

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266
Назва теми

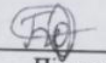
КвРКІ 210241.21.02.13 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-21-2


Підпис

Олександр БУНЯК
Ініціали, прізвище

Керівник

Підпис, дата

Дмитро МЕДЗАТИЙ
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ


Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.



ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Олександр БУНЯКУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266

Керівник проекту (роботи) Дмитро МЕДЗАТИЙ, к.т.н., доцент

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Аналіз предметної області та постановка задачі

Проектування та реалізація системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів

Програмна реалізація та дослідження роботи системи

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

Електрично-принципова _____ схема _____ мікроконтролерної _____ системи

Загальна структурна схема та блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів

Топологія друкованої плати та 3D-вигляд

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконав
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконав
3	Робота над розділом 1 – Аналіз предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконав
4	Робота над розділом 2 – проектування та реалізація системи моніторингу заповнення сміттевих контейнерів	01.04.2025	виконав
5	Робота над розділом 3 – програмна реалізація та дослідження роботи системи	29.04.2025	виконав
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконав
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконав
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Олександр БУНЯК
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Дмитро МЕДЗАТИЙ
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266».

Автор роботи: Олександр Буняк.

Керівник роботи: Медзятий Дмитро Миколайович.

Пояснювальна записка: 64 с., 19 рис., 5 табл., 4 дод., 47 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ДАТЧИК, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ESP8266, МОБІЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ, БАЗА ДАНИХ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи, здатної здійснювати автоматизований контроль за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів із використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266, для підвищення ефективності збору твердих побутових відходів.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання та передавання даних про заповненість контейнерів за допомогою вбудованих сенсорних елементів.

Предметом дослідження є методи реалізації та оптимізації взаємодії між апаратними та програмними модулями системи контролю, зокрема модулем зчитування даних, передачею інформації через мережу Wi-Fi, а також обробкою та візуалізацією показників у мобільному застосунку.

Під час дослідження було використано метод систематичного аналізу джерел з тематики Інтернету речей (IoT), побудови розподілених сенсорних мереж, а також сучасних підходів до реалізації систем смарт-міста для аналізу та побудови ефективної архітектури запропонованого рішення.






Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	5
1.1 Проблематика поводження з побутовими відходами.....	5
1.2 Аналіз існуючих рішень та технологій моніторингу заповнення контейнерів	8
1.3 Аналіз та обґрунтування вибору апаратної платформи	13
1.4 Постановка задачі	18
1.5 Висновки до розділу 1	19
2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПОВНЕННЯ СМІТТЄВИХ КОНТЕЙНЕРІВ	21
2.1 Загальна структурна схема системи	21
2.2 Функціональне призначення основних елементів системи.....	23
2.3 Вибір апаратних компонентів системи	25
2.3.1 Мікроконтролер ESP8266.....	25
2.3.2 Датчик відстані HC-SR04.....	27
2.4 Модуль індикації I2C LCD 16x2	28
2.4 Програмні засоби розробки.....	30
2.4.1 Arduino IDE	31
2.4.2 Wokwi Simulator.....	32
2.4.3 EasyEDA.....	33
2.4.4 Blynk IoT	34
2.5 Розробка електричної принципової схеми системи.....	35
2.6 Розробка топології друкованої плати	37
2.7 Розрахунок енергоспоживання та автономності.....	39
2.8 Висновки до розділу 2	42

КвРКІ 210241.21.02.13 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266	Літера	Аркшп	Аркшнів
Виконав		Олександр БУНЯК				у		2
Перевір.		Дмитро Медзатий						
Н.контр.		Тетяна КИСЛІТЬ		2022.02.21				
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		2022.02.21				
						ХНУ КІ2-21-2		

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ	44
3.1 Розробка алгоритму роботи системи	44
3.2 Попереднє моделювання системи в середовищі Wokwi.....	47
3.3 Програмна реалізація системи на мові програмування Arduino (C++). ..	49
3.4 Збір та передача даних до веб-сервісу/платформи	52
3.5. Результати тестування системи в реальних або змодельованих умовах	55
3.6. Оцінка ефективності та переваг системи.....	57
3.7. Висновки до розділу 3	59
ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	63
ДОДАТОК А	68
ДОДАТОК Б	69
ДОДАТОК В	70
ДОДАТОК Г	71

ВСТУП

Сучасні міста стикаються з проблемою ефективного управління твердими побутовими відходами, що призводить до перевантаження сміттєвих контейнерів, забруднення довкілля та нераціонального використання ресурсів. Традиційні методи вивезення сміття базуються на фіксованих графіках, що не завжди враховують фактичний рівень заповнення контейнерів, що, у свою чергу, спричиняє як перевитрати на логістику, так і можливі санітарні проблеми.

Автоматизовані системи моніторингу заповненості сміттєвих контейнерів здатні значно підвищити ефективність збору відходів. Вони дозволяють оптимізувати маршрути сміттєвозів, зменшити витрати на паливо, знизити рівень викидів CO₂ та покращити загальну екологічну ситуацію в містах.

Метою даної роботи є розробка та впровадження системи автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів на основі ультразвукових датчиків і мікроконтролера ESP8266. Система передбачає вимірювання рівня заповнення контейнерів у режимі реального часу та передавання отриманих даних на віддалений сервер для подальшої обробки й аналізу.

Робота охоплює аналіз існуючих підходів до вирішення проблеми, розробку апаратної частини системи, реалізацію програмного забезпечення для збору та передачі даних, а також тестування ефективності запропонованого рішення.

Запропонована система може бути використана муніципальними службами для оптимізації збору відходів, що сприятиме зниженню експлуатаційних витрат та покращенню санітарного стану міських територій.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Проблематика поводження з побутовими відходами

Проблема управління твердими побутовими відходами (ТПВ) в умовах сучасної урбанізації набуває особливої актуальності. Згідно з даними Світового банку, загальносвітовий обсяг виробництва відходів продовжує стрімко зростати: прогнозується, що до 2050 року він збільшиться на 70% порівняно з рівнем 2016 року. Основними причинами цього процесу є зростання чисельності населення, урбанізація та збільшення споживання ресурсів [1, 2, 3].

Типова ситуація з перевантаженими контейнерами зображена на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1. – Переповнений контейнер у місті [41]

Ситуація в Україні викликає особливе занепокоєння. За рейтингом агентства 24/7 Wall Street, складеним на основі глобальної бази Світового банку, Україна входить до десятки країн світу з найбільшим обсягом утворених відходів на душу населення. У 2017 році в країні утворено понад 474 млн тонн відходів, з яких більше

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

448 млн тонн становили небезпечні. При цьому рівень переробки склав лише 3,2%, що є вкрай низьким у порівнянні з розвиненими країнами (наприклад, у Канаді цей показник становив 20,6%).

Порівняльні дані щодо обсягів сміття на одну особу в різних країнах показано на рисунку 1.2.

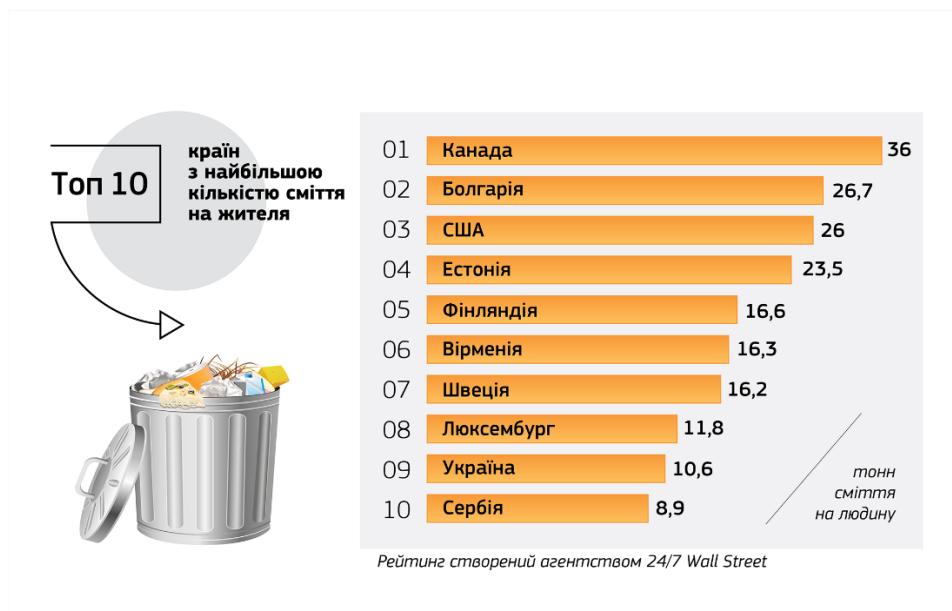


Рисунок 1.2 – Рейтинг країн з найбільшою кількістю сміття на жителя [41]

За інформацією Міністерства охорони довкілля України, упродовж останніх десятиліть обсяги відходів залишаються стабільно високими. Зокрема, у 2020 році було утворено 462,4 млн тонн відходів, з яких утилізовано лише 100,5 млн тонн, а понад 276 млн тонн було відправлено на зберігання. При цьому щорічний обсяг спалених відходів не перевищує 1–1,1 млн тонн.

Загалом, понад 90% сміття в Україні захоронюється, що створює величезне навантаження на існуючу інфраструктуру полігонів і звалищ. Станом на 2020 рік загальний обсяг накопичених відходів сягнув 15,6 мільярда тонн, що є критичним показником як з точки зору екологічної безпеки, так і з огляду на ефективність державної політики у сфері управління відходами.

Деталізовані дані щодо поводження з відходами в Україні за 2010–2020 роки наведено у таблиці 1.1. Вона відображає щорічні обсяги утворення, утилізації, спалення та захоронення відходів, а також загальну кількість накопиченого сміття у спеціально відведених місцях.

Таблиця 1.1 – Динаміка утворення, утилізації та накопичення відходів в Україні у 2010–2020 роках

Рік	Утворені відходи, млн т	Утилізовані, млн т	Спалені, млн т	Відведені у спецмісця, млн т	Накопичено, млн т
2010	422,5	144,9	1,1	311,6	13 220,0
2011	443,8	153,4	1,0	251,4	14 372,1
2012	448,1	143,1	0,9	263,6	14 856,6
2013	446,3	140,7	0,9	264,7	15 111,6
2014	355,0	109,3	1,0	203,7	12 205,5
2015	312,3	92,5	1,1	152,3	12 505,9
2016	295,9	84,6	1,1	157,4	12 393,9
2017	336,6	89,6	1,1	169,5	12 442,2
2018	352,3	102,3	1,1	160,5	12 972,4
2019	441,5	108,0	1,0	239,0	15 398,6
2020	462,4	100,5	1,0	276,0	15 635,3

Основними проблемами чинної системи є:

- відсутність сучасних сміттепереробних заводів (переважна більшість таких об'єктів знаходяться лише на етапі проектування);
- низький рівень сортування відходів на побутовому рівні;
- неефективна логістика вивезення сміття - контейнери вивозяться за фіксованим графіком, незалежно від їх фактичного заповнення;

- високі витрати на паливо та утримання техніки при одночасному дефіциті ресурсів у комунальних підприємств;
- загроза утворення стихійних сміттєвалищ у разі перевантаження контейнерів.

Таким чином, одним з найбільш перспективних напрямів вирішення проблеми поводження з ТПВ є впровадження автоматизованих систем моніторингу стану контейнерів [1, 7]. Зокрема, технології на базі ультразвукових сенсорів у поєднанні з безпроводною передачею даних (Wi-Fi, LoRaWAN тощо) дозволяють у режимі реального часу відслідковувати рівень заповнення контейнерів та передавати цю інформацію до центрального сервера для аналізу та побудови оптимальних маршрутів сміттєзбірної техніки [7, 9].

1.2 Аналіз існуючих рішень та технологій моніторингу заповнення контейнерів

У сучасних умовах інтенсивного зростання обсягів побутових відходів, особливо у великих містах, постає гостра потреба у впровадженні інтелектуальних систем управління збором сміття. Одним із найбільш ефективних рішень є встановлення розумних контейнерів, здатних автоматично визначати рівень заповнення й передавати ці дані до централізованої системи обробки [1, 4, 6]. Завдяки цьому можливо своєчасно здійснювати вивезення сміття, запобігати його переповненню та оптимізувати логістику [10, 11, 12].

На сучасному ринку представлено низку готових технологій, які вирішують завдання контролю заповнення сміттєвих контейнерів. Найпоширенішими є рішення на основі ультразвукових датчиків. Ці сенсори вимірюють відстань до поверхні сміття всередині контейнера та дозволяють визначити ступінь його заповнення [7, 31, 32, 33, 34, 35]. Подібну технологію реалізовано, зокрема, у пристроях словацької компанії Sensoneo, яка спеціалізується на розумному управлінні відходами. Її система включає в себе смарт-сенсори, що кріпляться на

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

внутрішній стороні кришки контейнера, та хмарну платформу, яка візуалізує дані та генерує аналітику в режимі реального часу. На рисунку 1.3 представлено зовнішній вигляд сенсора та приклад встановлення в контейнері.

Технологія Sensoneo підтримує бездротові протоколи зв'язку, такі як NB-IoT, LoRaWAN і GSM, що забезпечує її гнучкість при впровадженні в різних умовах [9]. Користувачі мають доступ до веб-інтерфейсу або мобільного застосунку, де можна переглядати рівень заповнення кожного контейнера, отримувати сповіщення про критичний стан та формувати маршрути для сміттєвозів. Додатково платформа аналізує історичні дані для прогнозування заповнення в майбутньому, що сприяє ще більш ефективному управлінню ресурсами.



Рисунок 1.3 – Вигляд сенсора [42]

Ще одним прикладом сучасного рішення є система від фінської компанії Enevo, яка також використовує ультразвукові датчики для контролю заповнення. Однак на відміну від Sensoneo, дана система більше орієнтована на прогнозу аналітику та адаптивне планування. Enevo пропонує повний цикл управління – від збору даних до автоматичної побудови маршрутів на основі інтелектуального

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізу [16, 17]. На рисунку 1.4 зображено загальну схему роботи системи Enevo з позначенням ключових компонентів.

Унікальною особливістю рішення Enevo є використання алгоритмів машинного навчання, які враховують сезонні коливання, погодні умови та інші чинники, що впливають на обсяг відходів [13, 14, 15, 16]. Це дозволяє мінімізувати кількість порожніх виїздів сміттєвозів і, відповідно, знизити витрати пального та викиди парникових газів. Крім того, система автоматично формує звіти для муніципалітетів і приватних компаній, що полегшує контроль за якістю послуг.

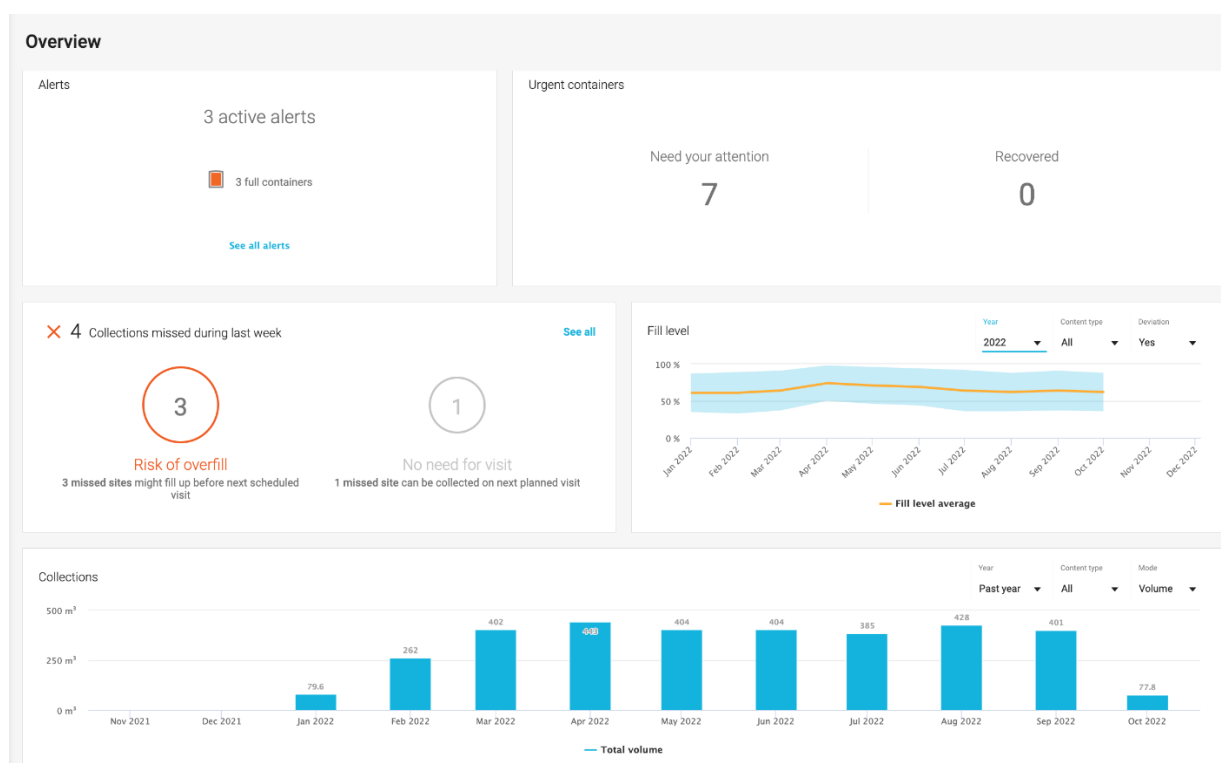


Рисунок 1.4 – Схема роботи системи Enevo [43]

На рівні міських ініціатив варто також згадати приклади впровадження смарт-контейнерів у Києві. У столиці України було встановлено кілька типів контейнерів нового покоління, включаючи підземні та напівпідземні варіанти, оснащені сенсорами й модулями бездротового зв'язку. Як показано на рисунку 1.5, ці контейнери мають збільшений об'єм і забезпечують кращу гігієну та безпеку в публічному просторі.

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

Хоча такі рішення є перспективними, їхнє широкомасштабне впровадження стримується низкою факторів. Зокрема, висока вартість обладнання, необхідність стабільного інтернет-з'єднання, витрати на технічне обслуговування та адаптація під конкретні умови регіону можуть ускладнювати реалізацію подібних проектів. Водночас досвід провідних компаній і міст свідчить про потенційну ефективність таких систем у довгостроковій перспективі.



Рисунок 1.5 – Встановлений підземний контейнер [44]

Варто згадати ще те, що одне із новітніх рішень у сфері інтелектуального моніторингу контейнерів для сміття є система ResycloBin UltraEye, що поєднує у собі точність сенсорних технологій та можливості комп'ютерного зору. Це рішення було розроблено як альтернатива традиційним ультразвуковим системам, і вирізняється більшою точністю та адаптивністю до умов навколишнього середовища. Основною перевагою ResycloBin UltraEye є вбудована камера з алгоритмами розпізнавання об'єктів, яка дозволяє в режимі реального часу

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оцінювати не лише рівень заповнення, але й тип відходів - органічні, пластик, скло або змішані [8, 16].

На відміну від стандартних сенсорів, UltraEye може ідентифікувати нештатні ситуації, наприклад, виявлення великогабаритних предметів, загоряння чи залишених небезпечних речовин. Це робить систему особливо актуальною для використання у громадських місцях та поблизу стратегічних об'єктів. Дані з камер та сенсорів передаються на центральний сервер або в хмару через модуль Wi-Fi або LTE [12, 20, 21]. У разі критичної ситуації система може автоматично надіслати сповіщення відповідним службам. На рисунку 1.6 зображено Інтерфейс користувацького застосунку.



Рисунок 1.6 – Інтерфейс користувацького застосунку системи моніторингу заповнення контейнерів [45]

Попри переваги таких рішень, зокрема підвищення ефективності збору сміття, зменшення викидів CO₂ та зниження витрат, існують і певні обмеження.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зокрема, висока вартість обладнання, необхідність стабільного інтернет-з'єднання та потенційна складність обслуговування в разі виходу з ладу електронних компонентів.

Отже, аналіз наявних технологій свідчить про високу ефективність систем на базі ультразвукових датчиків і мікроконтролерів для задач моніторингу заповнення контейнерів. Упровадження подібних систем на локальному рівні дозволяє суттєво покращити процес поводження з відходами та створити базу для розвитку «розумного міста» в майбутньому [1, 30, 31].

1.3 Аналіз та обґрунтування вибору апаратної платформи

У процесі розробки автоматизованої системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів ключовим етапом є вибір апаратної платформи, яка забезпечить не лише ефективний збір даних, а й стабільну передачу інформації до центрального вузла або хмари. Основними критеріями відбору були: низьке енергоспоживання, вбудована підтримка бездротової передачі даних, компактність, широка підтримка серед розробників, а також доступність компонентів на ринку [7].

При проєктуванні автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів ключовим компонентом є мікроконтролер, що виступає в ролі обчислювального ядра. Саме він відповідає за зчитування даних із сенсорів, обробку вимірювань, прийняття логічних рішень, а також передачу результатів на сервер або в хмару. Отже, вимоги до мікроконтролера є критично важливими та визначають не лише технічну, але й економічну ефективність усієї системи.

У межах цього проєкту серед основних критеріїв вибору мікроконтролера було визначено:

- вбудована підтримка Wi-Fi - для передачі даних без додаткових модемів;
- достатня кількість GPIO-портів - для підключення датчиків та, за потреби, додаткової периферії;

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- енергоспоживання - можливість автономної роботи від акумулятора;
- підтримка популярних середовищ розробки - Arduino IDE, PlatformIO, MicroPython тощо;

- ціна та доступність на ринку України/Європи;
- фізичні габарити та можливість інтеграції в компактний корпус.

Серед можливих варіантів були проаналізовані наступні мікроконтролери:

- Arduino Uno - класичний 8-бітний мікроконтролер ATmega328P;
- ESP8266 - 32-бітний SoC із вбудованим Wi-Fi;
- ESP32 - новіший, потужніший мікроконтролер із двоядерним процесором та Bluetooth;
- STM32 Blue Pill - продуктивний ARM Cortex-M3, але без Wi-Fi;
- Raspberry Pi Pico W - новий мікроконтролер із вбудованим Wi-Fi, проте менш підтримуваний на момент початку розробки.

У таблиці 1.2 нижче представлено порівняння основних характеристик.

Таблиця 1.2 – Порівняння характеристик мікроконтролерів

Характеристика	Arduino Uno	ESP8266 (NodeMCU)	ESP32	STM32 Blue Pill	Raspberry Pi Pico W
Архітектура	8-біт AVR	32-біт RISC	32-біт RISC Dual-Core	32-біт ARM Cortex-M3	Dual-core ARM Cortex-M0+
Частота процесора	16 МГц	до 160 МГц	до 240 МГц	72 МГц	133 МГц
RAM	2 КБ	до 80 КБ	до 520 КБ	20 КБ	264 КБ
Flash пам'ять	32 КБ	до 16 МБ (зовн.)	до 16 МБ	64 КБ	2 МБ

Кінець таблиці 1.2

Wi-Fi	-	+	+	-	+	Wi-Fi
Bluetooth	-	-	+	-	-	Bluetooth
GPIO	14	17	До 34	До 37	26	GPIO
Ціна (USD)	8-12	3-5	6-10	5-7	6-9	Ціна (USD)
Середовище розробки	Arduino IDE	Arduino IDE, Lua, MicroPython	Arduino IDE, ESP-IDF	STM32Cube IDE	Arduino, MicroPython	Середовище розробки

Як видно з таблиці 1.2, кожен із розглянутих мікроконтролерів має свої сильні сторони, однак саме ESP8266 виявився найбільш збалансованим варіантом за сукупністю технічних і економічних характеристик. Він забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки сигналів від сенсорів, підтримує бездротовий зв'язок Wi-Fi без необхідності зовнішніх модулів, має компактні розміри, а також широко підтримується спільнотою розробників [28]. Додатковою перевагою є доступність великої кількості навчальних матеріалів, прикладів застосування та відкритих бібліотек, що суттєво прискорює процес розробки системи.

Крім того, ESP8266 легко інтегрується у різні програмні екосистеми. Підтримка таких середовищ, як Arduino IDE, PlatformIO та MicroPython, дає можливість обрати найбільш зручний підхід до розробки програмного забезпечення. Наприклад, для швидкого прототипування зручно використовувати Arduino IDE з уже готовими бібліотеками, тоді як для більш складних проєктів із необхідністю віддаленого оновлення коду (Over-The-Air) або гнучкішого управління пам'яттю доцільно переходити до використання PlatformIO або MicroPython.

Мікроконтролер ESP8266, зокрема в форматі NodeMCU або Wemos D1 mini, має кілька суттєвих переваг, що обумовили його вибір [28]:

- Wi-Fi з підтримкою стандарту 802.11 b/g/n із прямим підключенням до роутера або точки доступу, без потреби у зовнішньому модулі;
- компактний розмір, що дозволяє легко розмістити плату в герметичному корпусі;
- низьке енергоспоживання - у режимі deep-sleep споживання складає менш як 0.01 мА, що дозволяє працювати кілька тижнів від акумулятора;
- широка підтримка бібліотек - можна використовувати готові MQTT, HTTP клієнти, бібліотеки роботи з сенсорами, LCD тощо [22, 23, 24, 25, 26];
- легка прошивка через USB, з автозавантаженням коду через Arduino IDE;
- масове використання в проєктах smart-city, agrotech, моніторингу навколишнього середовища, смарт-будинків, тощо [29].

На рисунку 1.7 зображено зовнішній вигляд плати ESP8266 та основні елементи її схеми.

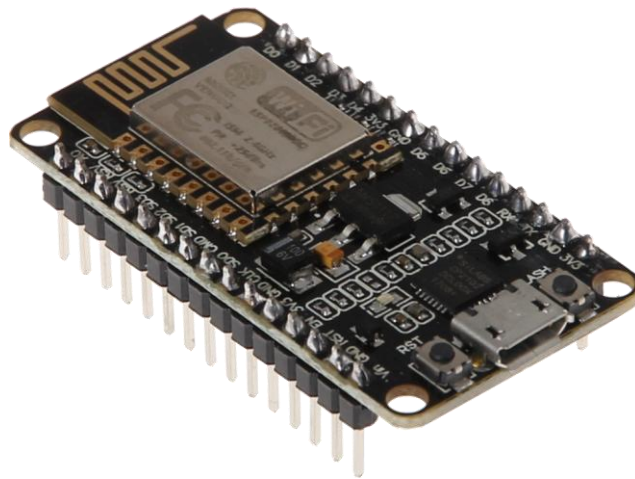


Рисунок 1.7 – Зовнішній вигляд ESP8266 [46]

Також, ESP8266 підтримує роботу не лише в Arduino IDE, а й у PlatformIO, MicroPython, Lua, що дозволяє використовувати як імперативний підхід, так і скриптові середовища. Це значно спрощує написання, відлагодження та оновлення програмного коду пристрою - як локально, так і віддалено (через OTA-апдейти).

Для вимірювання рівня заповнення контейнера використовується ультразвуковий сенсор HC-SR04 (рис. 1.8), який є надійним і недорогим рішенням для визначення відстані до об'єкта [31, 32, 33, 34, 35]. Принцип його роботи полягає у випромінюванні ультразвукового сигналу частотою 40 кГц, який відбивається від перешкоди (в нашому випадку – відходів у контейнері) та приймається сенсором. Вимірювання відбувається за допомогою визначення часу між випромінюванням і отриманням сигналу.



Рисунок 1.8 – Ультразвуковий сенсор HC-SR04 [47]

Основні технічні характеристики датчика наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики ультразвукового датчика HC-SR04

Параметр	Значення
Діапазон вимірювань	2 – 400 см
Роздільна здатність	~3 мм
Напруга живлення	5 В
Робочий струм	40 кГц
Кут огляду	~15°
Робочий струм	15 мА
Частота випромінювання	TRIG (вхід), ECHO (вихід)

HC-SR04 має низку переваг у порівнянні з інфрачервоними сенсорами, зокрема не реагує на зміни освітлення, колір об'єкта та пил, що робить його придатним до використання у відкритому середовищі. Крім того, його цифровий інтерфейс дозволяє безпосереднє підключення до ESP8266 без потреби у додаткових схемах узгодження сигналів.

На основі технічного аналізу та порівняння альтернатив, було визначено, що поєднання модуля ESP8266 та ультразвукового датчика HC-SR04 є найбільш доцільним для реалізації системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів.

Обрана платформа забезпечує:

- надійний збір даних про рівень заповнення завдяки точному датчику відстані;
- бездротову передачу інформації без зовнішніх модулів завдяки вбудованому Wi-Fi;
- енергоефективність за рахунок підтримки сплячих режимів;
- простоту у впровадженні та подальшому масштабуванні системи;
- доступність компонентів на ринку та широку підтримку з боку спільноти розробників.

Загалом, дана конфігурація дозволяє створити економічно обґрунтовану, стабільну та ефективну систему для вирішення актуальної проблеми сміттевого моніторингу в урбаністичних умовах [1, 29].

1.4 Постановка задачі

У На сьогоднішній день проблема неефективного контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів є актуальною у багатьох населених пунктах. Традиційні підходи до вивезення сміття базуються на фіксованому графіку, що не враховує фактичний стан контейнерів. Це призводить до перевантаження деяких точок збору відходів, а інші контейнери можуть залишатися майже порожніми.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Така ситуація знижує ефективність логістики та збільшує витрати на обслуговування [10, 11].

З метою оптимізації процесу збору побутових відходів, виникає потреба у створенні автоматизованої системи, яка в реальному часі здійснює моніторинг рівня заповнення сміттєвих контейнерів. Для цього доцільно використовувати ультразвукові датчики для вимірювання відстані до поверхні сміття, а також мікроконтролер ESP8266, що забезпечує передавання зібраних даних на віддалений сервер або інтерфейс для подальшої обробки та візуалізації.

Метою даної роботи є розробка прототипу автоматизованої системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів з використанням доступних апаратних засобів та забезпечення передачі даних через бездротову мережу Wi-Fi.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати існуючі рішення у сфері автоматизації контролю заповнення сміттєвих контейнерів;
- підібрати апаратні компоненти, зокрема мікроконтролер та сенсори, що відповідають вимогам до системи [7, 28, 31, 32, 33, 34, 35];
- розробити апаратну частину системи та реалізувати її функціонування на базі ESP8266;
- створити програмне забезпечення для збору даних з датчиків та передачі їх на сервер або веб інтерфейс [12, 21];
- провести тестування системи в умовах, наближених до реального використання;
- оцінити ефективність запропонованого рішення та можливості його масштабування.

1.5 Висновки до розділу 1

У першому розділі було проаналізовано основні підходи до реалізації систем моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчиків та мікроконтролерів. Розглянуто технічні особливості роботи ультразвукових сенсорів, можливості мікроконтролера ESP8266 та їх доцільність у побудові автоматизованих систем збору даних. Проведений огляд готових рішень дозволив визначити ключові технічні та функціональні аспекти таких систем, серед яких важливими є точність вимірювань, енергоефективність, вартість реалізації та можливість бездротової передачі даних. На основі аналізу можна зробити висновок про актуальність та перспективність створення власної автоматизованої системи контролю заповнення контейнерів, адаптованої до специфіки обраного середовища.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПОВНЕННЯ СМІТТЄВИХ КОНТЕЙНЕРІВ

2.1 Загальна структурна схема системи

На сучасному етапі розвитку цифрових технологій значна увага приділяється автоматизації процесів, які раніше вимагали втручання людини. Зокрема, питання екологічного стану міст та ефективного управління побутовими відходами стають все більш актуальними у зв'язку зі стрімким зростанням кількості населення та рівня урбанізації. Одним із ефективних шляхів розв'язання цієї проблеми є створення систем, здатних здійснювати моніторинг заповненості сміттєвих контейнерів у режимі реального часу. Саме з цією метою у межах даної роботи було спроектовано автоматизовану мікроконтролерну систему контролю рівня заповнення контейнерів, що базується на використанні мікроконтролера ESP8266 та ультразвукових сенсорів [7, 28, 31].

Розроблена система виконує функції збору, обробки та передавання інформації про поточний рівень заповненості сміттєвого контейнера. Основою її функціонування є взаємодія між апаратними компонентами, кожен з яких виконує певну роль у загальному ланцюзі передачі та обробки інформації. Для кращого розуміння логіки роботи системи було побудовано її загальну структурну схему.

До складу системи входять такі основні елементи:

- мікроконтролер ESP8266 (NodeMCU), який є основним обчислювальним елементом. Він виконує прийом та обробку сигналів, отриманих від сенсорів, а також відповідає за передавання оброблених даних через мережу Wi-Fi на зовнішній сервер або інший приймальний пристрій[12, 21];
- ультразвуковий датчик HC-SR04, який вимірює відстань до поверхні сміття, що знаходиться в контейнері. На основі цих вимірювань розраховується ступінь заповнення;

- блок живлення, який забезпечує стабільне електроживлення всіх елементів системи. У залежності від умов експлуатації можливе використання як мобільних (акумулятор, павербанк), так і стаціонарних джерел живлення;
- Wi-Fi-з'єднання, що дозволяє передавати інформацію у мережу Інтернет без використання дротового з'єднання [28];
- сигнальні елементи (світлодіоди, звукові сповіщувачі), які можуть інформувати про досягнення критичного рівня заповнення у режимі реального часу безпосередньо на місці.

Загальну логіку взаємодії елементів системи представлено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальна структурна схема автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів

На рисунку видно, що датчик рівня під'єднаний до мікроконтролера, який після обробки сигналу приймає рішення про необхідність передавання даних. Далі інформація передається через вбудований Wi-Fi модуль ESP8266 до зовнішньої системи приймання даних, що може бути реалізована у вигляді хмарного сервісу, локального сервера або веб-інтерфейсу [12, 21].

Таким чином, представлена структурна схема дозволяє наочно відобразити принцип функціонування розробленої системи, а також визначити основні етапи перетворення та передавання інформації, що забезпечують її ефективне функціонування в умовах реального середовища.

2.2 Функціональне призначення основних елементів системи

Для ефективного функціонування автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів необхідним є чіткий розподіл ролей між її основними складовими. Кожен з апаратних та програмних компонентів виконує строго визначене функціональне призначення, взаємодіє з іншими елементами системи та забезпечує надійну роботу в умовах різних сценаріїв експлуатації. У даному підрозділі наведено детальний опис функціонального призначення ключових модулів, що складають апаратну основу системи. Такий підхід дозволяє зрозуміти внутрішню логіку побудови рішення та обґрунтувати вибір конкретних технічних засобів.

Мікроконтролер ESP8266 (NodeMCU) виконує центральну роль у системі. Це високофункціональний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi модулем, що дозволяє без додаткових зовнішніх пристроїв організувати передавання даних через бездротову мережу [28]. Саме цей компонент відповідає за збір сигналів від датчика рівня, їх обробку за визначеним алгоритмом, перетворення у цифрову форму та формування інформаційного пакету для подальшої передачі. Окрім того, ESP8266 керує живленням периферійних пристроїв і виконує логіку прийняття рішень, наприклад, коли потрібно активувати локальне сповіщення або передати інформацію на сервер.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 є сенсорним пристроєм, що забезпечує безконтактне вимірювання відстані до об'єкта [31, 32, 33, 34, 35]. У контексті даної системи об'єктом виступає поверхня сміття в контейнері. Датчик працює за принципом ехолокації: передає ультразвуковий імпульс і приймає відбитий сигнал, після чого мікроконтролер обчислює час затримки та перетворює його на відстань. У такий спосіб можна точно визначити рівень заповнення, що є критично важливим для своєчасного вивезення відходів та запобігання переповненню.

Блок живлення забезпечує безперебійне енергоживлення всієї системи. Його функціональне призначення полягає у стабілізації напруги та захисті від можливих

перевантажень. У залежності від умов використання система може працювати як від стаціонарного джерела живлення (через адаптер на 5В), так і від автономного (акумулятор або павербанк), що особливо актуально у віддалених або тимчасових локаціях встановлення контейнерів.

Wi-Fi з'єднання, реалізоване засобами ESP8266, дозволяє організувати передавання даних на сервер, у базу даних або безпосередньо до мобільного додатка чи веб-інтерфейсу [12, 21, 28]. Завдяки вбудованому модулю 802.11 b/g/n, мікроконтролер може працювати як у ролі клієнта, що підключається до локальної мережі, так і в режимі точки доступу. Таким чином, інформація про рівень заповнення контейнера може бути отримана у будь-який момент часу, що сприяє своєчасному реагуванню з боку комунальних служб.

Сигнальні пристрої можуть використовуватися для локального попередження про заповнення контейнера. У разі досягнення критичного рівня сміття, мікроконтролер активує сигнальний модуль, що дозволяє миттєво інформувати працівників про необхідність очищення навіть без підключення до мережі.

Додаткові модулі (при необхідності): у рамках масштабування системи можуть бути інтегровані GSM-модулі для передачі даних у разі відсутності Wi-Fi, а також датчики температури чи вологості для комплексного моніторингу стану контейнера (наприклад, для виявлення загоряння або затоплення).

Таким чином, усі елементи системи взаємодіють як єдине ціле, забезпечуючи безперервний цикл збору, обробки та передавання інформації. Ретельний вибір кожного модуля обумовлений необхідністю забезпечення високої точності вимірювання, енергоефективності та стабільності роботи системи у різноманітних умовах експлуатації. Структурна інтеграція цих компонентів є ключовим фактором у досягненні поставленої мети - створення ефективної, надійної та масштабованої системи моніторингу стану сміттєвих контейнерів.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вибір апаратних компонентів системи

У процесі розроблення автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів особливу увагу необхідно приділити вибору апаратних засобів. Від коректності цього вибору залежить не лише працездатність системи, але й її надійність, енергоефективність, вартість виготовлення та простота обслуговування. З урахуванням специфіки проєкту, вимог до точності вимірювання, можливостей передавання даних та зовнішніх умов експлуатації було обрано набір апаратних компонентів, які в сукупності дозволяють досягти поставленої мети.

2.3.1 Мікроконтролер ESP8266

Основним обчислювальним елементом автоматизованої системи є мікроконтролер ESP8266, реалізований у вигляді налагоджувальної плати NodeMCU. Дана платформа широко застосовується у сфері Інтернету речей (IoT) завдяки своїм технічним характеристикам, функціональним можливостям та доступності [1, 29]. Вибір NodeMCU на базі ESP8266 обумовлений його високою інтеграцією та зручністю для швидкої розробки прототипів та повноцінних пристроїв.

ESP8266 - це високопродуктивний мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi-модулем, сертифікований організацією Wi-Fi Alliance, що гарантує його відповідність міжнародним стандартам бездротового зв'язку. Він підтримує протоколи IEEE 802.11 b/g/n (HT20), що дозволяє забезпечити стабільне бездротове з'єднання в діапазоні частот 2.4 ГГц ~ 2.5 ГГц (2400 MHz ~ 2483.5 MHz). Це забезпечує надійну комунікацію між системою моніторингу та хмарною платформою або іншими мережевими пристроями. Передавальна потужність залежно від протоколу становить:

- для 802.11b: +20 dBm,
- для 802.11g: +17 dBm,

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для 802.11n: +14 dBm.

Чутливість приймача (Rx Sensitivity) дорівнює:

- для 802.11b: -91 dBm при 11 Mbps,
- для 802.11g: -75 dBm при 54 Mbps,
- для 802.11n: -72 dBm (режим MCS7).

Ще однією важливою характеристикою є вбудована антена, яка може бути реалізована у вигляді друкованої плати (PCB Trace), зовнішньої антени через IPEX-конектор або керамічного модуля, що дозволяє адаптувати пристрій до різних умов експлуатації.

Процесорна частина мікроконтролера побудована на базі Tensilica L106, 32-бітного процесора, який має високу енергоефективність і достатню продуктивність для обробки сенсорних даних і керування передачею.

ESP8266 має широкі можливості для підключення периферії завдяки підтримці таких інтерфейсів, як:

- UART, SDIO, SPI, I2C, I2S, IR Remote Control – для взаємодії з іншими модулями,
- GPIO, ADC, PWM – для роботи з цифровими та аналоговими сигналами, генерації імпульсів, ШІМ-управління,
- LED Light & Button – для інтеграції базових елементів управління та індикації.

Мікроконтролер працює в діапазоні напруги живлення 2.5 В ~ 3.6 В, споживаючи в середньому 80 мА, що робить його придатним для автономних рішень, які живляться від акумуляторів. Температурний діапазон роботи пристрою становить від -40 °С до +125 °С, що дозволяє використовувати його у складних кліматичних умовах, включаючи зовнішні майданчики.

Розмір корпусу – QFN32 (5 мм × 5 мм) – дозволяє зручно інтегрувати мікроконтролер у компактні пристрої.

З програмної точки зору, ESP8266 підтримує роботу в різних режимах Wi-Fi:

- Station (підключення до існуючої мережі),

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- SoftAP (створення точки доступу),
- SoftAP+Station (комбінований режим).

Захист з'єднання реалізується за допомогою WPA/WPA2, а шифрування – через WEP, TKIP, AES, що гарантує безпеку передавання даних.

Мікроконтролер підтримує оновлення прошивки через інтерфейс UART або за допомогою OTA (Over-The-Air). Програмування та налагодження системи здійснюється через Arduino IDE або інші сумісні середовища, з використанням інструкцій AT або спеціального SDK.

Крім цього, ESP8266 підтримує роботу з хмарними сервісами для зберігання та обробки даних, а також має готові API для мобільних додатків на Android та iOS [12, 21].

2.3.2 Датчик відстані HC-SR04

Одним з основних елементів апаратної частини автоматизованої системи є ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, який призначений для вимірювання відстані до об'єкта за допомогою відбитого ультразвукового сигналу. У контексті даного проєкту цей модуль використовується для контролю рівня заповнення сміттєвих контейнерів, що дозволяє оперативно оцінювати ступінь їх наповненості та приймати рішення щодо вивозу відходів.

Принцип роботи модуля базується на випромінюванні ультразвукової хвилі з частотою 40 кГц, яка після відбиття від перешкоди повертається назад до приймача. Час проходження сигналу туди й назад дозволяє розрахувати відстань до об'єкта на основі швидкості поширення звуку в повітрі. Такий підхід забезпечує достатню точність і стабільність вимірювань у звичайних побутових та промислових умовах.

HC-SR04 має робочу напругу 5 В постійного струму та споживає середній струм близько 15 мА, що робить його енергоефективним компонентом, який може

застосовуватися у складі автономних систем із живленням від акумулятора або блоку живлення низької потужності.

Для ініціації вимірювання необхідно подати на вхід Trigger імпульс тривалістю щонайменше 10 мікросекунд (TTL-рівень). У відповідь на це модуль генерує вихідний сигнал на виводі Echo, тривалість якого прямо пропорційна часу, необхідному ультразвуковій хвилі на подолання шляху до об'єкта та назад. Цей сигнал зчитується мікроконтролером (ESP8266), де на основі формули (2.1) обчислюється відстань.

$$D = \frac{T \cdot V}{2}, \quad (2.1)$$

де D – відстань до об'єкта,

T – час проходження сигналу в обидва боки,

V – швидкість звуку у повітрі (приблизно 343 м/с при 20 °C)

Переваги використання HC-SR04 полягають у простоті підключення, високій швидкості відгуку, надійності в умовах забрудненого середовища та широкій підтримці в програмних середовищах, таких як Arduino IDE. Крім того, модуль не містить рухомих частин, що позитивно впливає на його довговічність та знижує ймовірність механічних пошкоджень.

Таким чином, ультразвуковий датчик HC-SR04 є оптимальним вибором для реалізації функції моніторингу заповнення контейнерів у розроблюваній системі, забезпечуючи необхідну точність, доступність і сумісність з мікроконтролерною платформою ESP8266.

2.4 Модуль індикації I2C LCD 16x2

Для забезпечення візуального відображення інформації в системі автоматизованого моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів доцільним є використання модуля індикації I2C LCD 16x2. Даний пристрій дає змогу

оперативно виводити повідомлення, показники сенсорів, індикатори стану системи, а також службову інформацію для налаштування та діагностики.

Обраний модуль представляє собою дворядковий символний рідкокристалічний дисплей (LCD) з підтримкою інтерфейсу I2C, що суттєво спрощує підключення до мікроконтролера ESP8266, дозволяючи заощадити виводи вводу/виводу (GPIO). У стандартному режимі LCD-дисплей потребує щонайменше 6 проводів для підключення, однак завдяки використанню шини I2C, кількість необхідних ліній зменшується до двох: SDA (дані) та SCL (тактовий сигнал). Це не тільки спрощує монтаж, але й звільняє цінні GPIO піни для інших компонентів системи.

Модуль базується на контролері ST7032, який забезпечує стабільну роботу при низькому енергоспоживанні. Він підтримує як 3-вольтове, так і 5-вольтове живлення, що дозволяє гнучко інтегрувати його в різноманітні апаратні конфігурації без використання додаткових перетворювачів напруги. Важливою перевагою дисплея є підтримка виводу курсора та можливість створення власних символів, що особливо корисно при виведенні нестандартних індикаторів або піктограм, що значно покращує інформативність.

Наявність двох рядків по 16 символів дає змогу компактно та зрозуміло відображати поточний стан системи. Наприклад, на першому рядку може виводитись рівень заповнення контейнера, а на другому - статус підключення до Wi-Fi або попереджувальні повідомлення про необхідність очищення. Це забезпечує користувачу швидкий доступ до критично важливої інформації.

Крім того, завдяки бібліотекам, доступним в Arduino IDE (наприклад, LiquidCrystal_I2C.h), інтеграція цього дисплея в програмне забезпечення є інтуїтивно зрозумілою, а ініціалізація й оновлення інформації на екрані займає лише кілька рядків коду.

Основні технічні характеристики модуля I2C LCD 16x2 наведено в таблиці 2.1 нижче:

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики модуля I2C LCD 16x2

Параметр	Значення
Тип дисплея	Символьний LCD
Структура дисплея	COG (Chip-On-Glass)
Розмір екрану	2.26 дюйма
Роздільна здатність	16 символів × 2 рядки
Формат символів	5 × 8 точок (включно з курсором)
Живлення	3 В або 5 В
Інтерфейс зв'язку	I2C
Мікросхема керування	ST7032
Робочий цикл	1/16 Duty

Застосування I2C LCD 16x2 у складі системи дозволяє значно підвищити зручність користувача, забезпечивши миттєвий зворотній зв'язок без необхідності підключення до зовнішніх пристроїв, таких як смартфони чи комп'ютери. Такий модуль ідеально підходить для автономних рішень у сфері розумного міста, де потрібна простота, надійність і ефективність [1, 30].

2.4 Програмні засоби розробки

Під час реалізації автоматизованої системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів важливою складовою є розробка програмного забезпечення, що забезпечує взаємодію мікроконтролера з підключеними сенсорами, здійснення збору, обробки та передачі даних. Для ефективної реалізації цього етапу було використано низку спеціалізованих програмних засобів, які забезпечують зручність розробки, відлагодження та моделювання роботи системи як у фізичному, так і у віртуальному середовищі.

2.4.1 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) – це інтегроване середовище розробки, що широко використовується для програмування мікроконтролерів серії Arduino, а також сумісних із ними плат, таких як ESP8266. Його основною перевагою є простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє навіть початківцям ефективно працювати з мікроконтролерними платформами. Arduino IDE підтримує мову програмування, яка є спрощеним варіантом мови C/C++, що робить її доступною для широкого кола користувачів і знижує поріг входу в розробку вбудованих систем.

У межах даної кваліфікаційної роботи Arduino IDE використовувалось для розробки програмного коду, який забезпечує взаємодію мікроконтролера ESP8266 з периферійними пристроями, зокрема з ультразвуковим датчиком HC-SR04 та LCD модулем з інтерфейсом I2C. Середовище дозволяє не лише писати код, але й завантажувати його на мікроконтролер через послідовний порт, що забезпечує швидку перевірку працездатності програми та ітеративну розробку.

Крім того, Arduino IDE містить розширену систему бібліотек, що значно полегшує взаємодію з апаратними модулями Також IDE підтримує серійний монітор (Serial Monitor), який використовувався для виведення діагностичних повідомлень і контролю за поточними показниками системи під час розробки, що є незамінним інструментом для налагодження.

Завдяки Arduino IDE було реалізовано основну логіку автоматизованого збору даних про рівень заповнення контейнерів, передачі цих даних, а також індикації поточного стану системи. Це середовище дозволило ефективно розробити та впровадити програмне забезпечення, що є ключовим для функціонування всієї системи моніторингу.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.2 Wokwi Simulator

Wokwi Simulator - це сучасний онлайн-симулятор електроніки, що забезпечує можливість моделювання та тестування мікроконтролерних систем без необхідності фізичного збирання пристрою. Платформа підтримує популярні плати, серед яких Arduino Uno, ESP32, ESP8266 та інші, а також широкий спектр компонентів, зокрема датчики, дисплеї, кнопки, світлодіоди тощо.

У рамках цієї дипломної роботи Wokwi Simulator використовувався для перевірки працездатності алгоритмів, написаних у середовищі Arduino IDE, ще до завантаження їх на фізичний пристрій. Це дозволило виявити логічні помилки, налагодити взаємодію між мікроконтролером ESP8266, ультразвуковим датчиком HC-SR04 та LCD-дисплеєм, а також проаналізувати реакцію системи на зміну вхідних параметрів.

Wokwi надає зручний візуальний інтерфейс, у якому можна з'єднувати компоненти перетягуванням миші, створюючи електронні схеми, що максимально наближені до реального макетування. Крім того, симулятор підтримує функцію live coding, яка дозволяє бачити результат змін у коді майже миттєво, без необхідності перезавантаження або додаткової компіляції.

Іншою перевагою Wokwi є підтримка спільного доступу до проектів, що дає змогу ділитися схемами та кодом із науковим керівником або іншими розробниками для обговорення і вдосконалення системи. Це особливо важливо на етапі тестування прототипу.

Таким чином, використання Wokwi Simulator дозволило значно пришвидшити процес розробки, зменшити кількість помилок та полегшити перевірку коректності взаємодії програмного забезпечення з апаратною частиною системи.

2.4.3 EasyEDA

EasyEDA - це онлайн-сервіс для розробки електронних схем, друкованих плат (PCB), а також моделювання електричних кіл. Даний інструмент поєднує в собі функціонал середовища для створення принципів схем, трасування плат та симуляції, що робить його універсальним рішенням для інженерів, розробників і студентів.

У межах цієї кваліфікаційної роботи EasyEDA використовувався для створення принципової електричної схеми та монтажною схемою системи автоматизованого моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів. Завдяки простому та інтуїтивному інтерфейсу EasyEDA дозволяє швидко розташовувати компоненти (резистори, мікроконтролери, сенсори, дисплеї тощо) на схемі, здійснювати з'єднання між ними та перевіряти наявність помилок у з'єднаннях.

Перевагою EasyEDA є велика база компонентів, серед яких легко знайти саме ті модулі, що використовуються у проєкті, зокрема ESP8266, HC-SR04, I2C LCD, а також різноманітні роз'єми та пасивні елементи. Крім цього, програма підтримує експортування схем у різних форматах, що дозволяє включити їх до дипломної роботи у вигляді якісних графічних матеріалів.

Особливо корисною є можливість автоматичного генерування монтажною плати (PCB) за створеною схемою. Це дає змогу не лише візуалізувати реальний вигляд пристрою, а й підготувати проєкт до подальшого виготовлення. Також EasyEDA дозволяє здійснювати попередній перегляд 3D-моделі плати, що допомагає оцінити розміщення елементів перед створенням фізичного зразка.

Завдяки використанню EasyEDA процес проєктування апаратної частини системи був значно оптимізований, що дало змогу зосередитись на інших етапах розробки та досягти високого рівня організації електричних з'єднань у системі.

2.4.4 Blynk IoT

Blynk IoT процесі розробки системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів було прийнято рішення про використання хмарного сервісу Blynk IoT, що дозволяє реалізувати віддалене спостереження та взаємодію з пристроєм у зручному для користувача форматі[12, 21] .

Blynk IoT - це кросплатформенна система, яка дозволяє легко створювати мобільні та веб-інтерфейси для керування мікроконтролерами, такими як ESP8266, без необхідності у створенні власного бекенду чи мобільного застосунку. Платформа має зручну вебпанель адміністратора, де можна створювати віртуальні панелі керування, додавати віджети (індикатори, кнопки, графіки, повідомлення тощо) та отримувати дані з мікроконтролера через інтернет.

У рамках реалізованої системи Blynk використовується для:

- візуалізації рівня заповненості контейнера на мобільному пристрої в реальному часі;
- відображення історії даних з ультразвукового сенсора HC-SR04;
- віддаленого моніторингу роботи пристрою (наприклад, контроль підключення, онлайн/офлайн статус);
- налаштування push-повідомлень про заповнення контейнера понад визначений поріг.

Для інтеграції Blynk із мікроконтролером ESP8266 було використано офіційну бібліотеку Blynk.h, яка дозволяє взаємодіяти з платформою за допомогою віртуальних пінів. Уся логіка взаємодії з платформою реалізується у середовищі Arduino IDE, що забезпечує простоту налаштування.

Перевагою використання Blynk IoT є мінімальний поріг входу, висока швидкість розгортання, зручний інтерфейс для оператора, а також можливість масштабування рішення у майбутньому. Таким чином, інтеграція Blynk дозволяє підвищити функціональність та зручність використання розробленої системи,

надаючи можливість ефективного віддаленого контролю за станом сміттєвих контейнерів.

2.5 Розробка електричної принципової схеми системи

Одним із ключових етапів при проектуванні автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів є розробка електричної принципової схеми. Така схема дозволяє візуально уявити логічну структуру взаємозв'язків між елементами системи, визначити способи підключення компонентів, підібрати відповідні значення елементів, а також сприяє подальшому коректному монтажу та налагодженню пристрою.

Електрична схема була створена з використанням онлайн-середовища EasyEDA - популярного інструменту для моделювання електроніки, що надає широкі можливості як для створення схем, так і для подальшого трасування друкованих плат. Завдяки великій бібліотеці компонентів та зручному інтерфейсу, ця платформа дозволила швидко реалізувати логіку взаємодії між мікроконтролером та периферійними пристроями.

Основа розробленої системи становить плата Wemos D1 Mini, яка побудована на базі мікроконтролера ESP8266MOD [28]. Обраний мікроконтролер забезпечує високий рівень інтеграції: наявність Wi-Fi-модуля дозволяє підключати пристрій до мережі Інтернет для передачі даних, а компактні розміри та невелике енергоспоживання роблять його зручним у використанні для мобільних або автономних систем.

У якості сенсорного модуля застосовано ультразвуковий датчик відстані HC-SR04, що дозволяє вимірювати відстань до поверхні сміття у контейнері. Це дає змогу визначити рівень заповнення з точністю до кількох сантиметрів. Також у складі схеми присутній LCD-дисплей з інтерфейсом I2C (модель I2CLCD1602), який забезпечує виведення інформації для локального спостереження за станом контейнера.

Щоб забезпечити узгодження рівнів напруги між виходом датчика HC-SR04 (5 В) та входом мікроконтролера (3.3 В), у схемі передбачено подільник напруги на двох резисторах R1 (1 кОм) і R2 (2 кОм). Це дозволяє убезпечити мікроконтролер від потенційного пошкодження через перевищення допустимого рівня напруги.

Подача живлення до системи здійснюється через стандартний microUSB-роз'єм, що дозволяє використовувати звичайний повербанк або адаптер 5 В як джерело енергії. Таким чином, система не залежить від стаціонарних джерел живлення та може бути встановлена у важкодоступних місцях без необхідності прокладання проводів.

На рисунку 2.2 зображено розроблену електричну принципову схему системи. Вона ілюструє всі з'єднання між елементами, у тому числі лінії живлення, сигнальні дроти, а також призначення відповідних контактів.

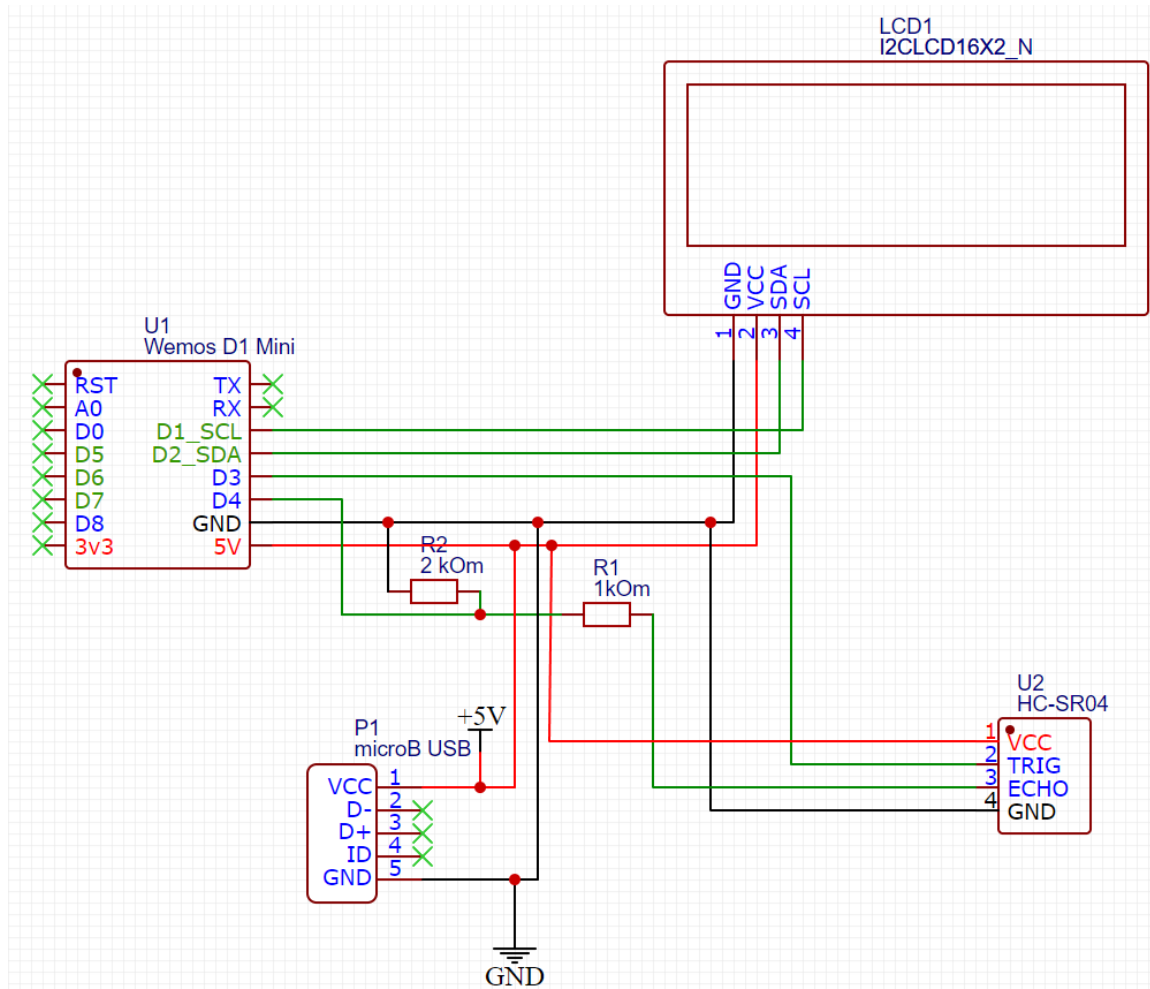


Рисунок 2.2 – Електрично-принципова схема мікроконтролерної системи

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розроблена схема є наочним відображенням логіки функціонування системи, забезпечує її працездатність, а також є основою для подальшого фізичного монтажу на макетній або друкованій платі. Крім того, завдяки використанню простих і доступних компонентів, реалізація системи не потребує дорогого устаткування або спеціалізованих елементів, що дозволяє легко відтворити цей пристрій у лабораторних або побутових умовах.

2.6 Розробка топології друкованої плати

Для забезпечення компактності, зручності у монтажі та надійності з'єднань між компонентами системи було розроблено власну друковану плату (PCB), яка реалізує всі необхідні логічні та функціональні зв'язки між мікроконтролером ESP8266, ультразвуковим датчиком HC-SR04, рідкокристалічним дисплеєм з інтерфейсом I2C та допоміжними елементами.

Проектування топології друкованої плати виконувалося у середовищі EasyEDA, що дозволило не лише створити зручну схему трасування, але й провести базову перевірку на помилки, оцінити оптимальне розташування компонентів, а також згенерувати візуалізації у 2D та 3D форматах.

На першому етапі проектування до плати було додано основні компоненти:

- Мікроконтролер WeMos D1 Mini, що є варіантом ESP8266 з USB-інтерфейсом [28].
- HC-SR04 - ультразвуковий датчик, підключений через резисторні обмежувачі рівня.
- LCD-дисплей 16x2 з модулем I2C, що дозволяє зменшити кількість з'єднань, використовуючи лише дві лінії: SCL (D1) та SDA (D2).
- Конектор Micro USB як альтернатива живленню.
- Резистори R1 та R2, які формують дільник напруги для безпечного підключення HC-SR04 до ESP8266.

При створенні плати було враховано наступні фактори:

- Оптимізація розміщення елементів, з урахуванням доступу до роз'ємів та зручності пайки.
- Мінімізація довжини сигнальних доріжок між основними компонентами для зменшення перешкод і затримок сигналу.
- Забезпечення належного розв'язування живлення та заземлення, у тому числі шляхом використання цільного GND-полу на нижньому шарі.
- Можливість тиражування та подальшого масштабування - завдяки стандартизованим посадковим місцям компонентів та можливості генерації Gerber-файлів для серійного виробництва.

На рисунку 2.3 наведено розроблену топологію друкованої плати у вигляді 2D-моделі, отриманої в середовищі EasyEDA.

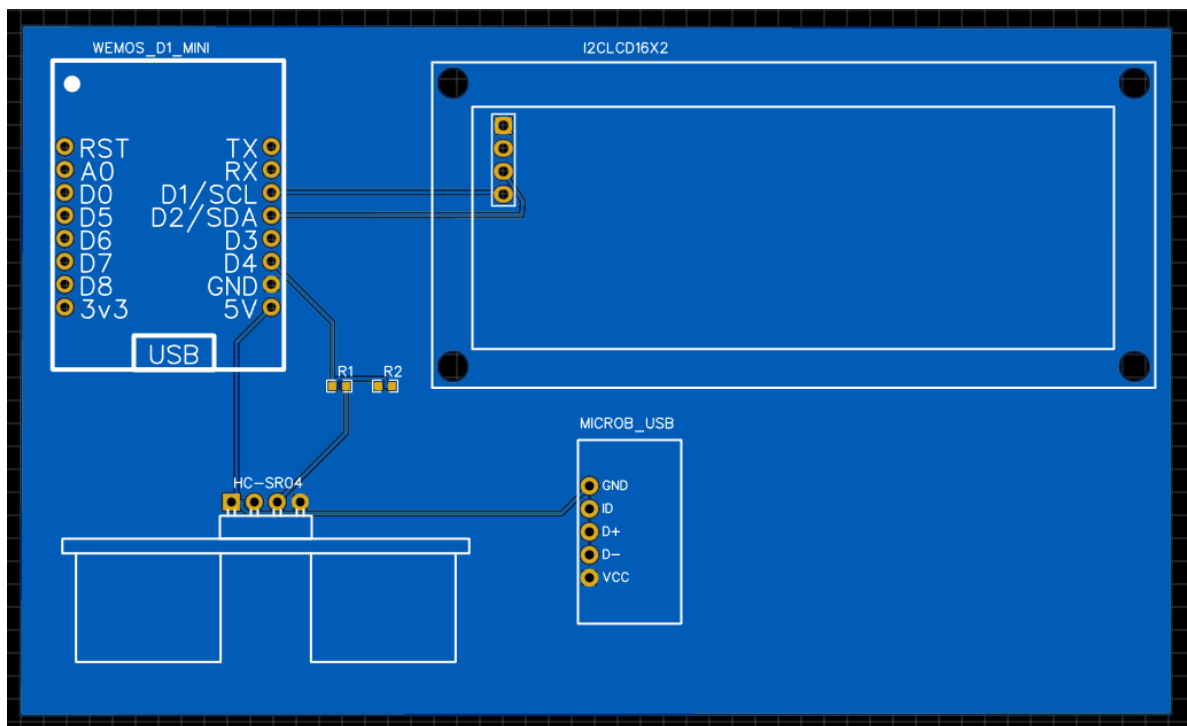


Рисунок 2.3 – Топологія друкованої плати, створена у середовищі EasyEDA (2D вигляд)

Додатково, EasyEDA дозволяє переглянути проєкт у вигляді візуальної тривимірної моделі, що дає змогу оцінити реальне розташування компонентів,

перевірити сумісність з корпусом майбутнього пристрою, а також уявити габарити всієї системи.

На рисунку 3.3 зображено 3D-модель друкованої плати, створену в середовищі EasyEDA.

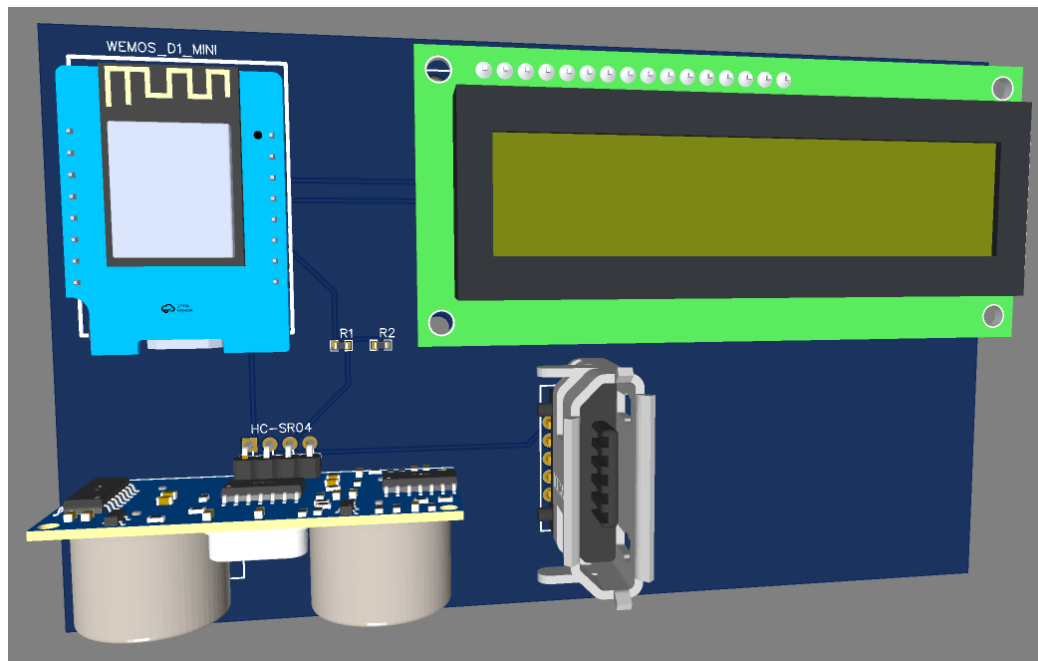


Рисунок 3.3 – Тривимірне відображення друкованої плати у середовищі EasyEDA (3D вигляд)

Розроблена друкована плата дозволяє зібрати весь пристрій у компактному форм-факторі, забезпечуючи простоту складання та можливість повторного виготовлення. Це є особливо важливим при масштабуванні або серійному виробництві подібних систем контролю.

2.7 Розрахунок енергоспоживання та автономності

Оскільки проєктована система призначена для роботи у місцях, де немає постійного доступу до електромережі, важливим завданням є забезпечення її енергонезалежності. Для цього як джерело живлення було обрано звичайний

повербанк із вихідною напругою 5 В, що дозволяє жити пристрій через microUSB-інтерфейс модуля Wemos D1 Mini.

Для оцінки автономності системи у таблиці 2.3 було враховано середнє енергоспоживання усіх елементів:

Таблиця 2.3 – Середнє енергоспоживання компонентів системи

Компонент	Середній струм споживання	Напруга живлення	Потужність, мВт
ESP8266	~70 мА (у стані передачі)	5 В	350
Дисплей I2C 1602	~20 мА	5 В	100
Датчик HC-SR04	~15 мА (під час вимірювання)	5 В	75
Разом (макс. навантаження)	~105 мА	5 В	~525 мВт

Нехай використовується типовий повербанк ємністю 10 000 мА·год, що відповідає запасу енергії близько 37 Вт·год. Оскільки плата ESP8266 працює при напрузі 5 В, а стандартна енергія вказується для 3.7 В (внутрішня напруга елементів живлення повербанку), необхідно врахувати коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення енергії. Типове значення ККД для схем підвищення напруги складає близько 85 %.

Щоб визначити споживану потужність пристрою, скористаємося стандартною формулою (2.2):

$$P = I \cdot U = 0.105 \cdot 5 = 0,505 \text{ Вт} \quad (2.2)$$

де P – потужність, Вт;

I – середній струм споживання системи, А;

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

U – напруга живлення системи, В.

Тепер визначимо корисну енергію, яку можна отримати від повербанку з урахуванням ККД перетворення за формулою (2.3):

$$E = E_{\text{загальна}} \cdot \eta = 37 \cdot 0.85 = 31.45 \text{Вт/год} \quad (2.3)$$

де E – корисна енергія, Вт·год;

$E_{\text{загальна}}$ – номінальна енергія повербанку;

η – ККД перетворення.

Відповідно, загальний час автономної роботи пристрою можна обчислити за формулою (2.4):

$$t = \frac{E}{P} = \frac{31.45}{0.525} \approx 59.9 \text{ годин} \quad (2.4)$$

де t – час автономної роботи, год

Таким чином, система може працювати приблизно 60 годин у безперервному режимі при максимальному споживанні. Якщо ж оптимізувати роботу (використання режимів сну, зниження яскравості дисплея, рідкісна передача даних), тривалість автономної роботи може бути збільшена до 3–4 діб або більше.

З огляду на результати розрахунку, можна зробити висновок, що використання звичайного побутового повербанку є цілком виправданим та забезпечує достатній рівень автономності для системи контролю заповнення контейнерів. За потреби тривалішої автономної роботи, можливо використати повербанк з більшою ємністю або реалізувати живлення від сонячної панелі з акумулятором.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.8 Висновки до розділу 2

У Розділі 2 кваліфікаційної роботи проведено проектування та детальний опис реалізації автоматизованої мікроконтролерної системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів. Зважаючи на актуальність питань екологічного стану міст та ефективного управління відходами в умовах зростаючої урбанізації, запропонована система є важливим кроком до автоматизації процесів збору та обробки даних про рівень заповненості контейнерів у режимі реального часу.

Визначено загальну структурну схему системи, яка базується на взаємодії ключових апаратних компонентів. До складу системи входять: мікроконтролер ESP8266 (NodeMCU) як центральний обчислювальний елемент, ультразвуковий датчик HC-SR04 для безконтактного вимірювання відстані до сміття, блок живлення, Wi-Fi-з'єднання для бездротової передачі даних та сигнальні елементи для локального сповіщення. Детальний опис функціонального призначення кожного з цих елементів підкреслює їхню роль у забезпеченні безперервного циклу збору, обробки та передавання інформації. Зокрема, виділено центральну роль ESP8266 у керуванні даними та логікою системи, а також критичну важливість ультразвукового датчика для точного визначення рівня заповнення.

Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору апаратних компонентів, що визначає працездатність, надійність, енергоефективність та масштабованість системи. Мікроконтролер ESP8266 (NodeMCU) обрано як основу системи завдяки його високій продуктивності, вбудованому Wi-Fi модулю, широким можливостям для підключення периферійних пристроїв (UART, SDIO, SPI, I2C, I2S, IR Remote Control, GPIO, ADC, PWM), низькому енергоспоживанню (близько 80 мА) та широкому діапазону робочих температур (від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ці характеристики роблять його оптимальним рішенням для автономних систем, що функціонують у різних кліматичних умовах. Підтримка стандартів бездротового зв'язку IEEE 802.11 b/g/n та протоколів безпеки WPA/WPA2 гарантує стабільну та захищену передачу даних.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім вибору окремих компонентів, у межах цього розділу було також розроблено електричну принципову схему системи, яка деталізує логіку з'єднання усіх апаратних модулів, включаючи мікроконтролер, ультразвуковий сенсор, дисплей та інші елементи. Схема дозволяє зрозуміти основні сигнальні зв'язки та функціональні залежності між пристроями, забезпечуючи технічну базу для подальшого проектування плати. Цей етап має ключове значення для виявлення потенційних помилок у з'єднаннях ще до фізичної реалізації пристрою.

На наступному етапі здійснено розробку друкованої плати (PCB), яка інтегрує всі основні вузли в єдину конструкцію, оптимізовану для зручного монтажу та промислового виготовлення. Проект виконано в середовищі EasyEDA, де реалізовано не лише топологічне трасування елементів, а й проведено візуалізацію у форматах 2D та 3D для кращого розуміння фізичного розміщення компонентів. Це дозволило мінімізувати розміри пристрою, зменшити кількість з'єднувальних проводів та підвищити надійність експлуатації. Такий підхід забезпечує зручність як для прототипування, так і для подальшого серійного виробництва.

Таким чином, у розділі 2 комплексно представлено проектне рішення системи моніторингу, обґрунтовано вибір технологій та компонентів, що є фундаментальною основою для подальшої практичної реалізації та тестування системи. Запропонована архітектура демонструє потенціал для створення ефективного інструменту управління побутовими відходами, здатного оптимізувати логістичні процеси та покращити екологічну ситуацію в містах.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

3.1 Розробка алгоритму роботи системи

Розробка алгоритму роботи автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів є одним із ключових етапів у створенні надійного та ефективного технічного рішення, що забезпечує своєчасний моніторинг побутових відходів. Основна ідея полягає в безперервному зчитуванні даних з ультразвукового датчика, визначенні рівня заповнення контейнера та передавання цієї інформації на віддалений сервер або у хмарне сховище з можливістю подальшого аналізу. Для реалізації такої задачі було запропоновано структурований алгоритм, що охоплює як апаратну взаємодію, так і логіку програмного забезпечення.

У контексті сучасних підходів до побудови "розумних" міських інфраструктур (Smart City), особливу увагу приділяється автономним пристроям, які здатні працювати в умовах обмеженого живлення, забезпечуючи при цьому стабільний канал комунікації з сервером збору даних. Саме тому в основі обраної системи лежить мікроконтролер ESP8266, який поєднує достатню обчислювальну потужність із вбудованим Wi-Fi-модулем.

На першому етапі, при подачі живлення, відбувається ініціалізація всіх периферійних пристроїв. Ультразвуковий датчик HC-SR04 переводиться у робочий режим, а мікроконтролер налаштовує виводи вводу/виводу (GPIO) відповідно до заданої логіки. Також встановлюється серійне з'єднання для налагодження системи в процесі тестування.

Потім, ESP8266 намагається підключитися до заданої бездротової мережі Wi-Fi, використовуючи вказані в коді SSID та пароль. У випадку невдалого з'єднання здійснюється повторна спроба через певний інтервал часу, що дозволяє системі працювати в умовах нестабільного інтернет-з'єднання.

Наступним кроком буде вимірювання за допомогою ультразвукового датчика відстані від датчика до поверхні відходів у контейнері. Зазвичай цей процес полягає у формуванні ультразвукового імпульсу та вимірюванні часу, який потрібен для його відбиття. На основі цього часу обчислюється відстань, що в подальшому використовується для визначення рівня заповнення.

Виміряна відстань порівнюється із висотою контейнера. Згідно з обраною формулою (3.1):

$$\text{Рівень заповнення} = \frac{H-D}{H} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де H - висота контейнера, а D - виміряна відстань до поверхні сміття. У результаті обчислюється значення у відсотках, яке наочно показує рівень заповненості.

На основі отриманого від ультразвукового датчика значення система розраховує рівень заповнення контейнера у відсотках. Далі відбувається перевірка щодо перевищення порогових значень. Для зручності візуалізації у мобільному застосунку Vlynk реалізовано три рівні індикації:

- при заповненні до 50% індикатор має стандартне зелене забарвлення;
- якщо буде досягнуто від 50% до 80% рівня заповнення, індикатор буде відображатись жовтим кольором;
- при досягненні або перевищенні 80% індикатор змінює колір на червоний, що означає критичний рівень заповнення контейнера.

Алгоритм функціонування розробленої системи наочно представлено на рисунку 3.1. Він демонструє повний цикл зчитування, обробки, візуалізації та інформування користувача, включаючи реалізацію порогових значень відображення у мобільному застосунку Vlynk.

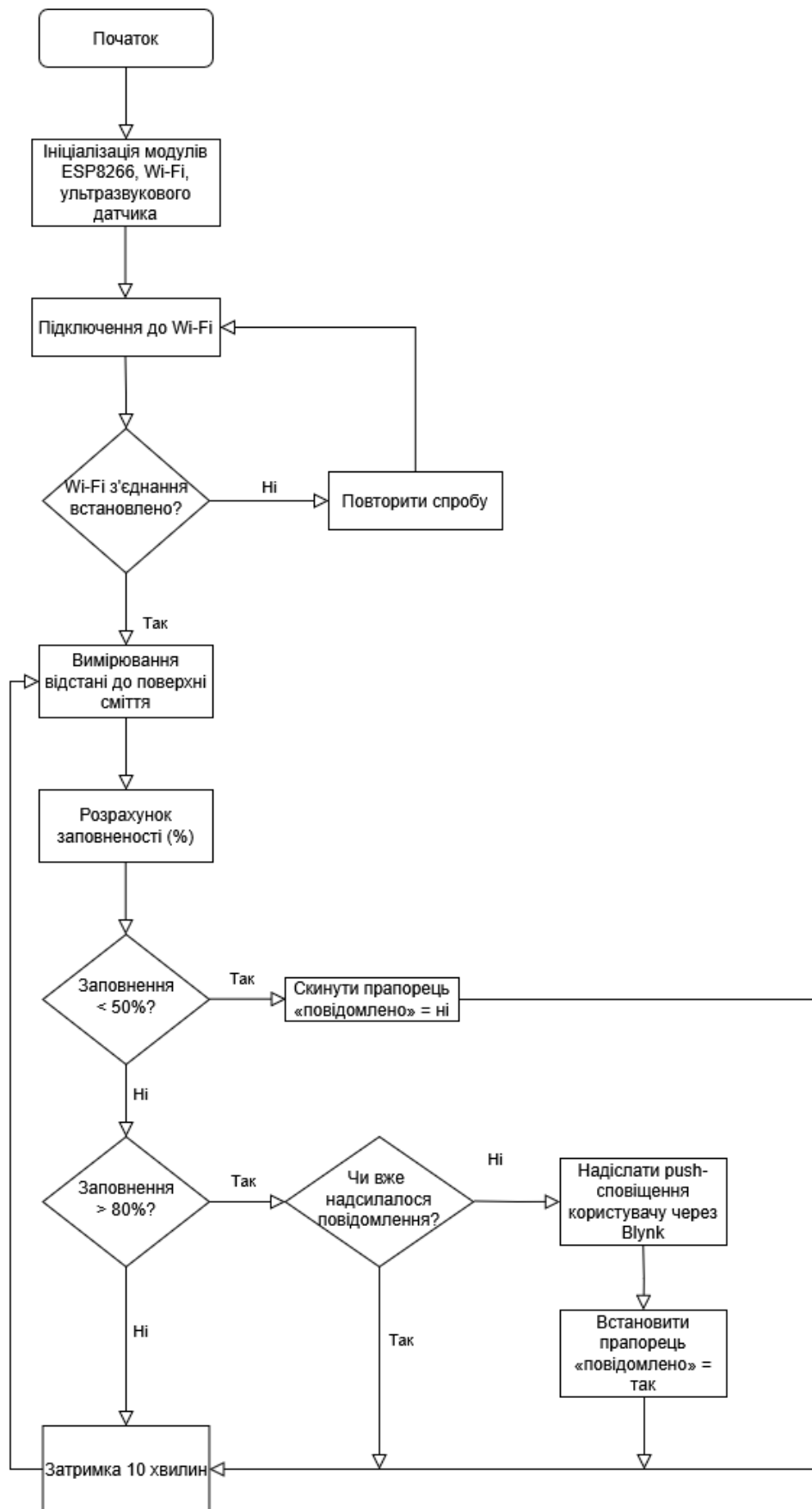


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи контролю заповнення контейнерів

У випадку досягнення критичного рівня система формує одноразове повідомлення (push notification), яке надсилається користувачу через Blynk. Таким чином, користувач отримає оперативне сповіщення про необхідність очищення контейнера без повторного дублювання повідомлень при кожному наступному циклі вимірювання.

Якщо рівень заповнення не перевищує порогових значень, система просто оновлює відповідне значення у застосунку без надсилання сповіщень, дозволяючи користувачу самостійно відстежувати стан смітцевого контейнера. Передача даних. Отримані значення надсилаються на віддалений сервер або платформу моніторингу. Це може бути база даних, Google Sheets, мобільний застосунок або спеціалізований веб-інтерфейс. Важливо, що система може також передбачати зберігання даних у локальну пам'ять у разі відсутності підключення до Інтернету.

Затримка та перехід до наступного циклу вимірювання. Після завершення циклу вимірювання система переходить у режим очікування (наприклад, 10 хвилин) для економії енергії, після чого знову повторює вимірювання.

Таким чином, реалізується замкнутий цикл вимірювання, обробки, передачі та очікування. Завдяки чіткій структурі, система є стабільною, масштабованою та придатною до подальшого розширення функціональності.

Узагальнюючи, варто зазначити, що розроблений алгоритм забезпечує логічну послідовність дій системи у реальних умовах експлуатації. Він дозволяє досягти високої точності у визначенні рівня заповнення контейнера, зменшує людський фактор у процесі моніторингу та сприяє оперативному прийняттю рішень щодо вивозу відходів.

3.2 Попереднє моделювання системи в середовищі Wokwi

На початковому етапі розробки, з метою перевірки працездатності апаратної логіки та усунення можливих помилок до початку фізичного складання системи, було прийнято рішення реалізувати її прототип у симуляційному середовищі

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Wokwi. Це дозволило створити віртуальну модель взаємодії між основними компонентами: мікроконтролером ESP32, ультразвуковим датчиком HC-SR04 та LCD-дисплеєм з інтерфейсом I2C. Використання симулятора дозволило значно прискорити процес розробки та уникнути потенційних пошкоджень апаратного забезпечення на ранніх стадіях.

Однак варто зазначити, що в середовищі Wokwi на момент створення проєкту не була доступна повноцінна підтримка мікроконтролера ESP8266, який є базовою апаратною платформою основної реалізації системи. У зв'язку з цим для моделювання було обрано мікроконтролер ESP32, який є близьким за архітектурою, функціональністю та синтаксисом програмування. Такий підхід дозволив зберегти логіку роботи без суттєвих змін у коді, а також протестувати поведінку програми в умовах, максимально наближених до реальних, що є важливим для ефективного прототипування.

На етапі ініціалізації у програмному коді було налаштовано інтерфейс зв'язку з LCD-дисплеєм (за адресою 0x27), що є типовим для багатьох модулів з підтримкою LiquidCrystal_I2C. Окрім того, визначено логічні порти підключення тригерного та ехосигналу ультразвукового датчика: відповідно GPIO 15 та GPIO 2 на платі ESP32. Перед початком основного циклу виконання програма ініціалізує підключення до дисплея, виводить коротке стартове повідомлення, після чого переходить у режим циклічного вимірювання відстані. Цей підхід забезпечує послідовний запуск та готовність системи до роботи.

На дисплей виводиться поточне значення відстані у зручному для зчитування форматі, що дозволяє користувачу миттєво оцінити рівень заповнення контейнера. В той самий час, значення також дублюється у послідовний монітор, що дозволяє аналізувати зміни у ході тестування або відлагодження, надаючи розробнику деталізовану інформацію про роботу системи. Це забезпечує ефективний контроль та моніторинг даних.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

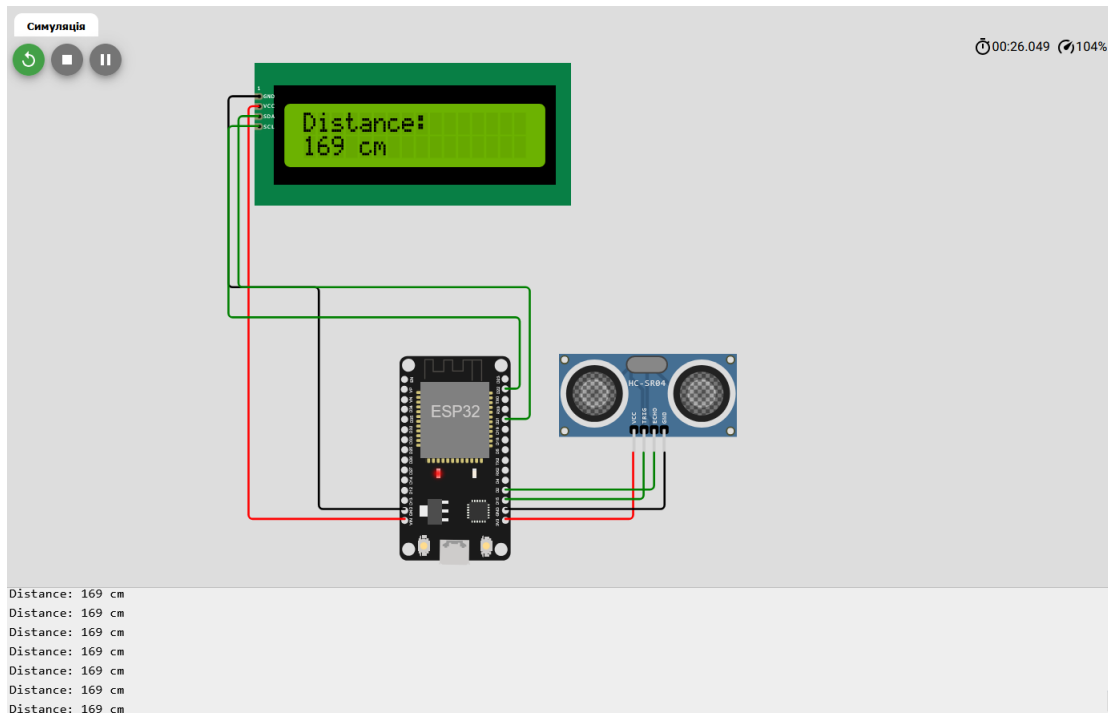


Рисунок 3.2 – Схема підключення компонентів у середовищі Wokwi

Загалом, проведене моделювання підтвердило правильність обраної архітектури, дозволило виявити та усунути логічні неточності, а також заклало основу для подальшої реалізації системи у фізичному середовищі. Симуляційна перевірка особливо корисна у проектах, що мають обмежений бюджет або потребують попереднього тестування перед масовим виготовленням.

3.3 Програмна реалізація системи на мові програмування Arduino (C++)

Програмна частина реалізації системи моніторингу рівня заповнення сміттєвих контейнерів була створена в середовищі розробки Arduino IDE, що забезпечує зручне програмування мікроконтролера ESP8266 мовою, яка базується на C/C++. Основна задача програми - забезпечити взаємодію мікроконтролера з ультразвуковим датчиком, виконати обчислення рівня заповнення, відображати ці значення в мобільному застосунку Blynk та надсилати push-сповіщення при досягненні критичних порогів.

На початковому етапі у програмному коді здійснюється підключення необхідних бібліотек, зокрема бібліотеки BlynkSimpleEsp8266, яка дозволяє організувати зв'язок з хмарним сервером Blynk, та ESP8266WiFi, що забезпечує підключення до локальної Wi-Fi-мережі. Далі задаються параметри з'єднання: SSID, пароль мережі та унікальний токен аутентифікації Blynk, які забезпечують зв'язок мікроконтролера з мобільним застосунком користувача.

Після цього виконується налаштування виводів мікроконтролера, до яких підключено ультразвуковий датчик HC-SR04. Один з пінів (TRIG) використовується для ініціації звукового імпульсу, а інший (ECHO) - для зчитування часу його відбиття. Програма запускає серійний порт для налагодження і відображення даних у моніторі порту Arduino IDE, що зручно при тестуванні.

На рисунку 3.3 представлено вигляд підключеного мікроконтролера ESP8266 до ультразвукового датчика HC-SR04 у процесі тестування.

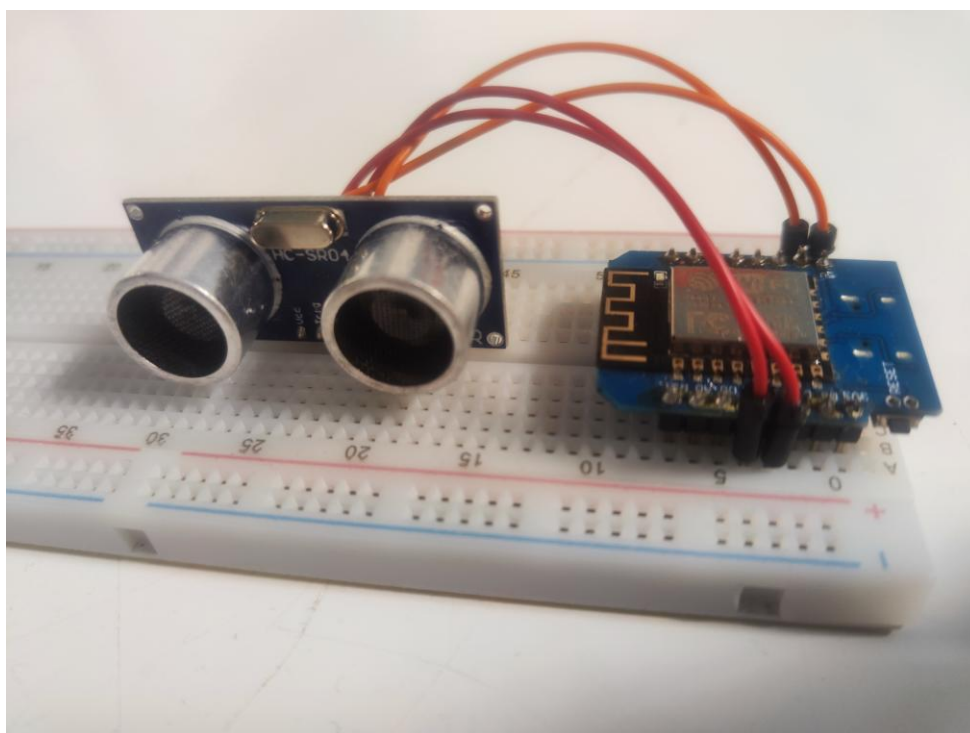


Рисунок 3.3 – Реалізоване підключення плати та датчика HC-SR04

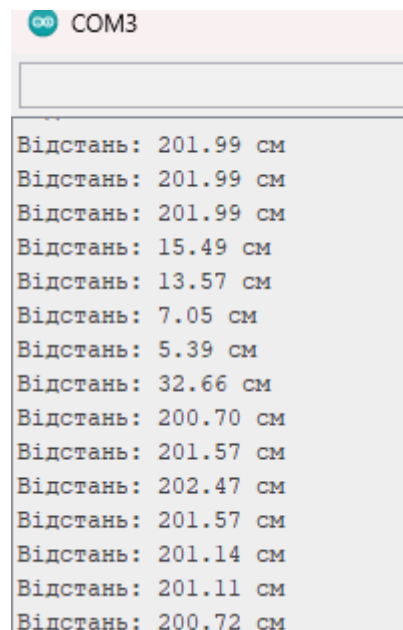
Програмна логіка реалізована у вигляді циклічного обробника (таймера), який викликається кожні 10 секунд. Під час кожного виклику здійснюється

зчитування відстані за допомогою ультразвукового датчика. Алгоритм полягає в генерації короткого імпульсу на вивід TRIG, після чого вимірюється час, необхідний для повернення звукової хвилі, що приймається на ECHO. Враховуючи відому швидкість поширення звуку у повітрі, на основі часу затримки розраховується відстань до поверхні відходів у контейнері.

Щоб уникнути некоректних вимірювань, програмно встановлюється допустимий діапазон для отриманих значень: якщо дистанція менша або більша за порогові значення, результат ігнорується.

Після обробки результат передається на віртуальні пini V0 і V1 у мобільному застосунку Blynk - відповідно для відстані та відсоткового рівня заповнення. Це дозволяє користувачу бачити актуальний стан контейнера в режимі реального часу.

На рисунку 3.4 зображено приклад виводу результатів вимірювань у моніторі порту середовища Arduino IDE.



```
COM3
Відстань: 201.99 см
Відстань: 201.99 см
Відстань: 201.99 см
Відстань: 15.49 см
Відстань: 13.57 см
Відстань: 7.05 см
Відстань: 5.39 см
Відстань: 32.66 см
Відстань: 200.70 см
Відстань: 201.57 см
Відстань: 202.47 см
Відстань: 201.57 см
Відстань: 201.14 см
Відстань: 201.11 см
Відстань: 200.72 см
```

Рисунок 3.4 – Вивід результатів у Arduino IDE

Крім відображення даних, система забезпечує надсилання push-сповіщень через Blynk. Якщо рівень заповнення перевищує 80%, система один раз генерує подію "bin_full", яка викликає сповіщення у мобільному застосунку. Повторне

повідомлення не надсилається, поки контейнер не буде спорожнений (рівень знизиться до 50% або нижче), після чого формується подія "bin_emptied", і цикл повторюється. Це дозволяє уникнути надмірного дублювання повідомлень.

Таким чином, програмна реалізація забезпечує чітку послідовність дій: ініціалізацію обладнання, вимірювання, обчислення рівня заповнення, відображення результатів, генерацію сповіщень та енергозберігаючі цикли очікування.

3.4 Збір та передача даних до веб-сервісу/платформи

Передача даних про рівень заповнення контейнера здійснюється за допомогою інтеграції мікроконтролера ESP8266 із хмарною платформою Blynk, яка забезпечує зручний візуальний інтерфейс у вигляді веб- та мобільного додатку. Дана платформа дозволяє розробникам та користувачам у реальному часі відслідковувати показники з мікроконтролера та взаємодіяти з ним без необхідності створення складних серверних частин.

Після отримання даних з ультразвукового датчика, обчислене значення рівня заповнення (у сантиметрах та у відсотках) передається через віртуальні канали на сервер Blynk. Віртуальні пін-коди V0 та V1 виступають посередниками між пристроєм та графічним інтерфейсом користувача:

- V0 - використовується для передачі значення фактичної відстані до поверхні сміття (у см);
- V1 - містить розраховану величину рівня заповнення контейнера (у %).

Ці значення виводяться у вигляді цифрових шкал (gauge) та лінійного графіку, що дозволяє оперативно відстежувати зміни протягом часу. Дані автоматично оновлюються кожні 10 секунд (для тестування) згідно з програмною логікою, реалізованою у попередньому розділі.

Платформа також надає можливість обробки подій і реалізації push-сповіщень, які приходять безпосередньо у застосунок на смартфоні користувача. У розробленій системі налаштовано два типи таких подій:

На рисунку 3.5 представлено веб-інтерфейс платформи Vlynk із візуалізацією даних, отриманих від системи моніторингу сміттового контейнера. Зображення ілюструє значення відстані до відходів у контейнері, обчислений відсотковий рівень заповнення, а також графік змін цих показників протягом останньої години.

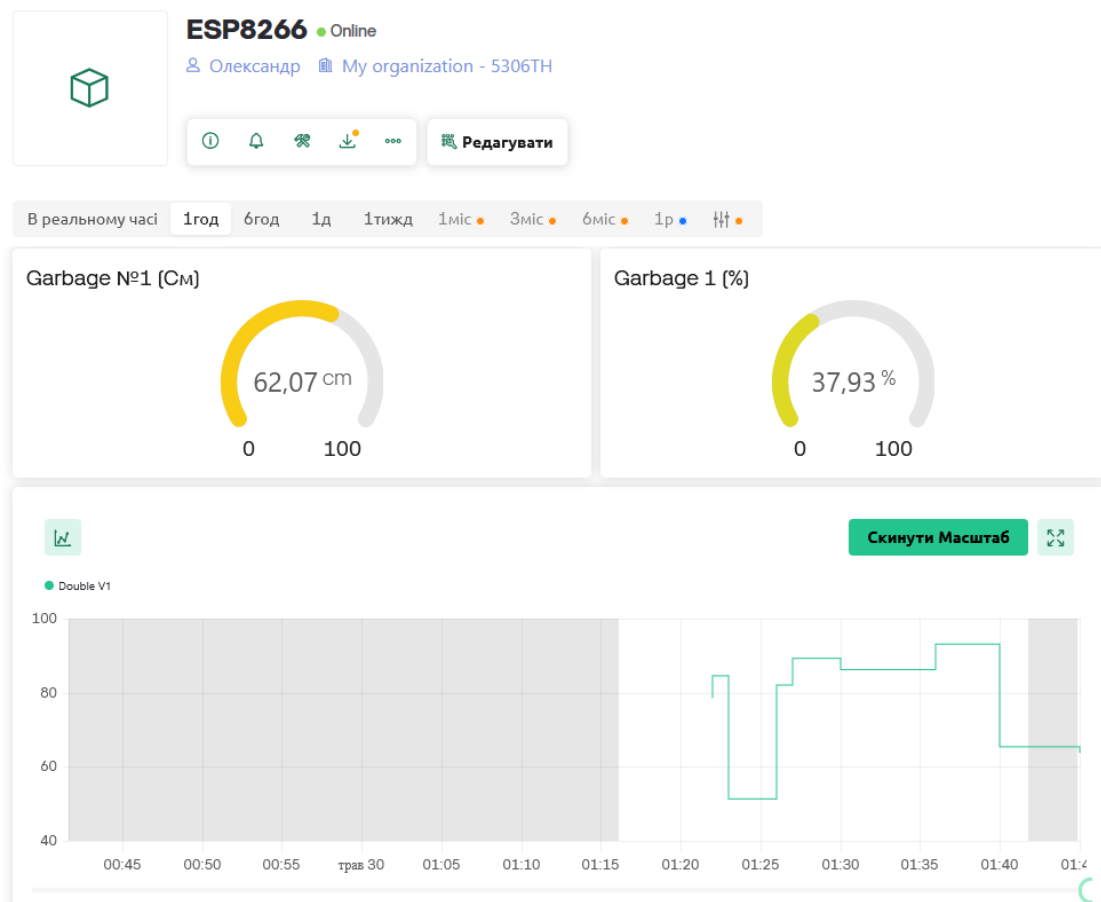


Рисунок 3.5 – Веб-інтерфейс платформи Vlynk з відображенням даних системи

У мобільному застосунку інтерфейс організований аналогічно: відображаються актуальні значення, а також надходять push-сповіщення при досягненні встановлених порогів. Інтерфейс дозволяє контролювати стан системи навіть на відстані, що підвищує її зручність і придатність для практичного впровадження в умовах реального міського середовища.

На рисунку 3.6 показано зовнішній вигляд мобільного додатку Blynk із активними візуальними елементами контролю та графіком рівня заповнення.

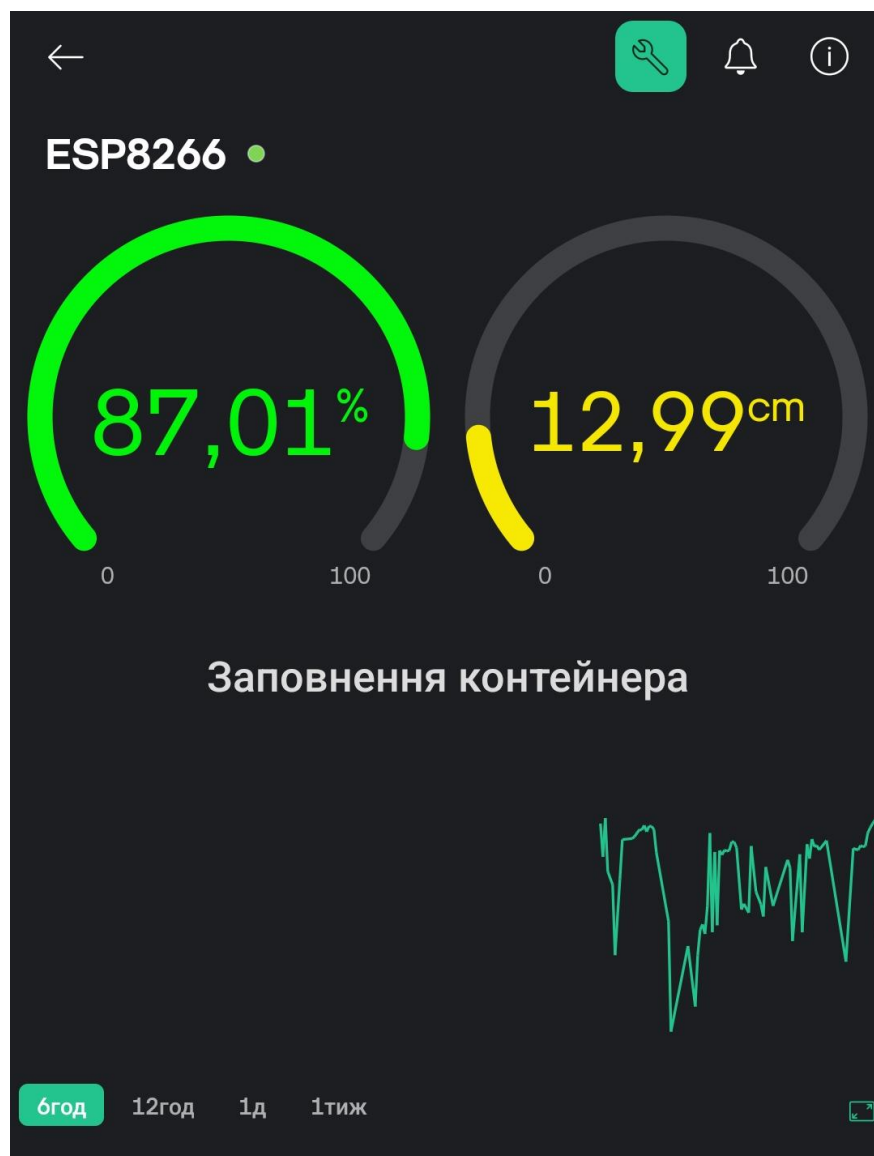


Рисунок 3.6 – Мобільна версія інтерфейсу платформи Blynk

На рисунку 3.7 продемонстровано приклад push-сповіщення в мобільному додатку, яке надходить при досягненні встановленого критичного рівня заповнення.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

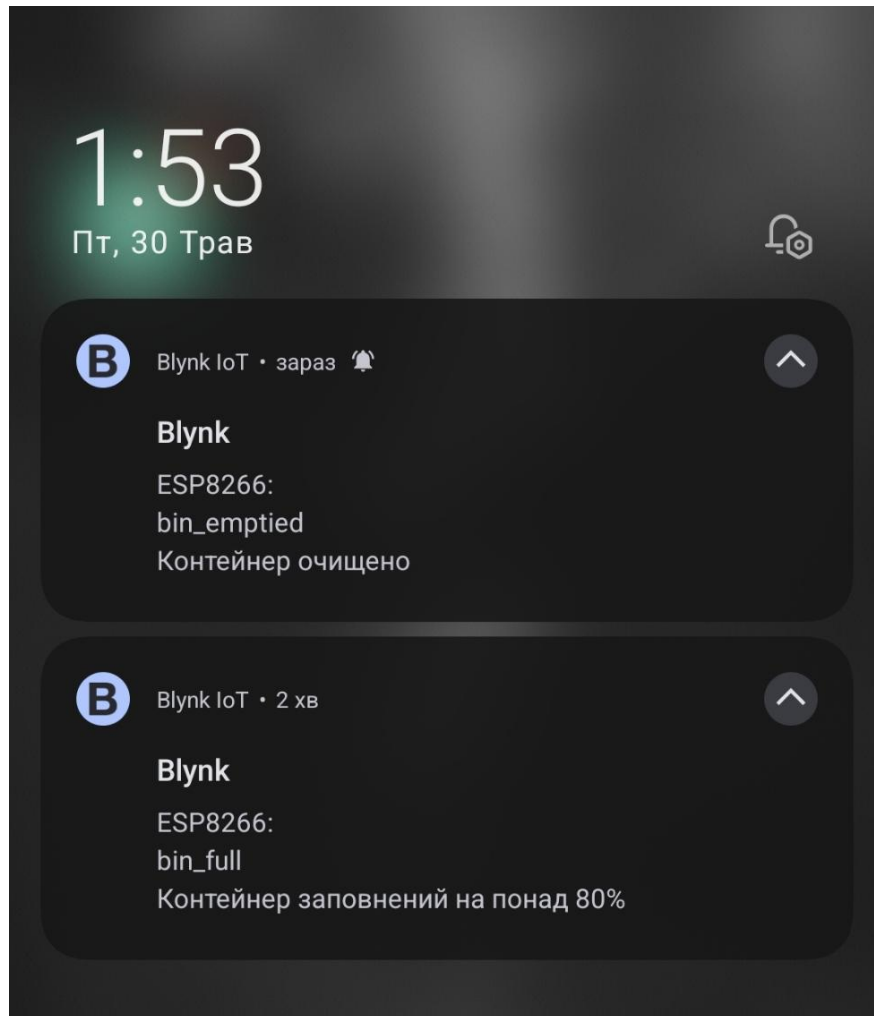


Рисунок 3.7 – Сповіщення Blynk про перевищення порогу заповнення контейнера

Завдяки використанню платформи Blynk, вдалося реалізувати надійний, масштабований і візуально доступний канал передачі та відображення даних без розгортання окремого веб-сервера або написання клієнтських інтерфейсів вручну.

3.5. Результати тестування системи в реальних або змодельованих умовах

Після завершення розробки апаратної та програмної частини системи було проведено тестування з метою перевірки її коректності, стабільності та здатності реагувати на зміну рівня заповнення контейнера в реальному часі. Тестування виконувалося як у реальному середовищі (з використанням фізичної плати ESP8266, ультразвукового датчика HC-SR04 та мобільного додатку Blynk), так і у

віртуальному середовищі симуляції Wokwi (де через відсутність підтримки ESP8266 використовувався мікроконтролер ESP32).

Однією з ключових особливостей системи є те, що вимірювання рівня заповнення контейнера, висота якого становить 75 см, не відбувається постійно, а проводиться з інтервалом у 10 хвилин. Це дозволяє уникнути зайвого навантаження на мікроконтролер та мережу, а також оптимізує споживання енергії в умовах реального застосування, наприклад при живленні від акумуляторів або сонячних панелей.

Тестування відбувалося за умов, максимально наближених до реального використання. Контейнер був змодельований із застосуванням побутових предметів різної висоти, які поступово додавалися для імітації заповнення. Усі зміни фіксувалися системою автоматично: кожні 10 хвилин система виконувала вимірювання відстані за допомогою ультразвукового датчика, після чого дані передавалися на сервер Blynk.

У таблиці 3.1 наведено узагальнені результати спостережень під час тестування:

Таблиця 3.1 – Узагальнені результати спостережень під час тестування системи заповнення контейнера

№	Стан контейнера	Виміряна відстань (см)	Обчислене заповнення (%)	Надіслане сповіщення	Поведінка системи
1	Порожній	~73-75	0-3	Немає	Очікування
2	Частково заповнений	~37.5	~50	bin_emptied (якщо раніше було 80+)	Скидання прапора
3	Повний	~10-15	~80-86	bin_full	Активне інформування

На основі розрахованого значення система не лише виводила інформацію у візуальному вигляді у мобільному додатку (на віртуальних пінів V0 та V1), а й надсилала push-сповіщення у разі досягнення певних порогів.

Період вимірювання у 10 хвилин забезпечував стабільність системи та дозволяв уникнути зайвої передачі даних. Протягом тестування жодного разу не було втрачено зв'язок із платформою Blynk, що свідчить про надійність Wi-Fi-з'єднання на базі ESP8266.

Таким чином, система продемонструвала повну відповідність функціональним вимогам:

- своєчасне реагування на зміну заповнення;
- коректне виведення інформації в додатку Blynk;
- стабільну роботу Wi-Fi-з'єднання;
- наявність логіки для фільтрації повторних подій.

Результати тестування підтверджують практичну доцільність використання цієї системи в умовах побутового та комунального застосування. Її можна масштабувати та адаптувати для потреб муніципальних служб або приватних компаній зі збору сміття.

3.6. Оцінка ефективності та переваг системи

Розроблена система моніторингу рівня заповнення смітєвих контейнерів демонструє належний рівень ефективності та функціональності, що підтверджується результатами моделювання та практичного тестування. Завдяки використанню ультразвукового датчика HC-SR04, вдалося досягти стабільного та достатньо точного вимірювання відстані до сміття в контейнері, що у поєднанні з попередньо заданою висотою (у даному випадку - 75 см) дає змогу обчислювати рівень заповнення з високою достовірністю.

Однією з переваг є використання мікроконтролера ESP8266, який забезпечує бездротову передачу даних через Wi-Fi без необхідності в додаткових

комунікаційних модулях. Це знижує вартість системи, зменшує її енергоспоживання та полегшує процес розгортання в реальних умовах. Інтеграція з платформою Blynk дозволила реалізувати зручний візуальний інтерфейс для користувача з можливістю віддаленого моніторингу стану контейнерів, а також оперативне отримання push-сповіщень про критичні рівні заповнення (наприклад, перевищення 80% або очищення контейнера).

Система показала високу стабільність під час безперервної роботи - без збоїв або зависань протягом тривалого тестового періоду. Завдяки інтервалу вимірювання у 10 хвилин, вдається зменшити навантаження на мережу та мікроконтролер, що є важливою перевагою для застосування у масштабованих системах або в умовах обмеженого живлення (наприклад, від акумуляторів чи сонячних панелей).

Окремо варто зазначити, що система була успішно протестована як у реальному середовищі, так і в віртуальному симуляторі Wokwi, що дозволило перевірити її працездатність у різних конфігураціях - з використанням ESP8266 у реальності та ESP32 у симуляційному середовищі, з додатковим виведенням інформації на I2C-дисплей.

Серед основних переваг розробленого рішення можна виокремити такі:

- низька вартість реалізації завдяки використанню доступних компонентів;
- можливість масштабування до великої кількості контейнерів;
- зручний віддалений контроль через мобільний або веб-інтерфейс Blynk;
- оперативне сповіщення користувача про критичні ситуації;
- гнучкість системи - можливість налаштування інтервалів, порогів заповнення, типів сповіщень тощо;
- простота обслуговування та оновлення програмного забезпечення.

Таким чином, можна зробити висновок, що запропонована система повністю відповідає поставленим вимогам і може бути адаптована до широкого спектра реальних застосувань, включаючи міське управління відходами, приватні підприємства та житлово-комунальні господарства.

3.7. Висновки до розділу 3

У цьому розділі було здійснено практичну реалізацію автоматизованої системи контролю заповнення сміттєвих контейнерів, яка є завершальним і ключовим етапом у розробці запропонованого технічного рішення. Основна увага приділялася розробці алгоритмічного забезпечення, програмної реалізації, перевірці працездатності системи у різних умовах, а також оцінці її ефективності та переваг у контексті реального застосування.

Особливу увагу було зосереджено на логіці роботи системи, яка повинна функціонувати стабільно, точно та безперебійно в умовах різних рівнів заповнення контейнера. Запропонований алгоритм було ретельно проаналізовано та реалізовано з урахуванням особливостей вибраного мікроконтролера ESP8266, який поєднує в собі необхідну обчислювальну потужність та можливості бездротової передачі даних. Усі етапи роботи системи - від ініціалізації модулів до аналізу результатів та передачі їх на платформу моніторингу - були сформовані у вигляді послідовного алгоритму, що гарантує узгодженість усіх дій і дозволяє з легкістю масштабувати або модифікувати рішення у майбутньому.

У процесі реалізації програмної частини було описано основні принципи зчитування даних з ультразвукового сенсора, обробки сигналу, розрахунку рівня заповнення контейнера у відсотках та виведення результату на мобільний додаток. Було реалізовано логіку, яка дозволяє не тільки визначати рівень заповнення, а й динамічно реагувати на його зміну через надсилання push-сповіщень користувачу. Для візуалізації даних та керування системою обрано хмарну платформу Blynk, що забезпечила просту інтеграцію з мобільним пристроєм та можливість гнучкого налаштування інтерфейсу.

Окремо варто зазначити, що система передбачає різні рівні сигналізації: зелений індикатор - при нормальному рівні заповнення, жовтий - при досягненні середнього рівня (50–80%), та червоний - при перевищенні критичного порогу в

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

80%. Такий підхід дозволяє користувачам легко орієнтуватися в поточному стані контейнера навіть без читання числових значень.

Крім практичного прототипу на ESP8266, реалізацію було змодельовано в середовищі Wokwi з використанням мікроконтролера ESP32 через обмеження самої платформи. Завдяки цьому вдалося створити повноцінну віртуальну модель, яка дозволяє відлагоджувати логіку, перевіряти точність вимірювання та досліджувати поведінку системи без необхідності фізичного доступу до обладнання. У віртуальному середовищі також було використано I2C-дисплей для локального відображення результатів вимірювання, що підтвердило можливість розширення функціоналу системи за потреби.

Оцінка ефективності системи засвідчила її працездатність та відповідність поставленим вимогам. Результати тестування у змодельованих та реальних умовах показали, що система стабільно передає дані до Blynk, коректно обчислює рівень заповнення та вчасно генерує сповіщення. Використання інтервалу вимірювання в 10 хвилин дозволяє мінімізувати навантаження на мікроконтролер та підвищити енергоефективність, що особливо актуально для автономних пристроїв, які можуть працювати від акумуляторів чи сонячних панелей.

Таким чином, розділ 3 не лише демонструє технічну реалізацію запропонованого рішення, а й підкреслює його практичну придатність. Комплексне поєднання апаратного та програмного забезпечення, ефективна передача даних, простота використання для кінцевого користувача та можливість масштабування - усе це дозволяє розглядати систему як надійний інструмент для вирішення актуальних завдань у сфері поводження з побутовими відходами в межах концепції "розумного міста".

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено, реалізовано та протестовано автоматизовану систему контролю заповнення сміттєвих контейнерів на базі мікроконтролера ESP8266 з використанням ультразвукового сенсора HC-SR04 та хмарного сервісу Blynk. Запропоноване рішення дозволяє в реальному часі відстежувати рівень заповнення контейнерів, оптимізувати процес вивезення відходів, а також зменшити витрати на логістику й покращити екологічний стан міського середовища.

У першому розділі проведено огляд проблематики управління побутовими відходами в умовах урбанізації, виконано аналіз сучасних рішень у сфері моніторингу заповненості контейнерів, охарактеризовано технічні можливості використання мікроконтролерів, зокрема ESP8266, та обґрунтовано доцільність його застосування в даному проєкті. Також було сформульовано мету, задачі та предмет дослідження.

У другому розділі проведено детальне проектування апаратної частини системи. Здійснено вибір основних компонентів - ультразвукового датчика HC-SR04, плати ESP8266 (NodeMCU), LCD-дисплея, живлення та засобів комунікації. Розроблено принципову електричну схему, а також друковану плату за допомогою EasyEDA з подальшою візуалізацією в 2D та 3D. Описано топологічну структуру системи, а також обґрунтовано вибір середовища програмування Arduino IDE для написання та тестування коду.

У третьому розділі реалізовано алгоритм функціонування системи: від ініціалізації компонентів до збору, обробки та передачі даних на платформу Blynk. Продемонстровано використання як фізичного пристрою на базі ESP8266, так і симулятора Wokwi з мікроконтролером ESP32, що дозволило протестувати систему без фізичних обмежень. Проведено тестування в реальних умовах, під час якого було зафіксовано стабільну роботу Wi-Fi-з'єднання, коректне виведення інформації на віртуальні пін Blynk, а також своєчасне надсилання push-сповіщень

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при досягненні критичних рівнів заповнення контейнера. Оцінено ефективність системи з погляду швидкодії, надійності та зручності для користувача.

Загалом, запропонована система підтвердила свою працездатність, точність та зручність у застосуванні, що робить її придатною для масштабування та впровадження в міській інфраструктурі управління відходами.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Sosunova I., Porras J. IoT-enabled smart waste management systems for smart cities: A systematic review. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 73326–73363.
2. Sen Gupta Y., Mukherjee S., Dutta R., Bhattacharya S. A blockchain-based approach using smart contracts to develop a smart waste management system. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021. Vol. 19, No. 8. P. 7833–7856.
3. Longo E., Sahin F. A., Redondi A. E., Bolzan P., Bianchini M., Maffei S. A 5G-enabled smart waste management system for university campus. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 24. P. 8278.
4. Chowdhury N. R., Paul S. K., Sarker T., Shi Y. Implementing smart waste management system for a sustainable circular economy in the textile industry. *International Journal of Production Economics*. 2023. Vol. 262. P. 108876.
5. Sallang N. C. A., Islam M. T., Islam M. S., Arshad H. A CNN-based smart waste management system using TensorFlow lite and LoRa-GPS shield in Internet of Things environment. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 153560–153574.
6. Cheema S. M., Hannan A., Pires I. M. Smart waste management and classification systems using cutting edge approach. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No. 16. P. 10226.
7. Ramson S. J., Moni D. J., Vishnu S., Anagnostopoulos T., Kirubaraj A. A., Fan X. An IoT-based bin level monitoring system for solid waste management. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2021. Vol. 23. P. 516–525.
8. Wahyutama A. B., Hwang M. YOLO-based object detection for separate collection of recyclables and capacity monitoring of trash bins. *Electronics*. 2022. Vol. 11, No. 9. P. 1323.
9. Ramson S. J., Vishnu S., Kirubaraj A. A., Anagnostopoulos T., Abu-Mahfouz A. M. A LoRaWAN IoT-enabled trash bin level monitoring system. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2021. Vol. 18, No. 2. P. 786–795.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Hussain I., Elomri A., Kerbache L., El Omri A. Smart city solutions: Comparative analysis of waste management models in IoT-enabled environments using multiagent simulation. *Sustainable Cities and Society*. 2024. Vol. 103. P. 105247.

11. Salehi-Amiri A., Akbapour N., Hajiaghaei-Keshteli M., Gajpal Y., Jabbarzadeh A. Designing an effective two-stage, sustainable, and IoT based waste management system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 157. P. 112031.

12. John J., Varkey M. S., Podder R. S., Sensarma N., Selvi M., Santhosh Kumar S. V. N., Kannan A. Smart prediction and monitoring of waste disposal system using IoT and cloud for IoT based smart cities. *Wireless Personal Communications*. 2022. Vol. 122, No. 1. P. 243–275.

13. Ihsanullah I., Alam G., Jamal A., Shaik F. Recent advances in applications of artificial intelligence in solid waste management: A review. *Chemosphere*. 2022. Vol. 309. P. 136631.

14. Fang B., Yu J., Chen Z., Osman A. I., Farghali M., Ihara I., et al. Artificial intelligence for waste management in smart cities: a review. *Environmental Chemistry Letters*. 2023. Vol. 21, No. 4. P. 1959–1989.

15. Andeobu L., Wibowo S., Grandhi S. Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 834. P. 155389.

16. Wang C., Qin J., Qu C., Ran X., Liu C., Chen B. A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. *Waste Management*. 2021. Vol. 135. P. 20–29.

17. Akbarpour N., Salehi-Amiri A., Hajiaghaei-Keshteli M., Oliva D. An innovative waste management system in a smart city under stochastic optimization using vehicle routing problem. *Soft Computing*. 2021. Vol. 25. P. 6707–6727.

18. Khan A. U. R., Ahmad R. W. A blockchain-based IoT-enabled E-waste tracking and tracing system for smart cities. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 86256–86269.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Ahmad R. W., Salah K., Jayaraman R., Yaqoob I., Omar M. Blockchain for waste management in smart cities: A survey. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 131520–131541.
20. Farjana M., Fahad A. B., Alam S. E., Islam M. M. An IoT-and cloud-based e-waste management system for resource reclamation with a data-driven decision-making process. *IoT*. 2023. Vol. 4, No. 3. P. 202–220.
21. Alam T. Cloud-based IoT applications and their roles in smart cities. *Smart Cities*. 2021. Vol. 4, No. 3. P. 1196–1219.
22. Al Enany M. O., Harb H. M., Attiya G. A Comparative analysis of MQTT and IoT application protocols. 2021 International Conference on Electronic Engineering (ICEEM). 2021. P. 1–6.
23. Umashankar M. L., Mallikarjunaswamy S., Sharmila N., Kumar D. M., Nataraj K. R. A survey on IoT protocol in real-time applications and its architectures. ICDSMLA 2021: Proceedings of the 3rd International Conference on Data Science, Machine Learning and Applications. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. P. 119–130.
24. Alshammari H. H. The internet of things healthcare monitoring system based on MQTT protocol. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 69. P. 275–287.
25. Gemirter C. B., Şenturca Ç., Baydere Ş. A comparative evaluation of AMQP, MQTT and HTTP protocols using real-time public smart city data. 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK). 2021. P. 542–547.
26. Lakshminarayana S., Praseed A., Thilagam P. S. Securing the IoT application layer from an MQTT protocol perspective: Challenges and research prospects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2024.
27. Aarathi M., Bhuvaneshwaran A. IoT based drainage and waste management monitoring and alert system for smart city. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021. Vol. 25, No. 3. P. 6641–6651.
28. Anggrawan A., Hadi S., Satria C. IoT-based garbage container system using NodeMCU ESP32 microcontroller. *Journal of Advances in Information Technology*. 2022. Vol. 13, No. 6.

					КВРКІ 210241.21.02.13 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. Murugesan S., Ramalingam S., Kanimozhi P. Theoretical modelling and fabrication of smart waste management system for clean environment using WSN and IOT. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 45. P. 1908–1913.

30. Zhang A., Hahanov V., Litvinova E., Chumachenko S., Hajimahmud V. A., Alyar A. V. The Key Assistant of Smart City: Sensors and Tools. In *AI-Centric Smart City Ecosystems*. CRC Press, 2022. P. 271–280.

31. Ramírez-Moreno M. A., Keshtkar S., Padilla-Reyes D. A., Ramos-López E., García-Martínez M., Hernández-Luna M. C., et al. Sensors for sustainable smart cities: A review. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, No. 17. P. 8198.

32. Balestrieri E., Daponte P., De Vito L., Lamonaca F. Sensors and measurements for unmanned systems: An overview. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No. 4. P. 1518.

33. Park J., Park B., Kim T. Y., Jung S., Choi W. J., Ahn J., et al. Quadruple ultrasound, photoacoustic, optical coherence, and fluorescence fusion imaging with a transparent ultrasound transducer. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2021. Vol. 118, No. 11. P. e1920879118.

34. Westerveld W. J., Mahmud-UI-Hasan M., Shnaiderman R., Ntziachristos V., Rottenberg X., Severi S., Rochus V. Sensitive, small, broadband and scalable optomechanical ultrasound sensor in silicon photonics. *Nature Photonics*. 2021. Vol. 15, No. 5. P. 341–345.

35. Shi Q., Sun Z., Le X., Xie J., Lee C. Soft robotic perception system with ultrasonic auto-positioning and multimodal sensory intelligence. *ACS Nano*. 2023. Vol. 17, No. 5. P. 4985–4998.

36. Kurniawan T. A., Meidiana C., Othman M. H. D., Goh H. H., Chew K. W. Strengthening waste recycling industry in Malang (Indonesia): Lessons from waste management in the era of Industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*. 2023. Vol. 382. P. 135296.

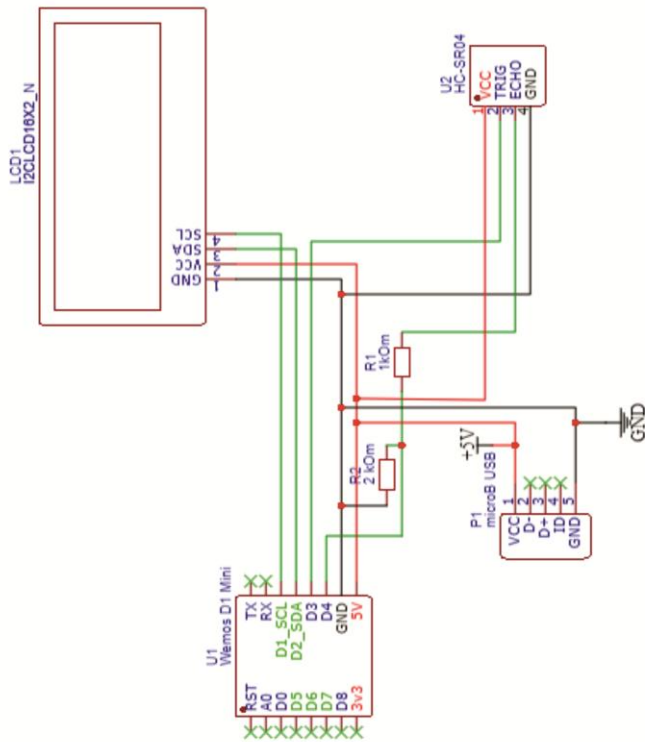
37. Rani S., Bhambri P., Kataria A., Khang A., Sivaraman A. K. (Eds.). *Big Data, Cloud Computing and IoT: Tools and Applications*. CRC Press, 2023.

38. hangam S., Gurupriya M., Yadav C. S. K., Harshith M., Kumar M. S. A Smart Waste Management System Using ESP8266. Proceedings of the 2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSSES). IEEE, 2024. P. 1–5.
39. Gopi A., Jacob J. A., Puthumana R. M., AK R., Manohar B. IoT Based Smart Waste Management System. Proceedings of the 2021 8th International Conference on Smart Computing and Communications (ICSCC). IEEE, 2021. P. 298–302.
40. Lincy F. A., Sasikala T. Smart Dustbin Management Using IoT and Blynk Application. Proceedings of the 2021 5th International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI). IEEE, 2021. P. 429–434.
41. Україна в топ країн з найбільшим обсягом сміття на жителя. URL: https://espresso.tv/news/2019/07/15/ukrayina_v_top_krayin_z_naybilshym_obsyagom_smittya_na_zhytelya (дата звернення: 26.03.2025).
42. Scirocco – Smart Waste Management Solutions. URL: <https://scirocco.gr/> (дата звернення: 26.03.2025).
43. Enevo — Total Waste Systems. URL: <https://enevo.com/> (дата звернення: 26.03.2025).
44. У Києві почали встановлювати "розумні" підземні смітєві баки. URL: <https://www.unian.ua/ecology/trash/1905559-u-kievi-pochali-vstanovlyuvati-rozumni-pidzemni-smittevi-baki-foto-video.html> (дата звернення: 26.03.2025).
45. Waste level monitoring application – RecycloBin. URL: <https://www.recyclobin.com/waste-level-monitoring-application> (дата звернення: 27.03.2025).
46. NodeMCU ESP8266 — joy-it. URL: <https://joy-it.net/en/products/SBC-NodeMCU> (дата звернення: 27.03.2025).
47. HC-SR04 – ультразвуковий датчик відстані. URL: <https://uk.hwlibre.com/hc-sr04/> (дата звернення: 27.03.2025).

Додаток А
(обов'язковий)

**КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЕЛЕКТРИЧНО-ПРИНЦИПОВА СХЕМА
МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ»**

Електрично-принципова схема мікроконтролерної системи

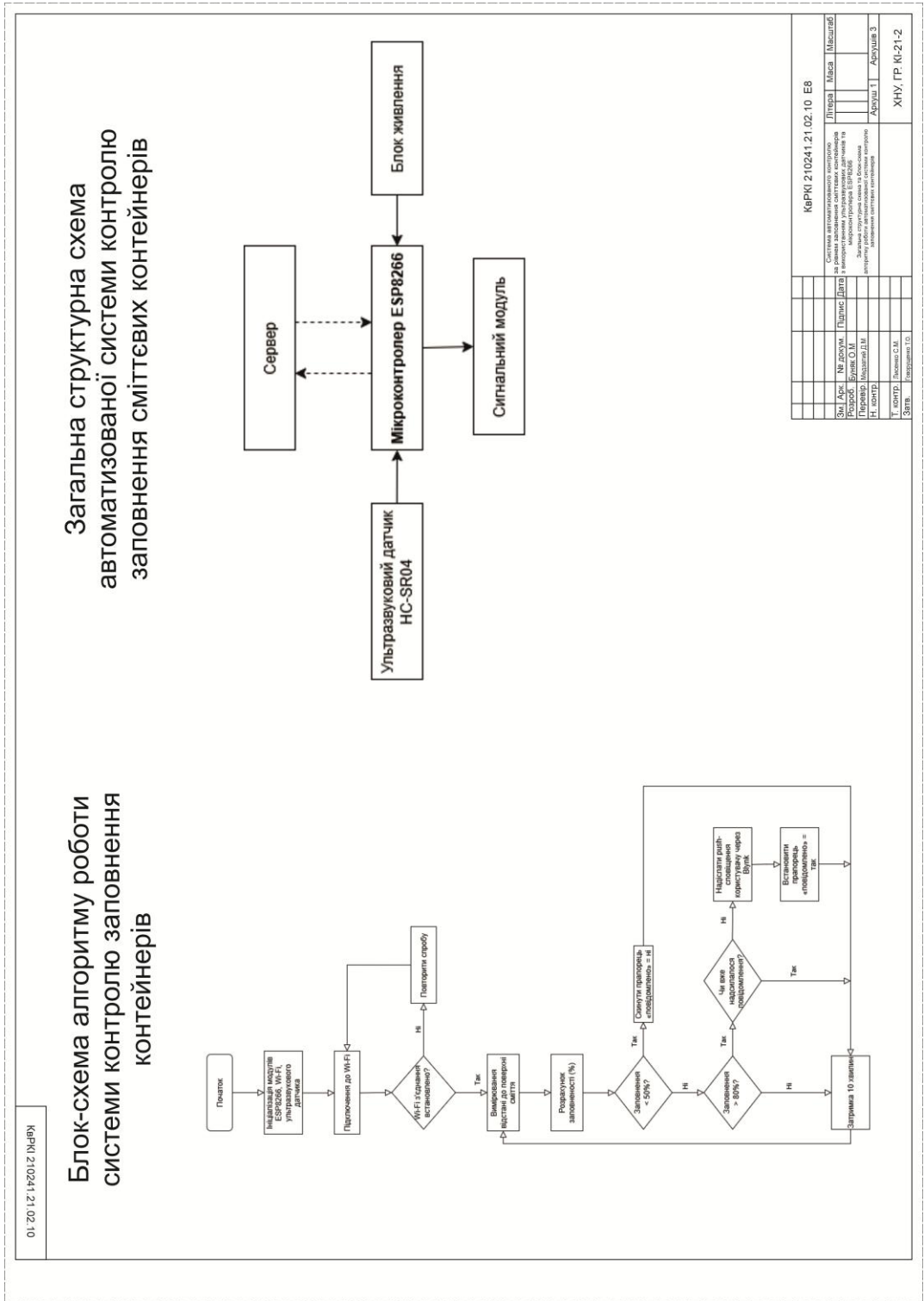


КерКІ 210241.21.02.10

КерКІ 210241.21.02.10 ЕБ			
Літера	Місяц	Масштаб	
Система автоматизованого контролю та управління енергетичними об'єктами			
Мікроконтролерна ЕБПД			
Мікроконтролерна система			
Т. констр.	Аркуш 1	Аркуш 3	
Т. конст.	Всього С.М.	ХНУ, ГР. КІ-21-2	
Затв.	Розробник І.О.		

Додаток Б
(обов'язковий)

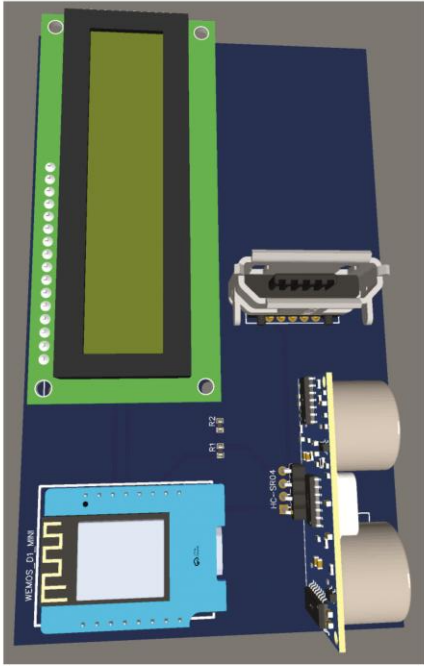
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРНА СХЕМА ТА БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗАПОВНЕННЯ СМІТТЄВИХ КОНТЕЙНЕРІВ»



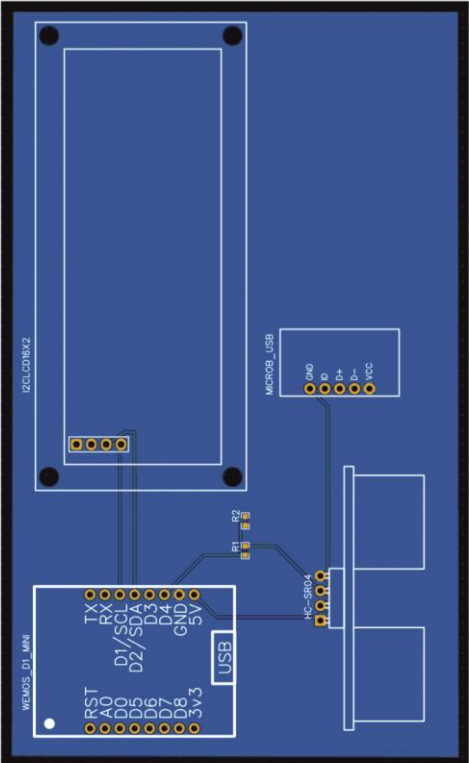
Додаток В
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ТОПОЛОГІЯ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ ТА 3D-ВИГЛЯД»

3D-візуалізація плати



2D ТОПОЛОГІЯ



КВРКІ 210241.21.02.10

КВРКІ 210241.21.02.10 ЕБ		Літера	Масштаб
См.	Арс.	№ докум.	Підпис
Розроб.	Метале Д.М.	Дата	
Т. констр.	Львівський С.М.	Топологія друкованої плати та 3D-вигляд	Архив 1 Архив 9
Затв.	Львівський С.М.		ХНУ, ГР: КІ-21-2

Система автоматизованого контролю за рівнем виконання сінтєзних операцій мікроконтролера ЕВРК206
Топологія друкованої плати та 3D-вигляд

Додаток Г
(обов'язковий)

КОД ПРОГРАМИ

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID " MyTemplateID"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME " MyTemplateName"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN " MyAuthToken"

#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

#define TRIG_PIN D6
#define ECHO_PIN D5

char ssid[] = " WIFI-SSID";
char pass[] = " PASSWORD";

// Висота контейнера
const float MAX_HEIGHT = 100.0;

BlynkTimer timer;

bool isFullNotified = false;
bool isEmptiedNotified = false;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(TRIG_PIN, OUTPUT);
  pinMode(ECHO_PIN, INPUT);

  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);

  // Оновлення кожні 10 секунд
```

```

    timer.setInterval(10000L, sendData);
}

void sendData() {
    long duration;
    float distance;

    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(TRIG_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TRIG_PIN, LOW);

    duration = pulseIn(ECHO_PIN, HIGH, 30000);
    distance = duration * 0.034 / 2;

    if (distance <= 0 || distance > MAX_HEIGHT) return;

    float fillPercent = ((MAX_HEIGHT - distance) / MAX_HEIGHT) *
100.0;
    fillPercent = constrain(fillPercent, 0, 100);

    Serial.print("Відстань: ");
    Serial.print(distance);
    Serial.print(" см | Заповнення: ");
    Serial.print(fillPercent);
    Serial.println(" %");

    Blynk.virtualWrite(V0, distance);
    Blynk.virtualWrite(V1, fillPercent);

    // Сповіщення через Blynk
    if (fillPercent >= 80.0 && !isFullNotified) {
        Blynk.logEvent("bin_full");
        isFullNotified = true;
    }
}

```

```
        isEmptyNotified = false;
    } else if (fillPercent <= 50.0 && !isEmptyNotified &&
isFullNotified) {
        Blynk.logEvent("bin_emptied"); // Push чепез Event
bin_emptied
        isEmptyNotified = true;
        isFullNotified = false;
    }
}

void loop() {
    Blynk.run();
    timer.run();
}
```

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

Автор: Олександр БУНЯК

Співавтор:

Назва: Буняк__ Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 8.4%

Коефіцієнт подібності 2: 3.8%

Мікропробіли: 8

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-10 07:06:06.0

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:

2025-06-10

Дата

Доцент Андрій Нічпорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 20.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 244357 Title: БКР Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266 Added in a DB: 2025-06-10 Authors: Олександр БУНЯК Heads: Дмитро МЕДЗАТИЙ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	81118	622	18051 (22%)	159 (26%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes
240800	Title: Звіт з ПДП Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266 Added in a DB: 2025-05-04 Authors: Буняк О.М. Heads: Савенко О.С. Consultants: Opponents:	16588 (20.0%)	134 (22.0%)

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Буняк Олександр Миколайович

Тема: Система автоматизованого контролю за рівнем заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків та мікроконтролера ESP8266

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка та моделювання автоматизованої мікроконтролерної системи моніторингу заповнення сміттєвих контейнерів з використанням ультразвукових датчиків HC-SR04 та мікроконтролера ESP8266

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

3. У першому розділі наведено всебічний аналіз предметної області: досліджено проблематику управління ТПВ, розглянуто сучасні комерційні рішення (Sensoneo, Enevo, RecycloBin UltraEye), порівняно апаратні платформи, обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP8266 та ультразвукового датчика HC-SR04, сформульовано постановку задачі.

У другому розділі здійснено проектування системи: розроблено структурну схему, принципову схему, топологію друкованої плати, описано функціонування основних компонентів. Також реалізовано інтерфейс LCD, описано взаємодію з Blynk IoT, а також використано Arduino IDE та Wokwi для тестування.

У третьому розділі проведено практичну реалізацію: система протестована у віртуальному середовищі, підтверджено її працездатність, подано фотографії з підключенням, результати відображення в серійному моніторі та мобільному застосунку. Робота заснована на сучасних технологіях розробки вбудованих систем та інтернету речей.

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи, актуальність тематики, застосування сучасних мікроконтролерів, IoT-платформ та середовищ моделювання. Система має реальний потенціал для подальшого впровадження у муніципальні проекти з управління відходами.

5. Негативні сторони роботи: Незначна увага приділена моделюванню системи у професійному FPGA-середовищі (наприклад, Quartus II чи аналогічних) – що могло б дозволити оцінити альтернативний підхід до реалізації на ПЛІС.

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

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

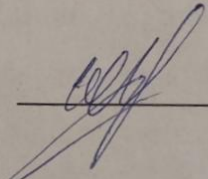
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

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

*Стасюк Микола Володимир доктор філософії, е.с. викладач,
координатор кібербезпеки*

"В" 06 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Олександра БУНЯКА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

09.06 2025 року

