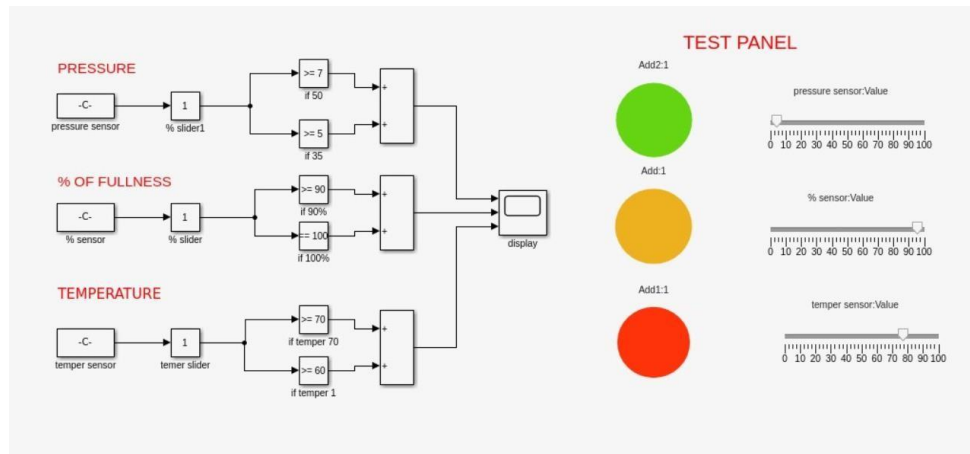


Рисунок 2.4 – Схема системи в Simulink

Для створення схеми в програмі Simulink було використано такі компоненти як:

1. Constant, блок використаний для імітації сенсорів та датчиків, в які можна вводити значення які могли б отримати датчі.
2. Gain, блоки використаний для перетворення інформації в нулі та одиниці, що сильно підвищує ефективність через мінімізацію зайвих символів.
3. Relation operator, блок математичних розрахунків за допомогою якого запрограмовано логіку роботи системи.
4. Add, блок, що повертає дані назад в систему нулів та одиниць та виражує який показник передати далі, це може бути одна 1 або дві 1 які в сумі дають 2 і свідчать про небезпеку.

Окремо варто звернути увагу на те, що архітектура модулів індикації розроблена за принципом повної незалежності світлових елементів один від одного. Кожен окремий світлодіод жорстко закріплений за конкретним фізичним

параметром середовища контейнера. Це дозволяє наочно, проаналізувати динаміку поведінки кіберфізичної системи (рис. 2.5 Алгоритм функціонування кіберфізичної системи).

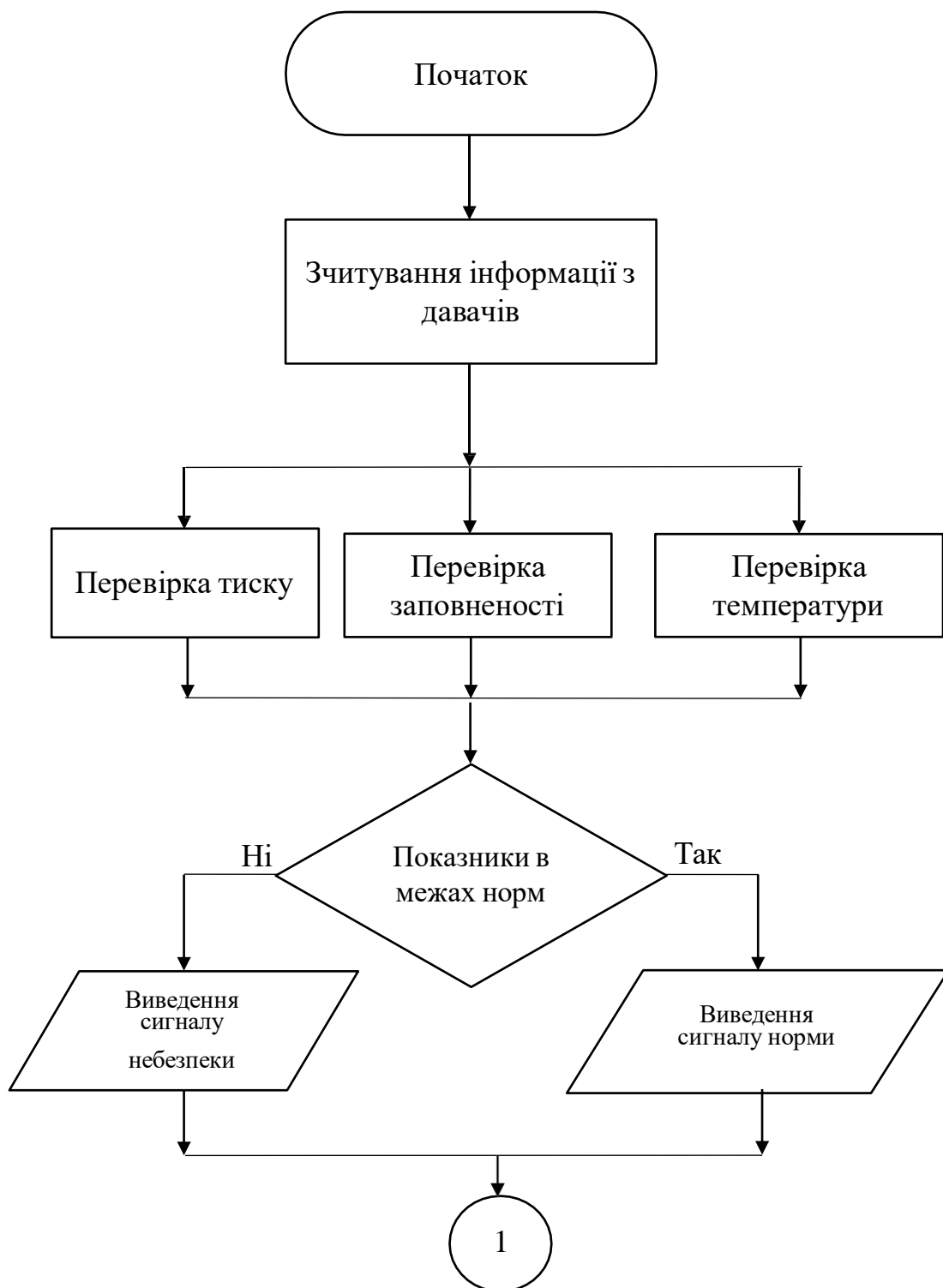
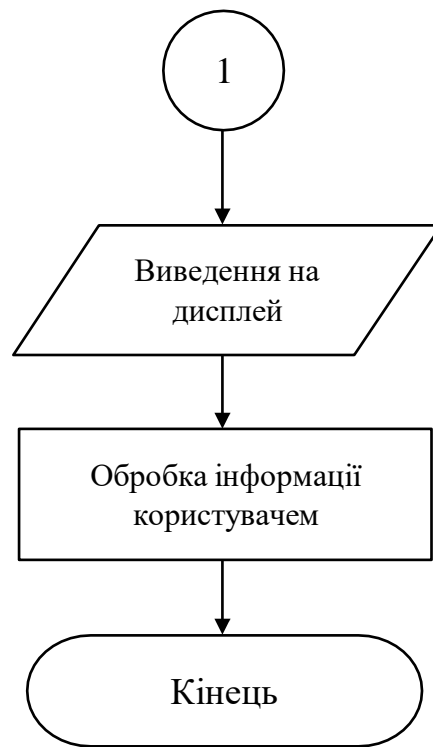


Рисунок 2.5 - Блок-схема алгоритму функціонування КФС



Кінець рисунка 2.5

На блок-схемі детально описано та візуалізовано роботу при певних сценаріях які можуть відбуватись при експлуатації створеної кіберфізичної системи.

2.5 Аналіз потенційних ризиків та обмежень при експлуатації кіберфізичних систем

Завдяки аналізу проведеному під час підготовки до кваліфікаційного завдання, було визначено, що сучасні системи не ідеальні [27]. Можуть бути системи в яких слабка кібербезпека, можуть бути з високою енергозатратністю або просто дорогі в виготовленні. Зокрема значна частина кіберфізичних систем використовує закриту архітектуру, що в подальшому сильно ускладнює їх адаптацію, ефективність та сильно збільшує вартість обслуговування.

Не потрібно виключати, що з часом такі системи удосконалюються та стають кращою версією себе. Тому за допомогою аналізу літератури на цю тему

було відібрано основні і найпопулярніші проблеми та можливі шляхи до вирішення цих проблем. (Табл. 2.3)

Таблиця 2.3 - Проблеми кіберфізичних систем

Категорія	Проблема	Наслідки	Вирішення
Апаратна	Вихід давачів з ладу	Некоректні або зовсім відсутні дані	Резервні давачі та регулярні техобслуговування
Апаратна	Неточність вимірювання	Некоректні або помилкові звіти	Калібрування сенсорів.
Апаратна	Перебої живлення	Зупинка системи	Використання резервного живлення
Програмна	Збої програмного забезпечення	Втрата даних	Обробка помилок (логів) або просто перезавантаження
Інформаційна безпека	Доступ ззовні	Крадіжка даних, спотворення даних	Шифрування, подвійна автентифікація
Експлуатаційна	Неправильно встановлена система	Гірша ефективність роботи	Навчання персоналу та робота по інструкції
Експлуатаційна	Неправильно встановлена система	Гірша ефективність роботи	Навчання персоналу та робота по інструкції

Кінець таблиці 2.3

Екологічна	Вплив температур, води та інших природних явищ	Пошкодження системи	Герметичні захисні корпуси
------------	--	---------------------	----------------------------

Усі розглянуті проблеми та способи їх вирішення показують, що архітектура кіберфізичних систем є складною і складається з абсолютно різних за своєю природою компонентів. Оскільки апаратний комплекс є інструментальною основою КФС, його функціональність, надійність, точність вимірювань та загальний експлуатаційний ресурс безпосередньо визначаються якістю проектування та рівнем урахування зовнішніх факторів ще на етапі розробки архітектурних рішень.

Звісно навіть ідеально спроектована кіберфізична система не зможе функціонувати добре без регулярного технічного огляду, який може допомогти вчасно виявити проблему й не допустити нових, за допомогою вчасної заміни старих компонентів. Хоча це і просто «залізо» проте і в нього є свій термін. Деталі зношуються, метал стирається. Тому так важливо регулярно перевіряти справність компонентів.

З огляду на це, комплексне врахування всієї сукупності потенційних деструктивних чинників, архітектурних нюансів та експлуатаційних ризиків функціонування кіберфізичних систем набуває критично важливого значення. Особливу актуальність цей підхід має безпосередньо на початкових етапах проектування та системного аналізу, оскільки саме на стадії розробки концептуальних моделей та алгоритмів існує можливість завчасно виявити й усунути більшість системних помилок, апаратних конфліктів чи програмних збоїв задовго до того, як вони деструктивно проявлять себе під час реальної експлуатації комплексу.

2.6 Аналіз провідних протоколів та інтерфейсів передачі даних у кіберфізичних системах

Ефективність, завадостійкість та загальна стабільність функціонування розроблюваної кіберфізичної системи моніторингу стану контейнерів безпосередньо залежна від надійності та пропускну здатності каналів зв'язку, які організовані між первинними вимірювальними перетворювачами та головним обчислювальним мікроконтролером. Оскільки проєктована система орієнтована на довгострокову експлуатацію в реальних промислових або польових умовах навколишнього середовища, на лінії зв'язку чинитиметься інтенсивний шкідливий вплив низки зовнішніх факторів. Основними серед таких факторів є потужні електромагнітні перешкоди та наведення від суміжних силових ліній або двигунів, суворі температурні зміни, які суттєво змінюють активний опір провідників, а також високі ризики апаратних збоїв чи механічної зношування контактних з'єднань через постійні вібраційні навантаження під час транспортування контейнерів. За таких обставин системна інтеграція та правильний вибір способу підключення модулів перетворюється на критично важливе інженерне завдання, від якого залежить життєздатність усієї системи.

Поряд із жорсткими вимогами до завадостійкості, архітектурна побудова апаратної частини системи обмежена фізичною архітектурою обраної обчислювальної платформи.

Найбільш критичним обмеженням тут виступає лімітована кількість ліній введення-виведення загального призначення на головній платі керування. Це змушує шукати такі інженерні рішення, які дозволять мінімізувати кількість задіяних фізичних контактів мікроконтролера, але водночас забезпечать високий потенціал для подальшого масштабування та модернізації системи, наприклад, у разі потреби підключення додаткових сенсорів без кардинальної зміни дизайну друкованої плати.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З метою оптимізації витрат кабельної продукції, спрощення монтажних робіт, зниження загальної вартості апаратної реалізації та гарантування надійної, безпомилкової передачі інформаційних пакетів виникає необхідність детального розгляду та системного аналізу сучасних послідовних інтерфейсів. Сучасні обчислювальні платформи, зокрема мікроконтролери сімейства Arduino та сумісні з ними архітектури, мають вбудовану апаратну підтримку кількох базових дротових протоколів.

Кожен із них володіє унікальним набором технічних характеристик, максимальну довжину лінії, швидкість трансляції даних та рівень стійкості до хибних змін корисного сигналу. Для ефективного вибору інтерфейсу, що найповніше відповідатиме специфіці кіберфізичної системи моніторингу, було проведено їхній комплексний порівняльний аналіз. Узагальнені результати цього дослідження, які базуються на критеріях швидкості, відстані, апаратної складності та завадостійкості (табл. 2.4 Аналіз провідних протоколів)

Таблиця 2.4 Аналіз провідних протоколів

Тип підключення	Завадостійкість	Максимальна дальність	Вартість реалізації
Мідний кабель	Низька	1-2м метра	Дуже низька
Екрановий кабель	Середня	5-10 метрів	Середня
Вита пара	Висока	50-100 метрів	Низька
Промисловий захищений	Дуже висока	500 і більше метрів	Висока

Аналіз показав, що для системи контролю сміття найкраще поєднати два типи дротів. Усередині самого блока керування відстані дуже малі, а ризик появи завад мінімальний, тому там використовуються звичайні гнучкі монтажні проводи. Вони мають тонку ізоляцію та легко паяються, що дозволяє компактно розмістити всі компоненти всередині захисного пластикового корпусу. А от для підключення датчиків температури, тиску та заповненості, які стоять далі від

плати або всередині бака, обрано кабель «вита пара». Таке рішення дозволяє подавати живлення і передавати цифрові сигнали від кількох сенсорів одночасно по одному тонкому кабелю. Оскільки дроти у витій парі переплетені між собою, кабель добре захищений від електричних завад. Це гарантує точну передачу даних від давачів і коштує зовсім недорого. Такий комбінований спосіб монтажу значно підвищує загальну надійність обладнання під час тривалої експлуатації на вулиці.

2.7 Висновки до другого розділу

Таким чином, у межах другого розділу було проведено роботу щодо теоретичного планування та визначення архітектури майбутньої кіберфізичної системи. Також було виявлено й проаналізовано основні проблеми та виклики, з якими стикалися інші інженери й проєктувальники у сфері інформаційних технологій.

З метою покращення кіберфізичної системи в розділі визначено основні підсистеми та обрано найкращі з них. Для покращення швидкості, автоматизації та надійності. Більш складні в реалізації та більші в ціні було відкинуто з метою економності, надійності та стабільності. Впровадження надлишкових модулів призвело б до непотрібного ускладнення архітектури системи від чого зросла б ціна та складність побудови та технічних робіт.

Сформований системний підхід до завдання дозволив не лише оптимізувати апаратну частину але і закласти міцний фундамент для розробки апаратної частини майбутньої кіберфізичної системи для моніторингу стану контейнерів для побутових відходів.

Матеріали розділу засвідчують, що найбільш доцільною є розробка лаконічної моделі кіберфізичної системи без надлишкових компонентів. Відсутність апаратної нагромадженості безпосередньо підвищує швидкодію, точність та загальну надійність її функціонування. Крім того, мінімізація елементної бази суттєво знижує собівартість рішення порівняно зі складними

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналогами, які містять велику кількість сенсорів. Перевантаження системи надмірними потоками даних часто призводить до затримок у їх передачі, перетворюючи моніторинг у реальному часі на аналіз застарілих логів, а також створює потребу в додаткових потужностях для зберігання інформації. Саме тому вектор проектування було спрямовано на принципи мінімалізму, надійності та економічної ефективності. Такий підхід дозволяє гарантувати повний контроль об'єкта, стабільну верифікацію та високу швидкість передачі телеметрії за мінімальних фінансових і технічних витрат.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ СТАНУ КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

3.1 Програмна реалізація та алгоритми функціонування системи

Для забезпечення стабільної роботи кіберфізичної системи було розроблено спеціалізоване програмне забезпечення на мові C. Основною задачею якого є циклічне опитування датчиків в режимі реального часу, що дозволяє системі миттєво реагувати на будь-які фізичні зміни параметрів об'єкта моніторингу. Логіка коду працює наступним чином:

1. Ініціалізація, налаштування пінів мікроконтролера на вхід та на вихід. Запуск шини I2C для дисплея, та встановлення зв'язку з цифровим датчиком температури DS18B20 з протоколом 1-Wire.

2. Збір даних, мікроконтролер послідовно зчитує аналогові значення з датчика тиску та цифрові сигнали з ультразвукового датчика відстані.

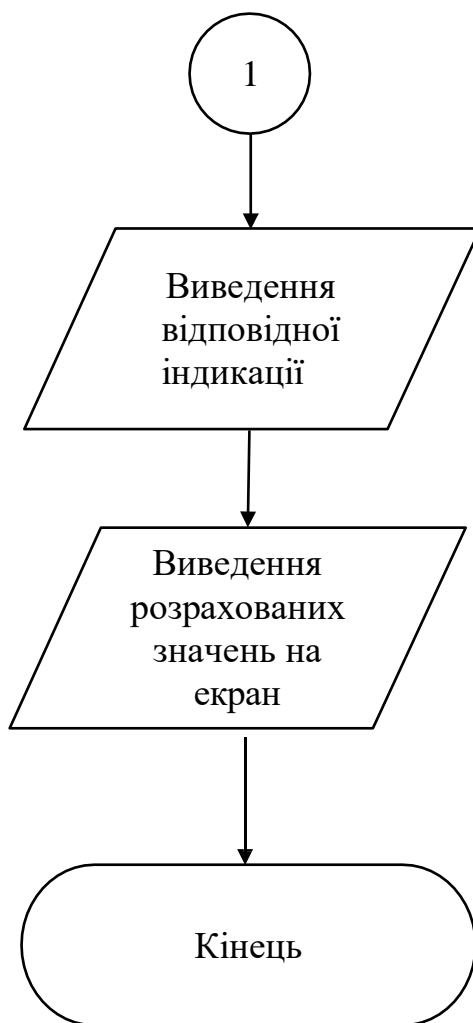
3. Обробка та фільтрація, отримані сирі дані (напруга або мілісекунди), перераховуються у фізичні величини: градуси, бари та відсотки заповненості контейнера.

4. Логічний контроль, програма порівнює отримані значення із заданими в коді константами безпеки, щоб в подальшому в залежності від результату, обрати колір індикації.

Візуалізація, оновлення інтерфейсу на OLED-дисплей. Виводиться номер контейнера та поточні показники [30], що забезпечує інформативність для персоналу.

З метою детальної візуалізації логічних процесів, архітектури та послідовності виконання операцій мікроконтролером, було створено блок-схему 3.1. Дана блок-схема є ключем для аналізу алгоритмів та складності системи. Також вона демонструє механізм роботи прийняття рішень про зміну індикації (Рисунок 3.1 Блок схема алгоритму роботи програмного коду).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Кінець рисунка 3.1

3.2 Моделювання та дослідження характеристик системи в середовищі Wokwi

Для попередньої перевірки розроблених алгоритмів і схем ми використали онлайн-платформу Wokwi [31]. Ми обрали цей симулятор, тому що він вміє дуже точно копіювати роботу плат Arduino та має великий вибір віртуальних деталей (давачів, дисплеїв тощо), які працюють так само, як і справжні. Основні плюси, завдяки яким Wokwi кращий за конкурентів, це:

1. Браузерна симуляція, програма дозволяє виконувати код безпосередньо в браузері, з максимальною наближеністю до реального часу.

2. Гнучке налаштування компонентів, окрім добре зрозумілого візуального редактора, Wokwi дозволяє редагувати файл в якому можна прописувати точні координати, кольори дротів, параметри резисторів.

3. Логічний аналізатор, інструмент який дозволяє знімати часові діаграми сигналів, що дозволяє візуально оцінити правильність передачі даних між давачами та контролером.

Завдяки наочній та точній візуалізації динаміки роботи світлодіодних індикаторів, матричних та символічних дисплеїв у середовищі емуляції, було детально оцінено логіку функціонування та часові діаграми найбільш енергоємних компонентів системи.

Завдяки цьому вдалося повністю оптимізувати програму роботи головного контролера. Зокрема, додано правильні затримки у кодї, налаштували швидкість оновлення інформації на екрані та перевели роботу світлодіодів у динамічний режим. Це дозволило сильно зменшити споживання струму всіма підключеними деталями. Крім того, такий підхід дав змогу точно відрегулювати яскравість та частоту блимання світлодіодів. Це допомогло прибрати різкі стрибки навантаження на лінії живлення мікроконтролера, які раніше виникали під час активного показу даних. Окремим важливим кроком під час перевірки став детальний аналіз того, як система реагує на зовнішні апаратні переривання від давачів.

Використання цього рішення на рівні архітектури гарантує, що мікроконтролер завжди чітко та миттєво відреагує на будь-які аварійні чи критичні ситуації в реальному часі. Це стосується таких подій, як різкий стрибок температури, небезпечний тиск або незаконне відкриття контейнера. При цьому реакція відбудеться одразу, незалежно від того, яку саме дію у цей момент виконує головний безкінечний цикл програми [32]. Завдяки обробникам переривань час очікування системи на зовнішні сигнали скоротився до кількох мікросекунд, що вкрай важливо для збереження працездатності всього пристрою. Водночас центральний процесор тепер не мусить постійно перевіряти

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

стан аварійних давачів по колу. Це звільнило його потужність для виконання головних завдань — обчислень, аналізу даних та фільтрації отриманих сигналів.

3.3 Мікроконтролер Arduino

Вибір платформи є визначальним етапом проектування, оскільки від її обчислювальної потужності та інтерфейсів залежить стабільність усієї системи [33]. В роботі буде використано платформу Arduino Uno (Рисунок 3.2), який базується на 8-бітному процесорі ATmega328P [34].

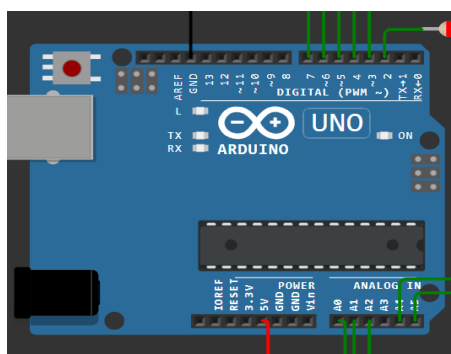


Рисунок 3.1 – Платформа Arduino

Обґрунтування використання даної платформи базується на її ключових характеристиках, які були перевірені під час моделювання в Wokwi [35].

- цифрові та аналогові інтерфейси, наявність 14 цифрових входів та 6 аналогових входів дозволяє підключати як виконавчі механізми, так і сенсори, до прикладу потенціометр;

- підтримка шини I2C, це було критично важливо для підключення OLED-дисплея. Виводи дозволили виводити дані, використовуючи лише 2 дроти;

- енергозалежна пам'ять, платформа дозволяє зберігати критично важливі налаштування, навіть після повного вимкнення;

- тактова частота 16МГц, даної потужності цілком достатньо для обробки сигналів у режимі реального часу та миттєвої реакції на зовнішні переривання.

Дивлячись на вище сказане, можна стверджувати, що вибір Arduino Uno як центрального керуючого модуля є найбільш раціональним для даного проекту.

Завдяки поєднанню високої надійності, простоти в програмуванні та повної сумісності з платформою Wokwi. Використання саме цього мікроконтролера забезпечує необхідну гнучкість системи, від віртуальної моделі з потенціометрами до реальної моделі з датчиками.

3.4 Створення в симуляторі моделі системи

Щоб наочно показати результати розробки, а також повністю перевірити та підтвердити на практиці всі висунуті раніше теоретичні ідеї, у хмарному середовищі Wokwi було створено повноцінну цифрову модель кіберфізичної системи. На відміну від звичайних математичних розрахунків, використання спеціалізованого симулятора Wokwi дозволило точно відтворити роботу всієї системи на рівні реальної взаємодії мікроконтролера з підключеними екранами, датчиками та виконавчими органами.

Це максимально наблизило віртуальний тест до умов тестування справжнього фізичного пристрою. Під час проектування структури цього пристрою виникло важливе науково-технічне завдання: потрібно було правильно та без помилок перенести створену раніше теоретичну й алгоритмічну модель із математичного середовища MATLAB/Simulink у цифровий симулятор апаратної частини.

Цей етап об'єднання різних програм та перенесення розробок став головним для створення всієї системи від початку і до кінця. Він дозволив перетворити абстрактні блоки керування та логічні елементи з моделі Simulink у справжній програмний код. Цей код був повністю адаптований та налаштований під особливості внутрішньої структури нашого мікроконтролера, що дозволило йому працювати максимально швидко і без збоїв.

Така послідовність розробки надала можливість здійснювати оперативне внесення правок, проводити стрес-тестування алгоритмів у реальному часі, а також виконувати глибокий аналіз логів для виявлення прихованих системних

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

проблем. Зокрема, у процесі симуляції було виявлено та усунуто низку критичних помилок, пов'язаних із таймінгами опитування давачів, конфліктами на шинах передачі даних під час одночасного звернення до кількох модулів, а також неточності в обробці граничних значень телеметричних параметрів.

Всі виявлені апаратні проблеми та програмні збої вдалося вчасно виявити й усунути безпосередньо на етапі моделювання пристрою на платформі Wokwi. Завдяки цьому вдалось оптимізувати робочий код, налагодити чітку взаємодію між усіма модулями й гарантувати стабільність системи до її збирання «в залізі». Це вберегло фізичні компоненти від випадкового пошкодження чи перевантаження під час перших запусків і зменшило загальні витрати на розробку. До того ж, попереднє тестування через комп'ютерну імітацію допомогло випустити готову й перевірену прошивку, що серйозно скоротило час на остаточну перевірку та запуск готового пристрою в зборі.

Замість справжніх давачів у моделі було використано потенціометри (регулятори), які дозволили перевірити роботу всієї системи в різних умовах — від звичайного стану спокою до критичної небезпеки [36].

Такий підхід дав змогу не просто дивитися на готові графіки, а напряму взаємодіяти з віртуальним обладнанням у режимі реального часу, швидко змінюючи показники прямо під час роботи програми. Завдяки цьому вдалось миттєво бачити, як програма реагує на постійні зміни рівня сміття в баку, внутрішнього тиску та температури. Така інтерактивна перевірка допомогла детально протестувати поведінку пристрою в екстремальних режимах роботи та переконатися, що система перемикається між ними без жодних затримок (Рисунок 3.3).

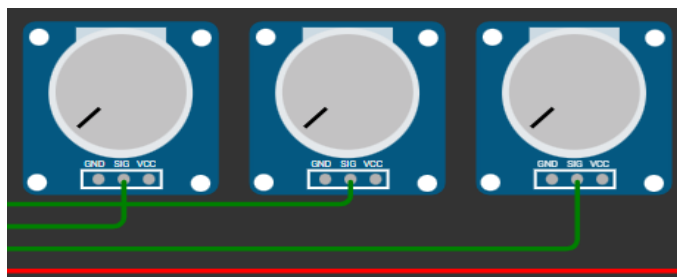


Рисунок 3.3 – Потенціометри

Для інтуїтивно зрозумілої індикації додатково було додано світлодіодні індикатори (рис. 3.3), які в реальному часі відповідають за показники які отримали з потенціометрів (рис.3.2). Світлодіодам було запрограмовано 3 стани які на інтуїтивному рівні можуть попередити про небезпеку. Кожен із цих станів відповідає певному рівню загрози або стабільності системи, змінюючи колірну схему залежно від поточних значень телеметрії. Такий підхід дозволяє оперативно оцінити експлуатаційну ситуацію навіть на значній відстані від самого об'єкта моніторингу. (табл 3.3)

Таблиця 3.3 Світлодіодні індикатори.

Зелений колір	Штатний колір який буде відображатись поки дні зібрані давачами не вийдуть за прописані в коді безпечні норми. Температура до 60 градусів. Тиск нижче 5 Бар. Заповненість контейнера до 90%
Жовтий колір	Колір який буде відображатись при потенційні небезпеці. Температура 60-69 градусів. Тиск 5-6 Бар. Заповненість контейнера 90%-99%
Червоний колір	Колір небезпечного стану. Температура 70+ градусів Тиск 7+ Бар Заповненість контейнера досягла 100%

З метою захисту світлодіодів було додано резистори в яких було виставлено опір в 220 Ом (Рисунок 3.4), що в свою чергу повністю імітує реальну систему [37].

Завершальним кроком роботи стало збирання всіх перерахованих деталей у єдину спільну схему всередині симулятора Wokwi (Рисунок 3.6 Система контролю стану контейнерів). Завдяки правильному налаштуванню зв'язків, вдалося повністю узгодити роботу потенціометрів, світлодіодних індикаторів та екрана під керівництвом одного головного коду програми.

Перевірка в симуляторі також довела, що обрана плата Arduino Uno без жодних проблем встигає одночасно обробляти показники з усіх трьох важливих напрямків (температури, тиску всередині та заповненості бака).

Правильне виведення тексту на екран та моментальне вмикання світлодіодів чітко показують, що створена комп'ютерна модель є повністю робочою і правильною.

Саме тому використання платформи Wokwi не просто позбавило потреби збирати схему зі справжніх деталей під час проєктування, а й допомогло зробити наочну, зрозумілу та готову до використання систему для перевірки стану сміттєвих контейнерів.

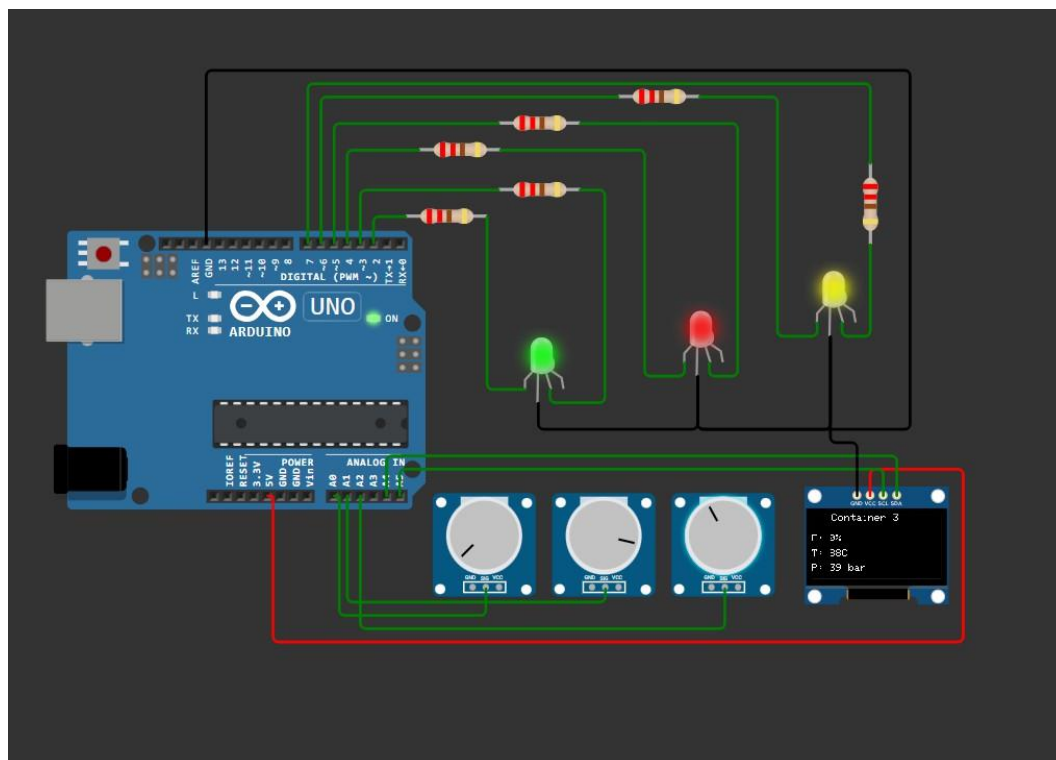


Рисунок 3.6 – Система контролю стану контейнерів

3.5 Обґрунтування та підбір компонентів для фізичної реалізації системи

Після успішної перевірки головного алгоритму керування, підтвердження правильності його роботи та виправлення всіх помилок у програмі всередині симулятора Wokwi, наступним важливим кроком розробки став точний вибір справжніх електронних деталей. Головне завдання цього розділу полягає в тому, щоб зробити правильний технічний перехід від віртуальних моделей у комп'ютері до реальних фізичних датчиків, електронних плат та інших робочих елементів пристрою.

Усі обрані компоненти повинні мати високу надійність, захист від електричних завад та стабільність у роботі, щоб без збоїв виконувати свої функції у важких умовах щоденного використання. Це включає стійкість до впливу вологи, бруду, постійних механічних вібрацій, а також різких змін температури на вулиці

У створеній раніше віртуальній моделі Wokwi, щоб значно полегшити перевірку робочого коду програми та швидко змінювати вхідні дані на ходу, використовувалися три звичайні регулятори-потенціометри. У комп'ютерному середовищі вони працювали замість реальних датчиків, створюючи змінну напругу (аналоговий сигнал) для головної плати, що дозволяло показувати будь-які коливання таких показників, як рівень сміття у баку, температура всередині чи тиск.

Подібний підхід був повністю правильним на етапі перших запусків програми, оскільки він дозволяв вручну подавати на аналогово-цифровий перетворювач мікроконтролера абсолютно всі можливі варіанти напруги від самого нуля до максимуму, і завдяки цьому перевіряти реакцію внутрішньої логіки коду на аварійні чи небезпечні ситуації.

Проте, для побудови робочого та практично придатного фізичного прототипу системи контролю за станом контейнера для твердих побутових відходів, використання звичайних потенціометрів є повністю неможливим. Вони

взагалі не здатні забезпечити автоматичне зчитування даних зі справжнього бака без постійної участі людини. Окрім потреби в ручному крутінні, такі механічні регулятори зовсім не захищені від води, пилу та іржі, які завжди присутні в місцях збору побутового сміття.

З огляду на це, для створення повноцінного фізичного пристрою, отримання високої точності вимірів та повної автоматизації збору інформації, пропонується замінити ці тимчасові елементи на спеціальні надійні технічні рішення. Вибір конкретних моделей відбувався шляхом оцінювання їхньої точності, споживання енергії, способів підключення та загальної вартості. Це дозволило підібрати датчі із надійним класом захисту корпусу від зовнішнього середовища (не нижче ніж IP65). Для збирання апаратної частини системи моніторингу пропонується обрати такий перелік складових:

1. Датч температур, пропонується використання цифрового датча DS18B20 (Рисунок 3.7 DS18B20). На відміну від аналогових терморезисторів, він передає дані по протоколу 1-Wire, що забезпечує високу надійність на великих відстанях. Точність вимірювання датча від 0.5 градусів, а діапазон до 125 градусів [39].



Рисунок 3.7 – Датч DS18B20 [40]

2. Датч тиску, для моніторингу тиску в системі, доцільно буде використовувати НК1100С (Рисунок 3.8 Датч НК1100С). Цей датч має лінійну залежність вихідної напруги від тиску (0.5В-4.5В), що ідеально відповіде логіці

обробки аналогового сигналу, яка була закладена при тестуванні потенціометра в Wokwi [41].



Рисунок 3.8 - Давач НК1100С [42]

3. Давач заповненості, для визначення рівня заповненості контейнера пропонується ультразвуковий давач відстані HC-SR04 (Рисунок 3.9 Давач HC-SR04). Принцип роботи давача, базується на вивірванні часу, протягом якого ехо-сигнал пройде від давача до поверхні контейнера, завдяки чому можна безконтактно вимірювати заповненість контейнера для побутових відходів [43].



Рисунок 3.9 – Давач HC-SR04 [44]

Окрім сенсорної мережі, критично важливу роль в архітектурі системи відіграють засоби візуалізації, індикації та оперативного моніторингу. Ці компоненти формують інтерфейс системи та взаємодію людина-машина. Що дозволяє персоналу не лише отримувати точні дані цифрові показники в режимі реального часу, але і візуально оцінювати стан об'єкта спостереження кіберфізичної системи. Основними завданнями підсистеми візуалізації є

безперервний моніторинг, діагностика, інтуїтивне сповіщення та контроль цілості.

4. Як головний обчислювальний центр та апаратну основу для нашої системи пропонується залишити налагоджувальну плату Arduino Uno, загальний вигляд якої показано на рисунку 3.10 (Рисунок 3.10 — Arduino Uno). Ця платформа побудована на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega328P з архітектурою AVR, який працює на тактовій частоті 16 МГц.

Такої частоти цілком достатньо для створення локальних пристроїв контролю стану об'єктів. Детальна перевірка швидкості роботи програми та складності її алгоритмів підтверджує, що наявної потужності цього процесора повністю вистачає для одночасного виконання всіх запланованих завдань пристрою.

Застосування цієї плати також дозволяє значно полегшити процес розробки, оскільки для неї існує велика кількість готових відкритих бібліотек та велика спільнота інженерів, що суттєво прискорює написання і перевірку програмного коду для роботи з датчиками. Крім того, мале споживання енергії чіпом ATmega328P у спеціальних режимах сну дає чудову можливість налаштувати тривалу автономну роботу всього вимірювального пристрою від звичайних акумуляторів.

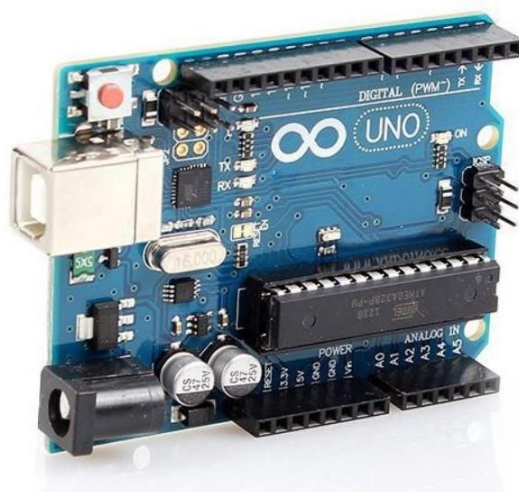


Рисунок 3.10 – Arduino Uno [45]

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Як основний екран для показу поточної технічної інформації прямо на корпусі пристрою, було обрано компактний графічний OLED-дисплей, який підключається через послідовну шину I2C (його детально показано на Рисунку 3.11 "OLED-дисплей"). Головними робочими плюсами цього модуля є те, що він споживає дуже мало електроенергії, а також забезпечує чудову чіткість і високу контрастність виведеного тексту[46].

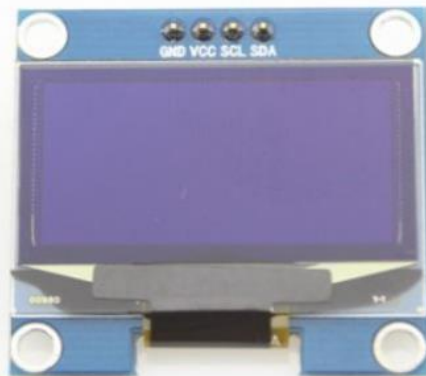


Рисунок 3.11 – OLED-дисплей [47]

6. Світлодіодні індикатори, для візуального сповіщення про стан системи, використані світлодіоди RGB LED катод (Рисунок 3.12). Світлодіоди які можуть запропонувати всі необхідні для індикації кольори (зелений, червоний, жовтий) [48].



Рисунок 3.12 – Світлодіод [49]

7. Захист світлодіодів: для безпечної роботи індикаторів обов'язково потрібно підключити резистори з опором 220 Ом. Це забезпечить стабільну роботу напівпровідників при напрузі 5В та захистить виходи мікроконтролера від перегріву чи перевантаження. Саме тому детальний огляд сучасного ринку електронних компонентів, виконаний для пошуку реальних деталей пристрою, повністю довів сумісність створеної програми та алгоритмів керування з доступним у продажу обладнанням. Процес повного переходу від комп'ютерних моделей у симуляторі до справжніх фізичних давачів промислового типу не вимагає жодних серйозних змін у готовій структурі пристрою чи перероблення написаного коду.

Цей факт чітко доводить високу гнучкість, простоту налаштування та можливість подальшого розширення запропонованої розробки, що дуже важливо для успішного випуску пристрою на виробництві.

Зокрема, такий підхід та використання стандартних способів передачі інформації дозволяють виконувати заміну, ремонт або налаштування окремих частин системи контролю без потреби повністю вимикати чи перезавантажувати весь вимірювальний пристрій. Це стає можливим завдяки чіткому дотриманню блочного принципу розробки, а також застосуванню однакових гнізд, стандартних роз'ємів та звичних дротів зв'язку..

3.6 Специфікація обладнання та розрахунок вартості апаратної частини системи

Для переходу від етапу проектування до практичної реалізації було складено повну специфікацію необхідного обладнання. Вибір конкретних моделей базувався на результатах моделювання, де й було визначено необхідну кількість портів введення-виведення та типи сигналів [50]. У таблиці (табл. 3.1 Ринкова вартість комплектуючих) наведено перелік комплектуючих, їх призначення та орієнтовну ринкову вартість станом на 2026 рік.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Таблиця 3.1 Ринкова вартість комплектуючих.

Назва компонента	Модель	Кількість	Середня ціна
Мікроконтролер	Arduino Uno R3	1	320 грн
Графічний дисплей	OLED 0.96" I2C (128x64)	1	150 грн
Давач температури	DS18B20 (герметичний цифровий зонд)	1	125 грн
Давач тиску	HK1100C (промисловий, аналоговий)	1	420 грн
Давач заповненості	HC-SR04 (ультразвуковий модуль контролю)	1	50 грн
Світлодіод	5мм RGB LED-світлодіод (катод)	3	7 грн
Резистор	220 Ом	6	1 грн
Монтажні елементи	Набір дротів та макетна плата	1	150 грн

Виходячи з даних (табл. 3.1 Ринкова вартість комплектуючих) повна вартість системи на 2026 рік становить лише 1242 грн. Незначне зростання вартості порівняно з останніми роками, зумовлено логістичними витратами та оновленням лінійок давачів.

						КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Варто відзначити, що значну частку загального бюджету апаратної частини займає промисловий давач тиску НК1100С. Проте такі фінансові витрати є повністю виправданими, оскільки цей сенсор забезпечує високу точність вимірювань та стабільність роботи в суворих умовах промислової експлуатації. Оскільки цей мікроконтролер уже має на борту всі необхідні роз'єми та інтерфейси для швидкого монтажу компонентів, це дозволяє реалізувати програмно-апаратний комплекс без зайвих витрат часу та додаткових фінансових вкладень

3.7 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було повністю розроблено та перевірено на практиці роботу системи моніторингу стану контейнерів для сміття. На основі проведених тестів вдалося написати робочу програму мовою С, яка постійно опитує всі підключені пристрої в режимі реального часу. Написаний код збирає дані, самостійно очищає їх від випадкових шумів чи завад, перераховує отримані значення у звичні фізичні величини (градуси Цельсія, бари та відсотки), а також суворо стежить за безпекою контейнера через швидкий механізм апаратних переривань. Для попередньої перевірки створеної схеми та логіки коду було використано зручний онлайн-симулятор Wokwi. Це дозволило наочно налаштувати правильну взаємодію плати Arduino Uno з OLED-дисплеєм та сигнальними світлодіодами, а головне переконатися у повній відсутності помилок або зависань у програмі ще до моменту збірки реального пристрою «в залізі». Коли справа дійшла до підбору деталей для справжньої фізичної моделі, замість віртуальних регуляторів-потенціометрів було обрано конкретні надійні прилади. Взяти давач температури DS18B20, давач тиску НК1100С та ультразвуковий модуль HC-SR04 для вимірювання рівня сміття. Усі ці компоненти чудово підійшли до вже створеної програми та схеми без жодної зміни її внутрішньої структури, що на практиці доводить гнучкість і розширюваність розробленого інженерного

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

рішення. На самому наприкінці роботи було складено чіткий список усього необхідного обладнання та детально пораховано його загальну ринкову вартість на 2026 рік, яка вийшла зовсім невеликою і склала всього 1242 грн. Така низька ціна повністю підтверджує, що пристрій є дуже дешевим у виробництві, швидко окупиться і буде фінансово вигідним для масового використання у житлово-комунальному господарстві нашого міста.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу – розробку та дослідження кіберфізичної системи (КФС) для моніторингу стану контейнерів для збору небезпечних побутових відходів (акумулятори, лампи). Отримані результати дозволяють автоматизувати та оптимізувати процес збору даних, логістики та підвищити безпеку та знизити експлуатаційні витрати.

За допомогою результатів дослідження було сформовано наступні висновки:

1. Встановлено, що відсутність контролю контейнерів для побутових відходів призводить до забруднення навколишнього середовища та неефективного використання техніки та самих контейнерів. Визначено, що впровадження кіберфізичної системи є найбільш перспективним та ефективним шляхом вирішення цих проблем. Завдяки інтеграції фізичних процесів із цифровим середовищем обробки даних.

2. На основі системного аналізу визначено ключові підсистеми (сенсорну, обчислювальну та комунікаційну). Розроблено структурну схему, що забезпечує збір даних про рівень заповнення контейнера в режимі реального часу. За допомогою середовища Simulink було проведено попереднє моделювання функціоналу системи, що підтвердило правильність обраної логіки керування.

3. Проведені розрахунки дозволили оптимізувати параметри спрацювання давачів та визначити критичні показники. Завдяки чому система може залишатись стабільною в динамічному режимі зміни середовища.

4. Розроблено алгоритм роботи програмного забезпечення, який базується на циклічному опитуванні давачів.

5. Зібрано віртуальну модель системи в середовищі Wokwi.

6. Сформовано специфікацію обладнання та підраховано повну вартість апаратної частини системи в випадку серійного або одиничного виготовлення.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати проведеної роботи підтверджують, що спроектована кіберфізична система є завершеним технічним рішенням яке є простим в використанні та легко інтегрується завдяки модульній системі.

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. Cyber-physical systems: the next computing revolution. *Design Automation Conference*. 2010. P. 731-736.
2. Гостьова лекція «Кіберфізичні системи-принципи та застосування». Кафедра радіотехніки та інформаційної безпеки ЧНУ. 2021. URL: <https://radiotech.chnu.edu.ua/novyny/kafedra/hostova-lektsiia-kiberfizychni-systemy-pryntsypu-ta-zastosuvannia/> (дата звернення: 14.05.2026).
3. Alguliyev R. M., Imamverdiyev Y. N., Sukhostat L. V. Cyber-physical systems and their security issues. *Computers in Industry*. 2017. Vol. 86. P. 16-23.
4. Невлюдов І. Ш., Боцман І. В., Євсєєв В. В. Research of DIKW and 5C architectural models for creation of cyber-physical production systems within the concept of industry 4.0. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2018. № 3 (5). С. 75-81. URL: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/74b2cb05-5fe4-4eea-ae73-edbab7b86b60> (дата звернення: 13.05.2026).
5. Jiang J.-R. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 10, No 6. P. 1-15. URL: <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814018784192> (дата звернення: 13.05.2026).
6. Hu S., Yu B., Hu R., Gupta R., Li X. Design Automation of Cyber-Physical Systems: Challenges, Advances, and Opportunities. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. 2016. Vol. 35, No. 11. P. 1754–1767.
7. Мейтус В. Ю., Морозова Г. І., Таран Л. Ю., Козлова В. П., Майданюк Н. В. Інтелектуальні системи управління: проблеми створення та розвитку. 2020. № 4. С. 14–29. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/47f2177b-d23f-45a3-a441-3f7cfce7ce8c/content> (дата звернення: 25.05.2026)
8. Hartono N., Putra S. R. S., Putri R. A. S., Alamsyah M. F. Cyber-physical System Enabled in Sustainable Waste Management 4.0 : A Smart Waste Collection

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

System for Indonesian Semi-Urban Cities. *Procedia Manufacturing*. 2020. Vol. 43. P. 534-541.

9. Cyber Security for Cyber Physical Systems / ed.: S. Ali, M. Qaraqe, E. Serpedin, M. Ziedan. Cham : Springer International Publishing, 2018. 284 p.

10. A Review of Current Research Trends in Power-Electronic Innovations in Cyber-Physical Systems / S. K. Mazumder [et al.] // *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. 2021. Vol. 9, no. 1. P. 5-32. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9324816> (дата звернення: 15.05.2026).

11. Cyber-Physical Systems Security / S. Bhunia et al. (Eds.). Cham : Springer International Publishing, 2018. 320 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-75880-0> (дата звернення: 15.05.2026).

12. Shafique M., Arif S., Hafiz M., Luo T., Venkataramani S., Henkel J. Secure Cyber-Physical Systems: Current trends, tools and open research problems. *2017 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*. Lausanne, 2017. P. 1490–1495.

13. Shittu N., Williams O., Williams J. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*. 2021. Vol. 120. P. 140-163.

14. Переробка сміття в Україні. *KONSORT: конвеєрні системи*. URL: <https://konsort.com.ua/pererobka-smittya-v-ukrayini/> (дата звернення: 15.05.2026).

15. Vaverková M. D., Radziemska M., Bartoňová A. [et al.] Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, № 6. P. 1060. URL: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/6/1060> (дата звернення: 15.05.2026).

16. Polat S., Tinsley G. J., Istepanian R. S. H. Cybersecurity: A System-Theoretic Approach to Identify Cyber-Vulnerabilities and Mitigation Requirements in Industrial Control Systems. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 91702–91711. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9472911> (дата звернення: 15.05.2026).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

17. Toso L., Casson Moreno V., Landucci G. Identification of cyber-risks for the control and safety instrumented systems: a synergic framework for the process industry. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. Vol. 172. P. 579–598.
18. Guariniello C. System-of-systems tools and techniques for the analysis of cyber-physical systems. *Systems Engineering*. 2020. Vol. 23, Iss. 6. P. 671-683.
19. Xia Lu, Yangmin Cao, Shiyun Xie, Sadao Kawamura. A comprehensive overview of cyber-physical systems: from perspective of feedback system. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2015. Vol. 2, No. 4. P. 337-353.
20. Kusmenko E., Rumpe B., Schmalzing S. Modeling Architectures of Cyber-Physical Systems. *Cyber-Physical Systems: A Computational Perspective* / ed. S. Bhattacharyya, P. Dutta, S. De. Cham : Springer, 2018. P. 79–110.
21. Schmalzing B., Steinhorst S., Lukasiewicz M. A Simulation-Based Architecture for Smart Cyber-Physical Systems. *IEEE Embedded Systems Letters*. 2016. Vol. 8, no. 4. P. 77–80.
22. Klee H., Allen R. Simulation of Dynamic Systems with MATLAB and Simulink. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2017. 810 p.
23. Eichmann B., Nigischer C., Zelewski S. Development of functional architectures for cyber-physical systems using interconnectable models. *Systems Engineering*. 2024. Vol. 27, Iss. 4. P. 550-573.
24. Ismail M. G. M. U., Silva M. T. S., Silva G. L. T. S., Rathnayaka A. J. D. Wireless sensor network simulation frameworks: A tutorial review: MATLAB/Simulink bests the rest. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. 2016. Vol. 58, № 2. P. 116-123.
25. Kiruba V., Sathya S. Analysis on soft sensor design in Simulink. *2016 2nd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR)*. Hong Kong, China, 2016. P. 417-422.
26. Menghi C., Nejati S., Gaaloul K., Briand L. C. Evaluating model testing and model checking for finding requirements violations in Simulink models. *Proceedings*

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

of the 27th ACM Joint Meeting on European Software Engineering Conference and Symposium on the Foundations of Software Engineering. 2019. P. 421–431.

27. Alguliyev R. M., Sukhostat L. V. Cyber-physical systems : Analyses, challenges and possible solutions. *Internet of Things*. 2021. Vol. 15. Art. 100005.

28. Kaburlasos V. G., Pachidis T., Vrochidou E., Papakostas G. A. Lattice Computing: A Mathematical Modelling Paradigm for Cyber-Physical System Applications. *Mathematics*. 2022. Vol. 10, No. 2. P. 271.

29. Wang Y., Zhang H., Wang J., Liu S. A Resilience Quantitative Assessment Framework for Cyber-Physical Systems : Mathematical Modeling and Simulation. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, No 15. P. 8285. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/15/8285> (дата звернення: 15.05.2026).

30. Broy M. et al. Cyber-physical systems challenges: a needs analysis for collaborating embedded software systems. *Software and Systems Modeling*. 2016. Vol. 15(3). P. 643-653.

31. Using WOKWI Simulator to Support Engineering Student Learning in Microcontrollers and Sensors. *IEEE Xplore*. 2024. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10721553> (дата звернення: 21.05.2026).

32. Utilization of Wokwi Simulation Application in Supporting Internet of Things Learning (IoT). *2023 International Conference on Computer Science, Information Technology and Engineering (ICCoSITE)*. Jakarta, 2023. P. 660–664.

33. Ismailov A. Study of arduino microcontroller board. *ResearchGate*. 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/359502443_Study_of_arduino_microcontroller_board (дата звернення: 21.05.2026).

34. ARDUINO-UNO Datasheet. *AllDatasheet*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1943445/ARDUINO/ARDUINO-UNO.html> (дата звернення: 21.05.2026).

35. UNO R3 Hardware Guide / *Arduino Docs*. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/> (дата звернення: 21.05.2026).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

36. Analog Read Serial / *Arduino Docs*. URL: <https://docs.arduino.cc/built-in-examples/basics/AnalogReadSerial/> (дата звернення: 21.05.2026).
37. Blink / *Arduino Docs*. URL: <https://docs.arduino.cc/built-in-examples/basics/Blink/> (дата звернення: 21.05.2026).
38. Liquid Crystal Displays (LCD) with Arduino / *Arduino Docs*. URL: <https://docs.arduino.cc/learn/electronics/lcd-displays/> (дата звернення: 21.05.2026).
39. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer Datasheet. *AllDatasheet*. URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ds18b20> (дата звернення: 21.05.2026).
40. Давач температури DS18B20 з кабелем 1м (2 line режим не підтримується). *РДС Компоненти*. URL: https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/datchyk-temperature-ds18b20-z-kabelem-1m-2-line-rezhym-ne-pidtrymuietsia_113610.html (дата звернення: 21.05.2026).
41. HK1100 Series Pressure Sensor Datasheet. *AllDatasheet*. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2293720/IMO/HK11.html> (дата звернення: 21.05.2026).
42. HK1100C Pressure Sensor Transmitter Transducer. *Amazon*. URL: <https://www.amazon.in/HK1100C-Pressure-Transmitter-Transducer-DC0-54-5V/dp/B08QV9PRF9> (дата звернення: 21.05.2026).
43. HC-SR04 Ultrasonic Distance Sensor Datasheet. *AllDatasheet*. URL: <https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Hcsr04> (дата звернення: 21.05.2026).
44. Давач тиску води, повітря, газу, мастила 5V G1/4 0-1.2 МПа (12 Bar) (HK1100C). *Rozetka*. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/349459305/p349459305/> (дата звернення: 21.05.2026).
45. Давач ультразвуковий HC-SR04 для Arduino. *Rozetka*. URL: <https://rozetka.com.ua/ua/312380437/p312380437/> (дата звернення: 21.05.2026).

					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

46. SSD1306 Dot Matrix OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller Datasheet / Solomon Systech. 2008. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf> (дата звернення: 21.05.2026).

47. OLED I2C 0.96" 128x64 графічний дисплей білий. *Mini-Tech*. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/oled-i2c-0-96-128x64-graficheskij-displej> (дата звернення: 21.05.2026).

48. RGB LED Pinout, Configuration, Circuit & Datasheet. *Components101*. 2017. URL: <https://components101.com/diodes/rgb-led-pinout-configuration-circuit-datasheet> (дата звернення: 21.05.2026).

49. 5mm Diffused RGB LED Common Cathode. *eBay*. URL: <https://www.ebay.com/itm/172236400730> (дата звернення: 21.05.2026).

50. Козик В. В., Панченко О. В. Економічне обґрунтування інженерних рішень та інноваційних проєктів : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2021. 244 с.

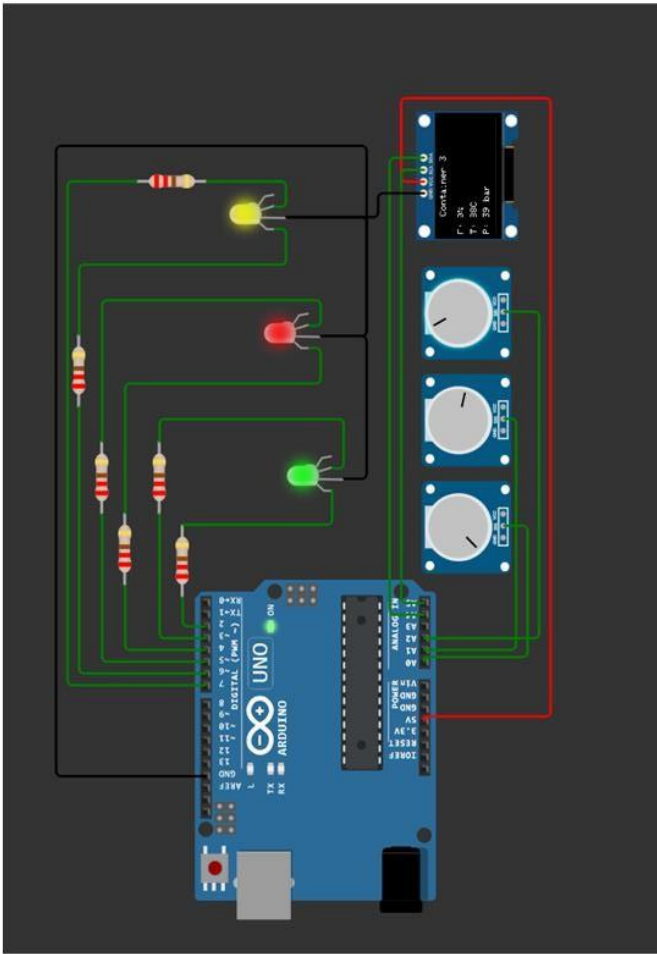
					КВРКІ. 022089.22.03.74ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Додаток А (обов'язковий)

Копія креслення «Проект кіберфізичної системи в середовищі Wokwi»

КарРКІ.22089.22.03.73 ПЗ

Проект кіберфізичної системи в середовищі Wokwi



КарРКІ.22089.22.03.73 ПЗ	
Проекти кіберфізичної системи в середовищі Wokwi	Лист: 1 Дата: 2022.03.13
МФ: ХНУ «Київський національний університет імені Шевченка»	Місце: ДПЗ
Перевір: Іванчук С.Г.	Архив: 1
ПКонтр: Козак Т.М.	Архив: 3
Затв.:	ХНУ КІ-22-3
Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів	

Додаток В (обов'язковий)

Копія креслення «Алгоритми системи»

Блок-схема алгоритму функціонування КФС

Блок-схема алгоритму роботи програмного коду

КвРКІ.22089.22.03.73 ПЗ		Лист	Маса	Кількість
КвРКІ.22089.22.03.73 ПЗ		Алгоритми системи		
Ім'я	Адреса	Місце	Дата	
Виконав	Зачекав	Діагност	Діагност	
Перевірив	Відомості	С.Г.	С.Г.	
Т.Конкр.	Відомості	С.Г.	С.Г.	
Діагност	Відомості	С.Г.	С.Г.	
Діагност	Відомості	С.Г.	С.Г.	
				ХНУ КІТ-22-3
				Київська система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних відходів

Додаток Г
(обов'язковий)
Лістинг коду

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

Adafruit_SSD1306 oled(128, 64, &Wire, -1);

const int redPress = 6;
const int greenPress = 7;

void setup() {
  pinMode(2, OUTPUT); pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT); pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(redPress, OUTPUT); pinMode(greenPress, OUTPUT);

  if(oled.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    oled.clearDisplay();
    oled.setTextColor(WHITE);
  }
}

void loop() {
  int level = map(analogRead(A0), 0, 1023, 0, 100);
  int temp = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 100);
  int press = map(analogRead(A2), 0, 1023, 0, 10);

  handleLEDs(level, 2, 3, 100, 90);
  handleLEDs(temp, 4, 5, 70, 60);
  handleLEDs(press, redPress, greenPress, 7, 5);

  oled.clearDisplay();
}
```

```

oled.setTextSize(1);
oled.setCursor(20, 0); oled.print("Container 3");

oled.setCursor(0, 20); oled.print("F: "); oled.print(level);
oled.print("%");
oled.setCursor(0, 35); oled.print("T: "); oled.print(temp);
oled.print("C");
oled.setCursor(0, 50); oled.print("P: "); oled.print(press);
oled.print(" bar");

oled.display();
delay(100);
}

void handleLEDs(int val, int r, int g, int crit, int warn) {
  if (val >= crit) {
    digitalWrite(r, HIGH);
    digitalWrite(g, LOW);
  }
  else if (val >= warn) {
    digitalWrite(r, HIGH);
    digitalWrite(g, HIGH);
  }
  else {
    digitalWrite(r, LOW);
    digitalWrite(g, HIGH);
  }
}

```

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: 13%

ID: 273035 Назва: БКР Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів Додано в БД: 2026-06-01 Автора: Дмитро СМАКУЛА Керівники: Єлизавета ГНАТЧУК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	61528	504	2752 (4%)	38 (8%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

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: Дмитро СМАКУЛА

Співавтор:

Назва: Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Експерт: Єлизавета ГНАТЧУК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 5.41%

Коефіцієнт подібності 2: 1.95%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-02 02:36:43.0

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:

2026-06-02

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Автор Дмитро СМАКУЛА

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: д.т.н., професор Єлизавета ГНАТЧУК

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, розміщені 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 розміщені 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 5,41% та системою Anti-Plagiarism складає 1,95%, 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

Єлизавета ГНАТЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Смакула Дмитро Русланович

Тема: Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 75

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування, реалізація та тестування апаратно-програмного комплексу моніторингу, передавання, оброблення й візуалізації даних з давачів у реальному часі.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі проведено аналіз предметної області та сучасних підходів до побудови КФС на базі моделі 5С. Встановлено, що інтеграція автоматичного моніторингу та захисту інформації мінімізує техногенні ризики при зборі небезпечних відходів. В другому розділі виконано декомпозицію системи на підсистеми та досліджено їх логіку. Завдяки модельно-орієнтованому проектуванню в середовищі Simulink (MatLab), технічно обґрунтовано архітектуру даних та змодельовано три стани функціонування комплексу. В третьому розділі виконано програмно-апаратну реалізацію мікроконтролера та верифікацію системи в симуляторі Wokwi. Авторський алгоритм мовою C забезпечив комплексну інтеграцію сенсорного обладнання, стабільне зчитування, фільтрацію шумів та локальну OLED-візуалізацію критичних параметрів середовища у реальному часі.

4. Позитивні сторони роботи:

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

7. Відгук про роботу в цілому:

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи:

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

Бєдросова Леонід Петрович, зав.каф'др, МГУ

“ ” _____ 2026 р.

 (підпис)

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Смакула Дмитро Русланович на захист кваліфікаційної роботи
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 123 - Комп'ютерна інженерія

На тему: Кіберфізична система контролю за станом контейнерів для збору небезпечних побутових відходів

Кваліфікаційна робота, рецензія і довідка про перевірку на академічні запозичення додаються.

В.О. Декан факультету



Сергій Мисенко
(ім'я, прізвище)

Смакула Д.Р. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 7,41 %, добре 29,63 %, задовільно 62,96 %.

шкалою ЄКТС: А 7,41 %, В 3,70 %, С 25,93 %, D 25,93 %, E 37,04 %.

Методист факультету

Михайло
(підпис)

Тетяна Кошечко
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Смакула Дмитро Русланович виконав дипломну роботу на добротному професійно-технічному рівні та заслуговує оцінку задовільно

Оцінка кваліфікаційної роботи задовільно (72)

Керівник кваліфікаційної роботи

Елизавета Гнатчук
(підпис)

Елизавета ГНАТЧУК
(ім'я, прізвище)

" 4 " 06 2026 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент Смакула Д.Р. допускається до її захисту на екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

М
(назва)

О. Павлова
(підпис, ім'я, прізвище)

О. Павлова
(підпис, ім'я, прізвище)

" 0 " 06 2026 р.

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Смакула ДМИТРО

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ-2-22-3

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