

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень


Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі  
Назва теми

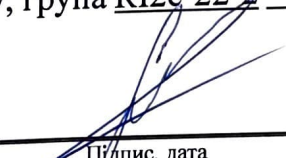
КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ  
Шифр

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 КІ2с-22-2  Підпис  
Владислав МУРАВЕЛЬ  
Ініціали, прізвище

Керівник  Підпис, дата  
Андрій НІЧЕПОРУК  
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

«20» 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

Владиславу МУРАВЛЮ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі

Керівник проекту (роботи) Андрій Нічепорук, 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) \_\_\_\_\_

Кіберфізична система віддаленого поливу рослин з моніторингом рівня рідини та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи збору й обробки інформації у кіберфізичній системі віддаленого поливу рослин

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин із GSM-з'єднанням і хмарним сервісом Blynk

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

Структурна схема кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин

Принципова електрична схема системи

Монтажна схема (розводка та підключення компонентів)

Блок-схеми алгоритмів моніторингу рівня води та керування насосом

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	Нічепорук А.О., 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)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Розділ 1: огляд існуючих рішень віддаленого поливу й моніторингу рівня рідини; постановка задачі.	01.03.2025	виконано
4	Розділ 2: проєктування апаратної частини - вимоги, структура, принципова та монтажна схеми; аналіз компонентів.	01.04.2025	виконано
5	Розділ 3: програмна реалізація - налаштування Wlynk, розробка й тестування прошивки ESP8266 із GSM і сенсорами.	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис





Владислав МУРАВЕЛЬ  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Андіой НІЧЕПОРУК  
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			Текстові документи			
1		КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Пояснювальна записка	63		
			<u>Графічні документи</u>			
2		КвРКІ.022116.22.02.32 Е8	Структурна схема пристрою безпеки	1		
3		КвРКІ.022116.22.02.32 Е8	Принципова схема пристрою безпеки	1		
4		КвРКІ.022116.22.02.32 Е8	Алгоритм роботи пристрою безпеки	1		

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ					
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту			Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Муравель		02.06.25				У	1	63
Перевір.		Нічепорук		02.06.25				ХНУ, КІ2с-22-2		
Н. контр.		Кисіль		02.06.25						
Затв.		Павлова		02.06.25						

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі».

Автор роботи: Муравель Владислав Володимирович

Керівник роботи: Нічепорук Андрій Олександрович

Пояснювальна записка: 63 с., 24 рис., 4 дод., 55 джерел.


Графічна частина: 3 креслення

Метою даного дослідження є розробка та впровадження кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі, що поєднує апаратні компоненти (ультразвуковий датчик, мікроконтролер ESP8266, GSM-модуль, реле) та програмну частину (Arduino-прошивка, хмарний сервіс Blynk) для забезпечення точного контролю та керування процесом поливу в режимі реального часу.

Об'єктом дослідження є апаратно-програмна система віддаленого поливу рослин із моніторингом рівня води.

Предметом дослідження є методи вимірювання, передачі та обробки даних про рівень рідини в резервуарі та алгоритми дистанційного керування насосом через GSM/Blynk.

Під час проведення дослідження застосовано метод систематичного огляду наукової та технічної літератури для аналізу існуючих кіберфізичних рішень у сфері автоматизованого поливу, методи схемотехнічного проектування для розробки електричних та монтажних схем, а також експериментальні випробування прототипу для перевірки працездатності системи в реальних умовах.

  
Підпис студента

30.05.2025

Дата



## ВСТУП

Сучасний світ перебуває на порозі нової технологічної ери, де автоматизація та цифровізація проникають у всі аспекти повсякденного життя, трансформуючи традиційні підходи до роботи, відпочинку та взаємодії з навколишнім середовищем. Одним із найяскравіших проявів цього прогресу є кіберфізичні системи (КФС) - інноваційні комплекси, що гармонійно поєднують фізичні процеси з інформаційно-комунікаційними технологіями. Ці системи відкривають нові горизонти для оптимізації ресурсів, підвищення ефективності та забезпечення сталого розвитку в різних галузях, зокрема в сільському господарстві та побутовому озелененні.

У сфері догляду за рослинами КФС знаходять своє втілення у вигляді систем віддаленого поливу, які дозволяють автоматизувати зрошення, враховуючи потреби рослин і зовнішні умови. Такі системи не лише полегшують життя садівникам і фермерам, але й сприяють раціональному використанню водних ресурсів, що є особливо актуальним в умовах глобальних кліматичних змін і зростання попиту на продовольство. Завдяки інтеграції датчиків, розумних алгоритмів і хмарних технологій ці системи здатні адаптуватися до мінливих умов, забезпечуючи оптимальний догляд за рослинами навіть за відсутності безпосереднього людського втручання.

Однак ефективність кіберфізичних систем не обмежується лише поливом. Однією з ключових складових їхньої роботи є моніторинг якості повітря - важливий фактор у формуванні сприятливого мікроклімату для росту рослин і добробуту людини. Показники температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> та дрібнодисперсного пилу істотно впливають як на фізіологічний стан рослин і їхню продуктивність, так і на здоров'я людей, які перебувають у цьому середовищі. Інтеграція моніторингу повітря в КФС дозволяє створювати більш адаптивні й ефективні рішення, що поєднують екологічну турботу з інноваційними підходами до сталого сільського господарства й озеленення.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

# 1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ ВІДДАЛЕНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН

## 1.1. Показники якості повітря, їх моніторинг

Кіберфізичні системи віддаленого поливу являють собою інноваційні рішення, що інтегрують апаратне забезпечення (датчики, виконавчі механізми, обчислювальні модулі) та програмне забезпечення для автоматизації процесів зрошення [1, 2]. Ці системи дозволяють оптимізувати використання водних ресурсів, підвищувати ефективність догляду за рослинами та зменшувати витрати часу. Завдяки підключенню до Інтернету користувачі можуть керувати поливом через смартфони, планшети чи комп'ютери з будь-якої точки світу. Такі системи базуються на зборі даних про стан ґрунту, кліматичні умови, потреби рослин і навіть якість повітря, їх аналізі та автоматичному прийнятті рішень щодо оптимального режиму поливу [3].

КФС віддаленого поливу знаходять застосування в різних сферах: від побутового озеленення (кімнатні рослини, сади, газони) до масштабного сільського господарства, де точне зрошення є критично важливим для підвищення врожайності [4, 5]. Наприклад, за даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), до 70% прісної води у світі використовується для зрошення, що робить економію води однією з головних переваг таких систем.

Ця система призначена для автоматизації поливу садів, газонів і невеликих сільськогосподарських ділянок. Rachio інтегрується з локальними метеостанціями та прогнозами погоди через API (наприклад, з AccuWeather або Weather Underground), що дозволяє адаптувати графік поливу до природних умов. Якщо прогнозується дощ, система автоматично відкладає полив, що може зменшити споживання води до 30%, за даними виробника [6, 7]. Датчики вологості ґрунту, такі як Soil-Clik, дозволяють точно визначати потребу в зрошенні, а користувач може налаштувати параметри через інтуїтивний мобільний додаток. Додатковою

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

перевагою є підтримка інтеграції з розумними домашніми системами, такими як Amazon Alexa, Google Home чи Apple HomeKit, що дозволяє керувати поливом за допомогою голосових команд [8].



Рисунок 1.1 – Rachio Smart Sprinkler Controller [9]

Netro вирізняється використанням штучного інтелекту (AI) для створення персоналізованих графіків поливу. Система аналізує дані про тип ґрунту, клімат, вид рослин і навіть географічне розташування ділянки, щоб оптимізувати зрошення [10]. Унікальна функція “Plant Database” містить інформацію про потреби у воді для понад 10 000 видів рослин, що робить Netro ідеальним вибором для садівників із різноманітними культурами. Система підтримує як крапельний полив, так і розпилення, що забезпечує її універсальність [11, 12]. Крім того, Netro пропонує функцію “Water Restriction Compliance”, яка автоматично адаптує графік поливу до місцевих обмежень на використання води, що особливо актуально в регіонах із дефіцитом водних ресурсів.



Рисунок 1.2 – Netro Controller[13]

Parrot Pot - це розумний горщик для кімнатних рослин із вбудованими датчиками вологості, температури, освітлення та рівня поживних речовин у ґрунті [14]. Система автоматично регулює полив залежно від потреб рослини та надсилає сповіщення через додаток, якщо резервуар для води потребує поповнення або рослина потребує догляду (наприклад, внесення добрив). Parrot Pot оснащений резервуаром об'ємом до 2 літрів, що забезпечує автономність до 3 тижнів залежно від типу рослини. Завдяки компактному дизайну та Bluetooth-підключенню ця система популярна серед міських жителів, які прагнуть підтримувати здоров'я кімнатних рослин із мінімальними зусиллями [15].



Рисунок 1.3 – Parrot Pot[16]

Gardena пропонує модульний підхід, що включає контролери поливу, датчики вологості ґрунту, температури, освітлення та навіть роботизовані газонокосарки для комплексного догляду за садом [17]. Система дозволяє створювати складні сценарії поливу, наприклад, послідовне зрошення різних зон саду залежно від їх потреб [18]. Для великих садів Gardena пропонує хаб із підтримкою LoRaWAN - технології бездротового зв'язку з низьким енергоспоживанням, що забезпечує стабільне підключення навіть на значних відстанях [19].



Рисунок 1.4 – Gardena Controller [20]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для сільськогосподарських потреб популярними є системи крапельного поливу від DripWorks, які інтегруються з IoT-платформами [21]. Вони оснащені датчиками вологості, тиску води та температури, що дозволяють точно дозувати воду для кожної рослини. Такі системи особливо ефективні в посушливих регіонах, де економія води є пріоритетом.



Рисунок 1.5 – DripWorks [22]

Кіберфізична система (КФС) для розумного зрошення складається з кількох ключових компонентів [23]. Вона включає датчики, які вимірюють вологість ґрунту (наприклад, capacitive soil moisture sensor), температуру (DS18B20), освітленість (BH1750), тиск води та інші важливі параметри. Контролери, такі як ESP32, Arduino або Raspberry Pi, отримують дані від датчиків, аналізують їх і керують виконавчими механізмами - електромагнітними клапанами чи насосами, забезпечуючи потрібний режим поливу [24]. Для підключення до Інтернету використовуються мережеві модулі, які підтримують Wi-Fi, Bluetooth, LoRa або 4G/5G, що дає змогу здійснювати дистанційний контроль системи. Програмне забезпечення - це або хмарні платформи (наприклад, AWS IoT, Google Cloud IoT), або мобільні додатки, які дозволяють користувачам налаштовувати параметри системи, отримувати звіти та сповіщення [25, 26].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Головними перевагами таких систем є значна економія води: згідно з даними Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA), інтелектуальні системи поливу дають змогу скоротити витрати води до 50% порівняно з ручним зрошенням. Автоматизація забезпечує економію часу, оскільки користувачам не потрібно самостійно контролювати процес поливу, що особливо актуально для великих територій або зайнятих людей. Завдяки точності вимірювань полив адаптується до реальних потреб рослин, що позитивно впливає на їхній стан і врожайність [27, 28]. Екологічність також є важливою перевагою - зменшується споживання води та енергії, що сприяє сталому розвитку.

Водночас такі системи мають і певні недоліки. По-перше, це висока початкова вартість: наприклад, система Rachio 3 коштує близько 200 доларів, а комплекс Gardena Smart System із датчиками може сягати 500 доларів. По-друге, існує залежність від технологій: необхідне стабільне інтернет-з'єднання й електроживлення, і в разі збоїв (наприклад, відключення Wi-Fi) система може тимчасово втратити працездатність [29]. Додатково потрібно враховувати технічне обслуговування - датчики вимагають періодичної калібровки, а механічні елементи потребують заміни чи чищення. Нарешті, для недосвідчених користувачів налаштування складних систем, як-от Gardena, може стати певним викликом [30, 31]. Моніторинг якості повітря є невід'ємною частиною сучасних кіберфізичних систем, оскільки повітряні параметри безпосередньо впливають на фізіологічний стан рослин і ефективність зрошення. У сільському господарстві якість повітря може визначати продуктивність культур, тоді як у побутовому озелененні вона впливає на здоров'я рослин і комфорт людей.

Температура впливає на швидкість росту рослин, метаболізм і фотосинтез. Наприклад, оптимальна температура для більшості овочевих культур становить 20-30°C, тоді як тропічні рослини, такі як орхідеї, потребують 25-35°C [32, 33]. Надмірна температура може спричинити тепловий стрес, а низька - уповільнити ріст. Сучасні датчики, такі як DS18B20 (з точністю  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ) або BME280,

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

дозволяють моніторити температуру в реальному часі та передавати дані в хмарні платформи для аналізу [34].

Вологість впливає на випаровування води з листя (транспірацію) та рівень вологості ґрунту. Висока вологість (понад 80%) може сприяти розвитку грибкових хвороб, тоді як низька (менше 40%) прискорює висихання ґрунту. Датчики вологості, такі як DHT22 або SHT30, забезпечують точність вимірювань до  $\pm 2\%$ , що дозволяє системі коригувати частоту поливу [35, 36]. Наприклад, за низької вологості система може активувати крапельний полив частіше, щоб компенсувати втрати вологи [37].

CO<sub>2</sub> є ключовим елементом фотосинтезу, і його концентрація в межах 400-1000 ppm (частин на мільйон) оптимальна для більшості рослин. У закритих приміщеннях, таких як теплиці, дефіцит CO<sub>2</sub> може обмежувати ріст, тоді як надлишок (понад 2000 ppm) може бути токсичним. Газові сенсори, такі як MH-Z19B або SCD30, дозволяють точно вимірювати CO<sub>2</sub> і передавати дані в реальному часі. У КФС ці дані можуть використовуватися для адаптації поливу або активації вентиляційних систем [39, 40].

Концентрація чадного газу (CO), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), озону (O<sub>3</sub>) або летких органічних сполук (VOC) може негативно впливати на рослини, викликаючи пожовтіння листя, порушення фотосинтезу або навіть загибель тканин [41]. Наприклад, озон у концентрації понад 0.1 ppm може пошкодити листя томатів і винограду. Спеціалізовані сенсори, такі як MQ-7 (для CO), ZE25-O3 (для озону) або CCS811 (для VOC), дозволяють виявляти ці речовини та інформувати користувача про необхідність провітрювання чи інших заходів [42, 43].

Частинки PM2.5 (діаметром до 2.5 мкм) і PM10 (до 10 мкм) можуть осідати на листі, зменшуючи фотосинтез, або забруднювати ґрунт. У містах, де рівень PM2.5 може перевищувати 50 мкг/м<sup>3</sup>, це створює додаткові виклики для міського озеленення. Лазерні датчики, такі як PMS5003 або SDS011, забезпечують точне вимірювання концентрації пилу, дозволяючи системі активувати полив для змивання пилу з листя або сповіщати про необхідність фільтрації повітря [44, 45].

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



Рисунок 1.6 – Приклад датчика якості повітря для моніторингу PM2.5 і PM10 [47]

Сучасні датчики, такі як PMS5003, використовують лазерне розсіювання для визначення концентрації частинок у повітрі. Вони компактні, енергоефективні та легко інтегруються з мікроконтролерами, такими як ESP32, для передачі даних у хмарні сервіси.

У кіберфізичних системах дані про якість повітря збираються комплексом сенсорів, обробляються мікроконтролером і передаються через хмарну платформу (наприклад, ThingSpeak, Blynk або AWS IoT) на мобільний додаток або веб-інтерфейс. Цей підхід дозволяє

Контролювати мікроклімат у реальному часі: Наприклад, за високої температури система може активувати туманний полив для зниження теплового стресу.

Приймати розумні рішення: Якщо датчик CO<sub>2</sub> показує дефіцит, система може надіслати сповіщення про необхідність внесення органічних добрив, які підвищують рівень CO<sub>2</sub> у ґрунті.

Оптимізувати ресурси: За низької вологості повітря система може активувати зволожувач або збільшити частоту поливу, щоб підтримувати баланс вологи.

Прикладом інтеграції є SaveEcoSensor, популярна в Україні система громадського моніторингу якості повітря. Вона вимірює PM2.5, PM10, температуру, вологість і атмосферний тиск, автоматично коригуючи дані залежно від погодних умов. SaveEcoSensor використовує відкриту платформу для обміну даними, що дозволяє фермерам і садівникам аналізувати екологічну ситуацію в регіоні та адаптувати полив до умов. Наприклад, у промислових зонах із високим рівнем PM10 система може рекомендувати частіший полив для очищення листя від пилу [48].

Ще одним прикладом є PurpleAir, глобальна мережа датчиків якості повітря, яка використовується в сільському господарстві для моніторингу PM2.5 і PM10. Дані з PurpleAir інтегруються з КФС через API, дозволяючи системі автоматично коригувати режими поливу в умовах високого забруднення [49].

AI-алгоритми, такі як нейронні мережі, дозволять системам прогнозувати потреби рослин на основі історичних даних, кліматичних моделей і генетичних особливостей культур. Наприклад, система може передбачити посуху на основі довгострокового прогнозу погоди та автоматично накопичити воду в резервуарах.

Створення глобальних баз даних із детальною інформацією про потреби у воді, поживних речовинах і мікрокліматі для тисяч видів рослин зробить системи більш універсальними. Наприклад, Netro вже використовує таку базу, але в майбутньому вона може включати геномні дані для точного прогнозування росту.

Нові покоління датчиків, такі як квантові сенсори для вимірювання світла або біосенсори для аналізу стану рослин, підвищать точність моніторингу. Наприклад, датчики NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) дозволять оцінювати здоров'я рослин за їх спектральними характеристиками [50].

Для підвищення автономності КФС можуть оснащуватися сонячними панелями або мікровітроденераторами. Наприклад, системи поливу в Африці вже

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

використовують сонячну енергію для живлення насосів і датчиків у віддалених регіонах.

Нові стандарти зв'язку забезпечать швидшу та надійнішу передачу даних, що дозволить керувати великими мережами датчиків на сільськогосподарських полях. LoRaWAN, зокрема, ідеально підходить для віддалених ферм завдяки низькому енергоспоживанню та дальності до 15 км.

У сільському господарстві блокчейн може використовуватися для запису даних про полив, якість повітря та врожайність, забезпечуючи прозорість для фермерів, інвесторів і споживачів. Наприклад, блокчейн-платформа IBM Food Trust уже застосовується для відстеження ланцюгів поставок.

1.2 Огляд відомих рішень та засобів для відстеження показників якості повітря із збереженням даних у хмарі.

У сучасному світі якість повітря є одним із ключових факторів, що впливають на здоров'я людини, екологічну стабільність і продуктивність сільськогосподарських систем. Забруднення повітря, спричинене промисловими викидами, транспортом, пиловими бурями чи побутовими джерелами, створює серйозні виклики для урбанізованих регіонів і сільських місцевостей. У відповідь на ці проблеми з'явилися численні рішення для моніторингу якості повітря, які поєднують передові сенсорні технології, хмарні платформи та аналітику даних. Такі системи дозволяють не лише відстежувати ключові показники якості повітря в реальному часі, а й зберігати дані для подальшого аналізу, прогнозування та прийняття рішень [51].

Якість повітря визначається сукупністю фізичних, хімічних і біологічних параметрів, серед яких особливу увагу приділяють температурі, вологості, концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), дрібнодисперсного пилу (PM<sub>2.5</sub> і PM<sub>10</sub>), шкідливих газів (наприклад, чадного газу CO, оксидів азоту NO<sub>x</sub>, озону O<sub>3</sub>) та летких органічних сполук (VOC). Ці показники впливають на здоров'я людини,

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

викликаючи респіраторні захворювання, алергії чи серцево-судинні проблеми, а також на стан екосистем, включаючи ріст рослин і якість ґрунтів. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення повітря щорічно спричиняє близько 7 мільйонів передчасних смертей, що робить моніторинг якості повітря критично важливим завданням.

Традиційні методи моніторингу, такі як стаціонарні станції, обладнані громіздкими аналітичними приладами, мають високу точність, але обмежені географічним охопленням і високою вартістю. Сучасні рішення, навпаки, використовують компактні сенсори, підключені до Інтернету речей (ІоТ), і хмарні платформи для збору, обробки та зберігання даних. Це дозволяє створювати розподілені мережі моніторингу, доступні як для індивідуальних користувачів, так і для великих організацій. Хмарні технології забезпечують масштабованість, доступність і можливість інтеграції з аналітичними інструментами, що робить їх ідеальними для обробки великих обсягів даних про якість повітря [52].

Типова система моніторингу якості повітря складається з кількох основних компонентів. Насамперед це датчики, які вимірюють різноманітні параметри повітря - температуру, вологість, рівень вмісту CO<sub>2</sub>, частки пилу PM2.5/PM10, шкідливі гази тощо. Сучасні сенсори, такі як PMS5003 (для вимірювання концентрації пилу), MH-Z19 (для визначення рівня CO<sub>2</sub>) або VME680 (для вимірювання летких органічних сполук і температури), відзначаються компактністю, енергоефективністю та доступною вартістю.

Зібрані дані обробляють мікроконтролери, серед яких найбільш популярними є ESP32, Arduino та Raspberry Pi. Вони відповідають за прийом інформації від датчиків, її попередню обробку та передачу на хмарний сервер. Для зв'язку з Інтернетом використовуються мережеві модулі, які підтримують Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN або мобільний зв'язок 4G/5G - це дозволяє гнучко організувати передачу даних залежно від умов використання.

Отримана інформація зберігається, обробляється та візуалізується на хмарній платформі, яка може бути реалізована через такі сервіси, як AWS IoT, Google Cloud

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

IoT, ThingSpeak або Blynk. Кінцевим користувачам доступ до даних забезпечують мобільні додатки або веб-портали. Через ці інтерфейси можна не лише переглядати результати вимірювань у режимі реального часу, а й отримувати сповіщення про перевищення допустимих значень, а також налаштовувати роботу системи під власні потреби. Ці компоненти разом створюють екосистему, що забезпечує безперервний моніторинг, аналіз і реагування на зміни якості повітря [53].

PurpleAir - одна з найвідоміших глобальних мереж моніторингу якості повітря, яка базується на краудсорсингу. Її датчики, такі як PurpleAir PA-II, вимірюють PM2.5, PM10, температуру та вологість, передаючи дані в хмару через Wi-Fi. Особливістю PurpleAir є відкрита платформа, яка дозволяє користувачам переглядати дані з тисяч датчиків по всьому світу на інтерактивній карті в реальному часі.

Датчики PurpleAir працюють на основі лазерної технології, яка дає змогу аналізувати концентрацію частинок пилу в повітрі. Такий підхід забезпечує точність вимірювань, яка цілком співставна з результатами професійних моніторингових станцій, хоча й можливі певні похибки, особливо за умов підвищеної вологості.

Серед основних переваг PurpleAir варто відзначити відкритий доступ до даних через API, що дозволяє легко інтегрувати отриману інформацію з іншими системами чи застосунками. Крім того, PurpleAir є частиною глобальної мережі - її сенсори встановлені у містах, передмістях і навіть сільських районах, що дає змогу відстежувати якість повітря в різних куточках світу. Ще однією сильною стороною є доступна ціна: вартість одного датчика становить близько \$200-\$250, що робить технологію привабливою для кола користувачів.

Попри ці переваги, система має і певні обмеження. Зокрема, датчики PurpleAir вимірюють лише концентрацію твердих частинок у повітрі, але не контролюють рівень CO<sub>2</sub> або наявність шкідливих газів. Для досягнення максимальної точності пристрої потребують періодичного калібрування. Окрім

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



інформацію не лише від власних сенсорів, а й із державних моніторингових станцій і супутникових джерел, у результаті чого формується детальна карта забруднення повітря у різних регіонах світу.

Серед основних переваг такої системи слід відзначити наявність можливості вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>, що є особливо актуальним для моніторингу якості повітря у закритих приміщеннях - офісах, навчальних закладах, теплицях тощо. Додатковою перевагою є інтеграція із сервісами прогнозування погоди, що дозволяє оцінювати не лише поточний стан, а й динаміку змін рівня забруднення. Висока точність вимірювань досягається завдяки заводському калібруванню кожного пристрою.

Разом з тим, слід зазначити й певні недоліки даної системи. Зокрема, вартість пристрою AirVisual Pro суттєво перевищує ціну аналогічних рішень PurpleAir та становить близько \$300, що може обмежувати можливість його масового впровадження.



Рисунок 1.8 – AirVisual [55]

AirVisual популярна серед користувачів, які прагнуть контролювати якість повітря в приміщеннях, а також серед екологічних активістів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

SaveEcoSensor - це українська система, створена для громадського моніторингу якості повітря. Вона призначена для доступного і масового використання, особливо в міських та промислових регіонах. Система вимірює концентрацію дрібнодисперсного пилу (PM2.5, PM10), температуру, вологість та атмосферний тиск, використовуючи недорогі й поширені компоненти, зокрема сенсор SDS011. Зібрані дані передаються до хмари через Wi-Fi і стають доступними користувачам через веб-платформу або мобільний додаток. На сьогодні SaveEcoSensor активно впроваджується в Україні, особливо у промислових містах, таких як Кривий Ріг чи Запоріжжя, для моніторингу забруднення повітря.



Рисунок 1.9 – SaveEcoSensor [55]

До основних переваг цієї системи належать її низька вартість (залежно від конфігурації ціна становить близько \$50-\$100), відкритість платформи для обміну даними та можливість адаптації під місцеві умови - наприклад, коригування результатів вимірювання залежно від погодних факторів.

						Арк.
					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. Висновки. Постановка задачі

Сучасні кіберфізичні системи для віддаленого поливу рослин демонструють високий рівень інтеграції апаратних і програмних рішень, що дозволяє автоматизувати та оптимізувати зрошення навіть на великих площах або у складних мікрокліматичних умовах. Рішення на кшталт Rachio Smart Sprinkler Controller, Netro Smart Sprinkler Controller, Parrot Pot, Gardena Smart System чи DripWorks Drip Irrigation Systems об'єднують роботу різноманітних датчиків (зокрема вологості, температури, освітленості), контролерів (наприклад, ESP32, Arduino), мережевих модулів (Wi-Fi, LoRaWAN) та хмарних платформ (AWS IoT, Google Cloud IoT). Така взаємодія дає змогу отримувати і обробляти дані про стан ґрунту й навколишнього середовища в реальному часі, здійснювати гнучке керування поливом через інтернет, а також отримувати сповіщення та рекомендації щодо догляду за рослинами.

Важливе місце у цих системах займає моніторинг якості повітря, оскільки показники температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub>, рівнів дрібнодисперсного пилу (PM2.5/PM10) і наявності шкідливих газів безпосередньо впливають на ріст і здоров'я рослин. Використання сенсорів нового покоління, таких як PMS5003, BME280 або MH-Z19B, у поєднанні з аналітичними платформами, наприклад ThingSpeak, PurpleAir або SaveEcoSensor, дозволяє системам точно відстежувати мікрокліматичні зміни і автоматично адаптувати режим зрошення. Це не лише зменшує витрати води на 50-70% у порівнянні з традиційними підходами, а й допомагає підвищити врожайність, скоротити ручну працю та мінімізувати втручання людини.

До основних переваг впровадження таких кіберфізичних систем належать автоматизація процесів, висока точність поливу, економія ресурсів та екологічність.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМ ВІДДАЛЕНОГО ПОЛИВУ РОСЛИН

### 2.1 Встановлення вимог

Проєктування кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин розпочинається з формулювання вимог, які слугують орієнтиром для подальшої розробки як апаратної частини, так і програмного забезпечення. Уявіть собі систему, де кожен елемент - від датчиків до хмарного сервісу - має бути інтегрованим у єдину, цілісну платформу, здатну забезпечити ефективний моніторинг та управління. Функціональні вимоги до системи охоплюють декілька ключових аспектів: моніторинг рівня води, автоматичний контроль поливу, дистанційне керування насосом, сповіщення про критичні показники, локальну індикацію, логування даних та забезпечення безпеки та надійності зв'язку.

З одного боку, система повинна постійно вимірювати рівень рідини в резервуарі, перетворюючи отримані значення на зрозумілі для користувача дані - це може бути відсоток заповнення або конкретний рівень у сантиметрах. Така інформація повинна відображатися на мобільному додатку, де користувач у режимі реального часу зможе бачити актуальний стан резервуару. Водночас, для забезпечення належного контролю над процесом поливу, система повинна мати датчик, який би визначав необхідність поливу. У базовому варіанті це може бути рівень ґрунтової вологості, хоча в нашому проєкті акцент робиться на ручному керуванні, коли саме користувач, оцінюючи показники, вирішує, коли поливати рослини. Проте, навіть при цьому, система повинна бути здатна підтримувати автоматичні режими - наприклад, у випадку, якщо рівень води у баку стає надто низьким або, навпаки, перевищує допустимі межі.

Додатково, важливим елементом є можливість дистанційного керування. Завдяки інтеграції з платформою Blynk, користувач отримує змогу, не перебуваючи поруч із пристроєм, віддалено вмикати чи вимикати насос, що подає воду до рослин. Така функція дозволяє забезпечити оперативну реакцію на зміну умов - від

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

аварійних ситуацій до планових операцій, коли необхідно активувати полив. При цьому, система повинна попереджати користувача через push-повідомлення або SMS, якщо рівень води падає нижче критичного, що дозволяє уникнути ситуації, коли запланований полив не відбувається через відсутність води.

Не менш важливим є забезпечення локальної індикації - навіть якщо користувач не має доступу до мобільного додатку, на самому пристрої має бути можливість перегляду поточного стану. Наприклад, встановлення маленького OLED-дисплея для відображення рівня води та стану насоса або використання світлодіодів для індикації активності системи допомагає оперативно оцінити ситуацію. Разом із цим, система повинна зберігати історію вимірювань на хмарній платформі, що дозволить проводити аналіз даних протягом певного періоду та виявляти закономірності у зміні рівня води. Цей аспект є важливим для подальшої оптимізації процесів поливу та діагностики можливих збоїв.

Окрім функціональних вимог, розробка системи має враховувати і нефункціональні аспекти, які визначають загальну ефективність і стабільність роботи пристрою. Одним із основних завдань є забезпечення енергоефективності, оскільки система може бути встановлена в автономних умовах. Наприклад, мікроконтролер ESP8266 має можливість переходити в режим deep sleep між циклічними опитуваннями датчиків, що дозволяє суттєво зменшити енергоспоживання. Тим часом, GSM-модуль, який є одним із найбільш енергозатратних елементів, вимагає ефективного живлення для передачі даних, тому застосування стабільного джерела живлення - особливо важливе питання.

Система повинна працювати від мережі ~220В через адаптер, оскільки насос потребує мережевого живлення, а вузол контролера має забезпечувати стабілізоване живлення 5В та 3.3В для підключення до модулів. Особлива увага приділяється захисту від перенапруг і фільтрації живлення для чутливих компонентів, таких як SIM800L, відомий своєю чутливістю до просадок напруги. Крім того, обраний датчик рівня води, що базується на ультразвуковій технології, повинен охоплювати діапазон вимірювань від 0 до 100 см із високою точністю, де

						КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

похибка не перевищує кілька сантиметрів. У разі експлуатації системи у вологому середовищі необхідно передбачити використання водонепроникного ультразвукового датчика або спеціальні заходи для захисту звичайного HC-SR04 від конденсату.

З точки зору зручності інтерфейсу, платформа Vlynk повинна забезпечити простоту користування: на екрані додатку має бути відображення графічного рівнеміра, індикатор стану насоса, а також кнопка для керування поливом. Для розширення функціональних можливостей проєкту має бути передбачена масштабованість - у майбутньому система може бути доповнена додатковими сенсорами, такими як датчики вологості ґрунту або освітленості, а також впроваджено автоматичний полив за розкладом чи за показниками датчиків.

Таким чином, вимоги до системи задають комплексний набір критеріїв, що враховують як функціональні потреби - точність вимірювання, дистанційне керування, сповіщення та локальна індикація - так і нефункціональні параметри, що визначають енергоефективність, стабільність живлення, діапазон вимірювань та надійність роботи у складних умовах. Саме ці вимоги створюють фундамент для подальшої розробки архітектури системи та вибору апаратних компонентів, забезпечуючи інтеграцію всіх необхідних функцій у єдину, ефективну кіберфізичну систему для віддаленого поливу рослин.

## 2.2 Узагальнена структура системи

Узагальнена архітектура системи віддаленого поливу рослин являє собою інтегровану структуру, де кожен компонент виконує певну функцію, а їх взаємодія створює єдину, скоординовану кіберфізичну систему. Можна порівняти її з живим організмом, де центральним елементом є "мозок" - мікроконтролер, що обробляє дані, приймає рішення та забезпечує зв'язок з користувачем через хмарну платформу.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

В основі системи лежить мікроконтролер NodeMCU на базі ESP8266, який завдяки своїй компактності, доступній ціні та можливості бездротового зв'язку виступає як центральний керуючий елемент. Він отримує дані від сенсорів, обробляє їх і приймає рішення щодо активації виконавчих пристроїв. Завдяки інтегрованим можливостям Wi-Fi та підтримці GSM-модуля, NodeMCU забезпечує двосторонній зв'язок із хмарною платформою, що дозволяє користувачу дистанційно контролювати систему через мобільний додаток.

На рисунку 2.1 зображено узагальнену структуру запропонованої кіберфізичної системи поливу. Система складається з таких основних вузлів:

Першим компонентом є сенсори. У нашій системі основним сенсором виступає ультразвуковий датчик рівня води, розташований на кришці баку. Він вимірює відстань до поверхні рідини, а отримане значення дозволяє обчислити об'єм або процент заповнення резервуару. При необхідності до системи можна інтегрувати додаткові сенсори, наприклад, для вимірювання вологості ґрунту чи температури повітря.

Другим за важливістю елементом є мікроконтролерний модуль - NodeMCU (ESP8266). Цей контролер виступає «мозком» системи, адже він опитує сенсори, аналізує отримані дані, приймає рішення про включення насоса і взаємодіє з хмарним сервером. Завдяки підтримці Arduino IDE та великій кількості готових бібліотек, розробка програмного забезпечення значно спрощується.

Третім вузлом є модуль зв'язку GSM. Під'єднаний до NodeMCU модуль SIM800L дозволяє виходити в інтернет через мобільну мережу GPRS. Це особливо важливо для розташування систем у місцях, де Wi-Fi може бути відсутнім або нестабільним. Зв'язок забезпечується через інтерфейс UART (з використанням програмного Serial, оскільки апаратний UART на ESP8266 вже зайнятий для налагодження).

Четвертим елементом є хмарний сервер - обрано платформу Blynk Cloud, яка створює віртуальний сервер для проєкту. NodeMCU, використовуючи GSM-модуль, підключається до Blynk-сервера, де дані сенсорів зберігаються, а також

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

отримуються команди від користувача. Завдяки цьому відбувається двосторонній обмін інформацією: телеметрія (дані від сенсорів) і телекерування (команди від користувача).

П'ятим компонентом є користувацький додаток. На смартфоні встановлюється додаток Vlynk, який підключається до того ж серверу і відображає інформацію про рівень води та стан насоса. Через інтерфейс додатку користувач може надсилати команди - наприклад, натискання кнопки «Полив» увімкне насос, а також переглядати історію показників.

Останнім, але не менш важливим, є виконавчий механізм - насос, керований через реле. Реле, під'єднане до виходу NodeMCU, дозволяє безпечно комутувати коло живлення насоса. Залежно від застосування, може бути використаний невеликий 5В насос для кімнатних рослин або потужніший насос, керований через силове реле/контактор для теплиць чи городів.

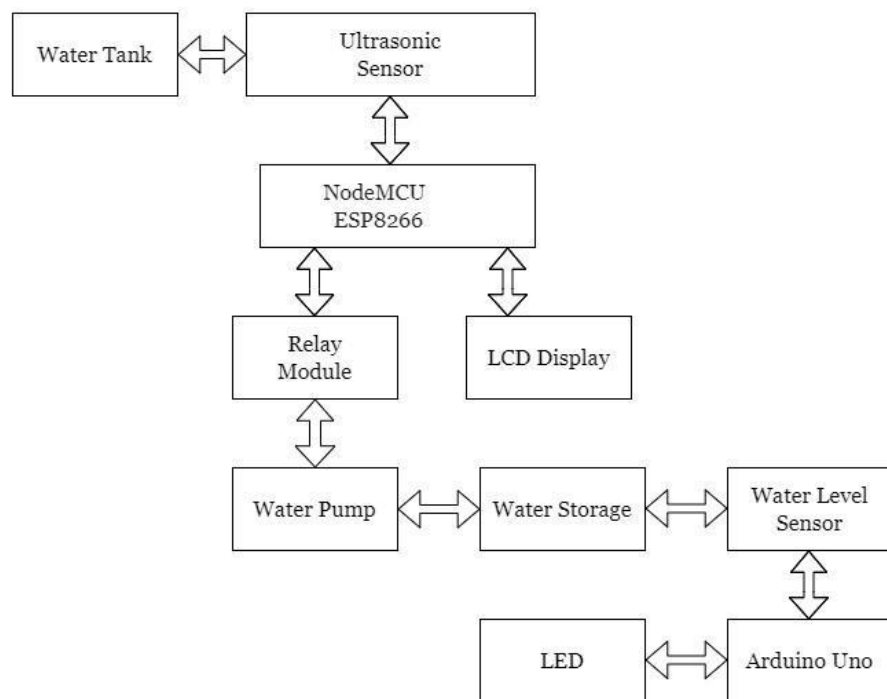


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема системи віддаленого поливу

Як видно з цієї схеми, алгоритм роботи системи є наступним: ультразвуковий сенсор періодично вимірює відстань до водної поверхні, після чого NodeMCU обчислює рівень заповнення резервуару і надсилає ці дані на хмарний сервер Blynk. Якщо користувач за допомогою додатку вирішує увімкнути насос, команда надходить через хмару до NodeMCU, який активує реле і, відповідно, насос починає подавати воду рослинам. Під час роботи система продовжує моніторити рівень води та інформувати користувача, забезпечуючи тим самим двосторонній обмін - телеметрія (дані сенсорів) і телекерування (команди від користувача). За необхідності, якщо зв'язок із сервером втрачено, вбудований алгоритм може тимчасово переключити систему в автономний режим для забезпечення безпечного поливу.

Інтеграція всієї цієї структури у єдину систему дозволяє не лише забезпечити необхідний рівень контролю за поливом, а й створити модульну платформу, яку легко можна масштабувати. Наприклад, у майбутньому до основного набору сенсорів можна додати датчики вологості ґрунту або температури, що дозволить оптимізувати полив ще точніше. Крім того, можливе впровадження додаткових алгоритмів автоматичного керування, що дозволить системі працювати в автоматичному режимі у відсутність користувача.

Таким чином, узагальнена архітектура та структура системи представляє собою інтегрований комплекс апаратних, програмних та хмарних засобів, що взаємодіють для забезпечення ефективного, надійного та масштабованого віддаленого поливу рослин. Вона враховує всі аспекти - від точності вимірювання та обробки даних до зручності користувацького інтерфейсу - і створює основу для подальшого розширення та вдосконалення системи у сучасному сільському господарстві

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 2.3 Схема електрична принципова

На етапі схемотехнічного проектування важливо визначити, як усі компоненти системи взаємодіють один з одним, створюючи єдиний організований ланцюг. Електрична принципова схема виступає візуальним відображенням цього ланцюга, демонструючи, як саме передаються сигнал, живлення та дані між вузлами системи - від датчиків до мікроконтролера, GSM-модуля та виконавчих пристроїв.

Основним центром схеми є NodeMCU v1.0 (ESP-12E), який отримує живлення від 5В через пін Vin або через microUSB. На платі вбудовано стабілізатор, що забезпечує 3.3В для роботи ESP8266, адже логічні рівні GPIO розраховані саме на 3.3В. Це означає, що при підключенні компонентів, які працюють на 5В, потрібно обов'язково враховувати зниження напруги, щоб уникнути пошкодження мікроконтролера.

Одним із ключових компонентів є ультразвуковий датчик HC-SR04, який має чотири виводи: Vcc, GND, Trigger і Echo. Датчик живиться від 5В, а пін Echo генерує сигнал 5В, який необхідно знизити до 3.3В, сумісних із логікою NodeMCU. Для цього у схемі передбачено використання простого подільника напруги (наприклад, за допомогою резисторів 10 кОм і 15 кОм), що дозволяє отримати приблизно 3В на вході Echo. Пін Trigger, який надходить із NodeMCU і видає 3.3В, достатній для ініціації вимірювання.

Ще одним важливим елементом є GSM-модуль SIM800L. Він живиться напругою приблизно 4В (діапазон 3.4-4.4В) та повинен витримувати імпульсний струм до 2А під час передачі даних. У схемі використовується готовий модуль SIM800L із вбудованим стабілізатором, який підключається до 5В, що подаються з NodeMCU, за умови використання відповідного понижуючого перетворювача. Піни SIM800L - Vcc, GND, TX і RX - інтегровані через UART. Оскільки апаратний UART на ESP8266 зайнятий для дебагу, для зв'язку використовується програмний

									Арк.
									26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ				

Serial: GPIO4 (D2) використовується як RX для SIM800L, а GPIO5 (D1) - як TX. Важливо забезпечити спільну землю (GND) між SIM800L та NodeMCU.

Модуль реле, що використовується для керування насосом, є ще одним критичним елементом. Він побудований на 5В із оптронною розв'язкою, що забезпечує електричну ізоляцію високовольтного кола насоса від низьковольтної логіки мікроконтролера. Котушка реле живиться від 5В (наприклад, від Vin NodeMCU), а керуючий вхід IN підключається до GPIO, зокрема до GPIO12 (D6). Логічний рівень 3.3В, який видає NodeMCU, достатній для активації реле, завдяки наявності транзисторного підсилювача. Головне - не забути під'єднати GND реле до спільної землі NodeMCU. Реле комутує контакти COM та NO, що дозволяє розривати коло живлення насоса. Для макетного варіанту може використовуватися міні-помпа 5В, яку живлять від того ж джерела, що й NodeMCU.

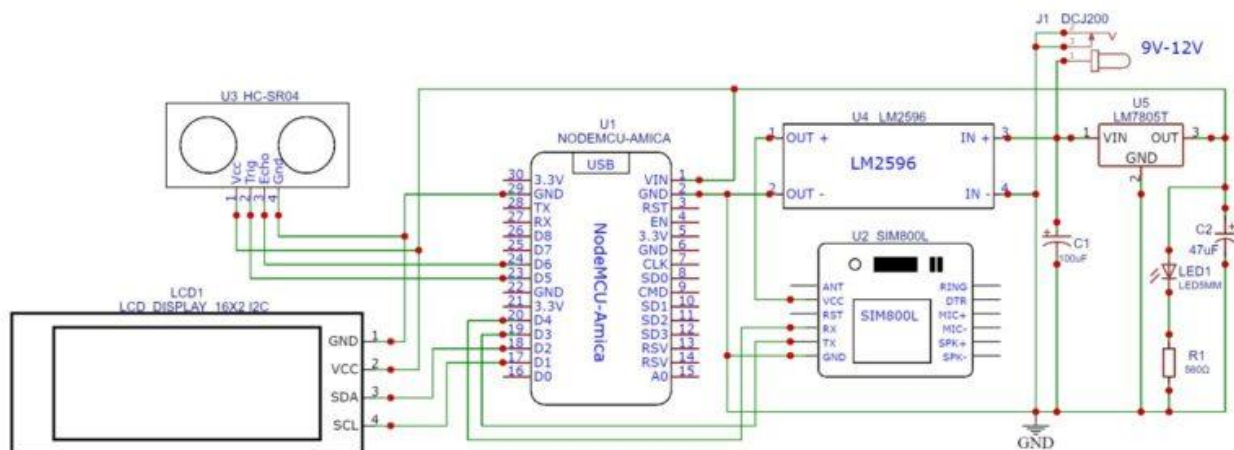


Рисунок 2.2 – Електрична принципова схема

Після перегляду схеми, важливо звернути увагу на кожен компонент окремо, оскільки саме їх правильне підключення та інтеграція забезпечують стабільну роботу всієї системи.

Перш за все, центральним елементом є NodeMCU v1.0 (ESP-12E). Цей мікроконтролер отримує живлення через пін Vin або MicroUSB, після чого внутрішній стабілізатор знижує напругу до 3.3В, необхідної для роботи чіпа. У

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

схемі він виступає як «мозок» системи, обробляючи всі сигнали від датчиків і керуючи виконавчими пристроями. Усе спілкування відбувається через його GPIO, тому дуже важливо дотримуватися логіки 3.3В, що вимагає спеціальної адаптації сигналів від 5В-компонентів. Саме тому при підключенні ультразвукового датчика HC-SR04 необхідно використовувати дільник напруги для лінії Echo.

Ультразвуковий датчик HC-SR04 є наступним критичним елементом. Він має чотири виводи, з яких Vcc підключається до стабільного 5В джерела, а GND - до спільної землі. Пін Trigger отримує сигнал з GPIO NodeMCU (GPIO14, або D5), який має 3.3В, але цього достатньо для ініціації роботи датчика. Проте пін Echo повертає сигнал з напругою 5В, що може бути шкідливим для логіки мікроконтролера. Тому на шляху сигналу з Echo встановлюється подільник напруги, який за допомогою резисторів (наприклад, 10 кОм та 15 кОм) знижує рівень до приблизно 3В, що безпечно для цифрового входу (GPIO13, або D7).

Наступний за схемою компонент - GSM-модуль SIM800L - виконує завдання забезпечення зв'язку з хмарною платформою. Він підключається до NodeMCU через інтерфейс UART. Оскільки апаратний UART уже зайнятий для відлагодження, для SIM800L використовується програмний Serial. При цьому вивід TX SIM800L підключається до GPIO4 (D2) мікроконтролера, а вивід RX - до GPIO5 (D1). При цьому важливо зберігати спільну землю між SIM800L і NodeMCU, що забезпечує коректну роботу при передачі даних. Живлення SIM800L організовано через окремий блок, який знижує напругу з 5В до приблизно 4В, що є оптимальним для роботи модуля навіть під високим імпульсивним струмом.

Щодо модуля реле, його завдання - керувати виключенням чи включенням насоса. Реле отримує живлення 5В, яке зазвичай береться з того ж джерела, що й NodeMCU, і його оптронна розв'язка гарантує ізоляцію високовольтного кола насоса від низьковольтної логіки мікроконтролера. Керуючий сигнал надходить з GPIO12 (D6), і навіть при логічному рівні 3.3В, транзисторний підсилювач у реле забезпечує коректну активацію. Крім того, обов'язкове підключення спільної землі реле до GND NodeMCU є критичним для запобігання перешкодам і забезпечення

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

стабільного перемикання контактів. При активації реле контакти COM і NO комутують, дозволяючи надсилати +5В до насоса, тоді як живлення насоса повертається через GND.

Ще одним важливим аспектом є правильне розташування та підключення усіх компонентів у схемі. Наприклад, короткі та екрановані з'єднувальні проводи між SIM800L та NodeMCU мінімізують електромагнітні завади, а використання подільника напруги для Echo HC-SR04 гарантує, що сигнал не перевищує безпечного рівня. Ретельне дотримання рекомендацій з використання певних GPIO (не використовуючи GPIO0, GPIO2, GPIO15 для керування периферією) забезпечує безперебійну ініціалізацію системи при завантаженні.

Усі ці елементи, детально описані у схемі, працюють разом, утворюючи надійну та ефективну систему. Кожен компонент має свою специфічну функцію, але саме їх правильне з'єднання створює умови для коректної передачі даних, живлення та управління, що є фундаментальним для роботи кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин.

Таким чином, електрична принципова схема не лише демонструє технічні з'єднання між компонентами, а й є своєрідною гарантією сумісності та надійності всієї системи. При переведенні цієї схеми в практичну інсталяцію всі описані рішення дозволяють забезпечити стабільну роботу пристрою навіть у складних умовах експлуатації

## 2.4 Монтажна схема

Після розробки електричної принципової схеми наступним кроком є переведення теоретичних розрахунків у реальну інсталяцію, що здійснюється через створення монтажною схемою. Цей етап є критично важливим, адже він перетворює абстрактні зв'язки між компонентами у конкретне розміщення на макетній або друкованій платі. Монтажна схема враховує не лише електричну сумісність, але й

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

практичні аспекти - довжину з'єднувальних проводів, екранування, захист від впливу зовнішніх факторів і зручність обслуговування.

У центрі монтажно́ї схеми розміщено NodeMCU v1.0 (ESP8266), який виступає як головний контролер системи. Зліва від нього під'єднано датчик - в нашому прикладі це може бути щуп вологості ґрунту, але у нашій реалізації використовується ультразвуковий датчик, який має чотири контакти.

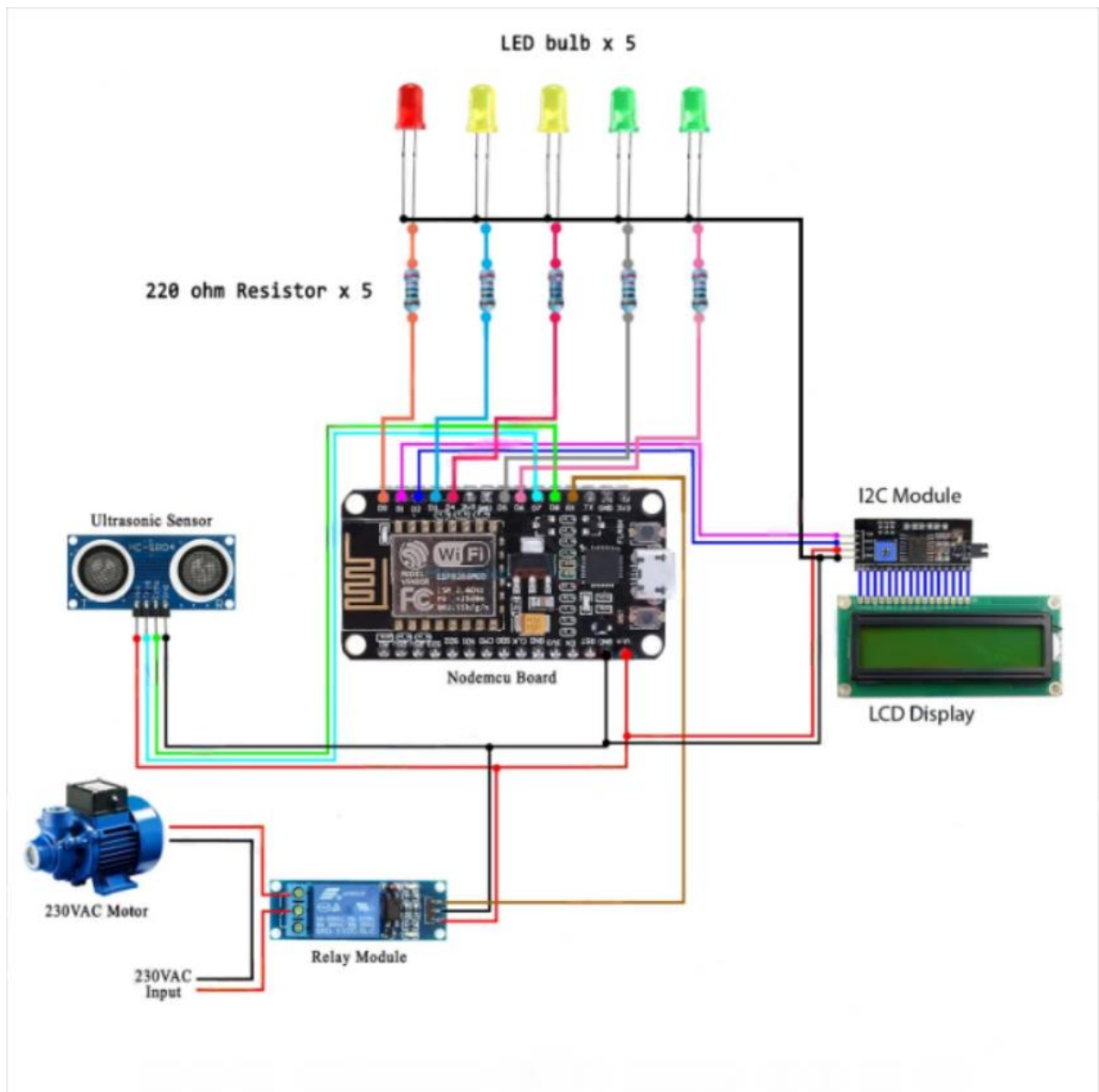


Рисунок 2.3 – Монтажна схема

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

З цих контактів два відповідають за живлення: Vcc підключається до клеми 5В, а GND - до землі. Решта двох контактів - сигнальні: пін Trig підключається до вибраного цифрового виходу NodeMCU, а пін Echo - через подільник напруги (щоб знизити сигнал із 5В до 3.3В) до іншого цифрового входу. Така адаптація гарантує, що логічні рівні контролера будуть дотримані.

Справа від NodeMCU розташовано модуль реле, який відповідає за керування насосом. Реле, живлене від стабільного джерела 5В (зазвичай береться з Vin NodeMCU), отримує сигнальний вхід з GPIO (наприклад, GPIO12 або D6) для активації. Оптронна розв'язка, вбудована у модуль реле, ізолює високовольтне коло насоса від низьковольтної логіки, що підвищує безпеку. Насос комутується через контакти реле (COM і NO) - при активації реле контакти з'єднуються, подаючи +5В на насос, який може бути як погружним (розміщеним безпосередньо у баку), так і зовнішнім (під'єднаним шлангом до резервуару).

Розглянемо детальніше практичне підключення компонентів:

Ультразвуковий датчик розміщується на верхній частині баку так, щоб забезпечити прямий доступ до поверхні рідини. Чотири дроти від датчика йдуть до контрольної плати (NodeMCU): два дроти для живлення (Vcc і GND) підключаються безпосередньо до відповідних клем, а два сигнальні - один (Trig) безпосередньо до цифрового виходу, а інший (Echo) - через подільник напруги для зниження напруги сигналу до безпечного рівня, після чого підключається до цифрового входу.

Модуль NodeMCU розміщується на невеликій друкованій платі або макетці. Сам контролер виступає центральним елементом, до якого підключаються всі інші елементи. Для забезпечення мінімізації завад дроти між NodeMCU та модулем SIM800L (GSM) повинні бути короткими - тому модуль SIM800L встановлюється поруч із NodeMCU. До SIM800L підключається антена (через провід або SMA-антену) та SIM-картка оператора мобільного зв'язку.

Модуль реле розташовано окремо, з міркувань безпеки, оскільки він комутує високовольтне навантаження насоса. Від NodeMCU до реле йде один сигнальний

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

провід (з GPIO12 до IN), а також дроти живлення (5В і GND). Від реле до насоса прокладаються два товсті проводи для передачі високого струму, необхідного для роботи насоса.

Насос може бути встановлений безпосередньо в баку, якщо мова йде про погрузну помпу, або бути зовнішнім пристроєм, під'єднаним шлангом до резервуару.

Блок живлення є важливою частиною монтажною схемою. Найзручнішим є використання одного адаптера, який перетворює мережеву напругу (~220В) у 5В з потужністю близько 3А. Від цього адаптера живиться NodeMCU через MicroUSB, а потім, через вихід Vin, постачається 5В для реле та інших компонентів. Для SIM800L може бути використаний окремий стабілізований блок живлення, що підключається паралельно до NodeMCU, щоб забезпечити стабільну напругу з урахуванням високих імпульсних струмів.

При монтажі потрібно забезпечити якісне з'єднання контактів, особливо в ланцюзі живлення для SIM800L і насоса, де протікає значний струм. Рекомендується застосувати паяні з'єднання для фінальної збірки замість використання макетної плати, щоб уникнути випадкових розривів контактів. Додатково, слід передбачити захист від вологи: електроніку (NodeMCU, SIM800L, реле) бажано розмістити в герметичному пластиковому боксі, а отвори для дротів обладнати ущільнювачами, щоб дощ і конденсат не потрапляли на плату. Ультразвуковий датчик HC-SR04, як чутливий елемент, потребує додаткового захисту від прямого впливу бризок - для цього можна встановити йому "дашок". Якщо використовувати водонепроникну версію датчика (наприклад, JSN-SR04T), його можна безпосередньо закріпити, що спрощує монтаж.

Монтажна схема, як показано на рисунку 2.4, демонструє принцип підключення на макетному рівні. У реальній інсталяції, залежно від відстаней між баком, рослинами та місцем розташування контролера, можуть знадобитися подовжувачі дротів, екрановані кабелі для сигналів від датчиків з метою мінімізації завад, а також додаткові кріплення для забезпечення стабільності. Отримавши чітке

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

уявлення про те, як з'єднуються всі компоненти, можна перейти до вибору конкретних модулів і програмних засобів, що реалізовуватимуть необхідний функціонал.

Таким чином, монтажна схема представляє собою комплексний план інсталяції, де кожен елемент - від центрального контролера до датчика, GSM-модуля, реле та насоса - займає своє конкретне місце. Продумане розташування, екранування і захист контактів гарантують, що система буде працювати стабільно, ефективно та надійно навіть у складних умовах експлуатації. Це основа для подальшої інтеграції програмного забезпечення та тестування роботи кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин.

## 2.5 Аналіз обраних рішень: програмних, апаратних, хмарних

При розробці кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин важливо зважити всі можливі варіанти, щоб отримати оптимальне рішення з точки зору економічної доцільності, надійності та зручності впровадження. У цьому контексті ми детально проаналізуємо апаратні, програмні та хмарні рішення, що були обрані для нашого проєкту.

Перш за все, у якості апаратної платформи було обрано NodeMCU на базі ESP8266. Цей мікроконтролер є прикладом сучасного рішення, яке поєднує в собі низьку ціну, компактність і можливість бездротового зв'язку. Завдяки своїй продуктивності ESP8266 здатен оперативно обробляти дані, що надходять від різноманітних сенсорів, а також керувати зв'язком із зовнішніми мережами. Порівнюючи його з альтернативними варіантами, такими як Arduino, що потребує додаткового Wi-Fi модуля ESP-01, або сімейством Arduino MKR, які характеризуються значно вищою вартістю, можна з упевненістю сказати, що ESP8266 є оптимальним вибором для даного проєкту. Підтримка Arduino IDE та наявність великої кількості бібліотек сприяє швидкому старту розробки та спрощує інтеграцію з іншими компонентами системи.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Щодо модуля зв'язку, в проєкті використовується SIM800L - доступний GSM/GPRS модем. Основна перевага цього модуля полягає в можливості передачі даних через мобільну мережу 2G, що є суттєвою перевагою для сільських районів, де Wi-Fi може бути відсутнім або нестабільним. Попри це, SIM800L має деякі недоліки, пов'язані зі складністю стабільного живлення та відносно невисокою швидкістю передачі даних через GPRS. Однак для наших потреб, коли необхідно передавати невеликі пакети даних, наприклад, показники рівня води або команду для керування насосом через платформу Blynk, ця швидкість є абсолютно достатньою. Хоча на ринку з'явилися більш сучасні 4G модеми, такі як SIM7000, вони є дорожчими і енергоємнішими, що робить їх менш привабливими для економічного проєкту, спрямованого на широке застосування в аграрному секторі. Також слід зазначити, що SIM800L легко інтегрується з Blynk завдяки бібліотеці TinyGSM, що значно полегшує розробку.

Далі, аналізуючи вибір датчика рівня води, варто відзначити, що у проєкті обрано ультразвуковий датчик. Це перевірене рішення дозволяє безконтактно вимірювати рівень рідини з мінімальними витратами як у плані економіки, так і в плані простоти реалізації. Основною перевагою ультразвукового датчика є його простота використання і наявність готових бібліотек для інтеграції з ESP8266. Звісно, існують альтернативні варіанти - поплавкові датчики або датчики тиску, які могли б використовуватись для вимірювання рівня рідини. Проте поплавкові датчики потребують прямого контакту з рідиною і можуть бути менш стійкими до зносу, а датчики тиску - складнішими в налаштуванні. Крім того, для зовнішнього використання слід застосовувати водонепроникну версію ультразвукового датчика (наприклад, JSN-SR04T), що забезпечує довговічність навіть у важких погодних умовах.

Щодо модуля реле та насоса, вибір падає на стандартне реле на 5В. Це рішення є перевіреним у подібних системах завдяки своїй простоті і надійності. Механічне реле, яке використовується у нашій системі, дозволяє безпечно комутувати коло живлення насоса, ізолюючи високовольтне навантаження від

									Арк.
									34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ				

низьковольтної логіки мікроконтролера. Водночас, для підвищення енергоефективності в майбутньому можна розглянути можливість заміни механічного реле на MOSFET-транзистор або твердотільне реле - рішення, яке дозволить зменшити втрати енергії та забезпечити більш швидке перемикання, хоча й за вищою ціною. Вибір насоса також базується на масштабах поливу: для кімнатних рослин зазвичай достатньо міні-помпи типу «водяна помпа 5В» з продуктивністю близько 100 л/год, а для теплиць або городів можна інтегрувати потужніший насос за умови заміни відповідного реле.

Живлення є критичним аспектом, особливо з огляду на специфіку роботи SIM800L. Як вже згадувалося, цей модуль потребує стабільного джерела струму, здатного витримувати високі імпульси під час передачі даних. Тому було прийнято рішення використати окремий стабілізатор на базі імпульсного модуля, наприклад, модуль на AMS1117-3.7, або готовий блок живлення, спеціально розроблений для SIM800L. Це трохи ускладнює електричну схему, але гарантує стабільну роботу GSM-модуля. Решта компонентів, таких як NodeMCU та датчики, живляться від 5В адаптера через вбудований стабілізатор, що спрощує систему, оскільки можна використовувати єдиний блок живлення для всіх елементів.

Хмарна платформа для нашого проєкту - це Blynk. Вона була обрана завдяки простоті створення інтерфейсу без необхідності розробляти власний сервер або мобільний додаток. Blynk забезпечує зручну взаємодію між пристроєм і користувачем, підтримує роботу через GSM/GPRS, що відповідає нашим вимогам. Нова версія Blynk 2.0 дозволяє зберігати історичні дані протягом тривалого періоду, що дає змогу аналізувати тренди та робити прогнозування. Альтернативними платформами могли б стати Firebase або власний HTTP-сервер на базі ESP8266, але їх використання позбавило б зручного push-керування, яке є однією з головних переваг Blynk. Інша альтернатива - Telegram Bot, проте його інтерактивність значно нижча в порівнянні з Blynk, що дозволяє не лише отримувати сповіщення, а й віддалено керувати системою.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Щодо програмних засобів, для прошивки NodeMCU було обрано Arduino IDE. Це середовище підтримує велику кількість бібліотек, зокрема Blynk library для зв'язку з хмарною платформою, TinyGSM для керування GSM-модулем, бібліотеку NewPing для роботи з ультразвуковим датчиком, а також SimpleTimer або BlynkTimer для реалізації циклічного опитування. Програмна логіка залишається досить простою, оскільки для реалізації основного функціоналу достатньо використовувати базову структуру loop(), що забезпечує простоту налагодження і подальшої модернізації коду.

Підсумовуючи, аналіз обраних рішень демонструє, що кожен компонент системи - від ESP8266 до SIM800L, ультразвукового датчика і реле - був обраний на основі порівняльного аналізу. Ці рішення забезпечують необхідну функціональність, надійність та економічну доцільність проєкту. Всі апаратні компоненти сумісні між собою, а вибір хмарної платформи Blynk дозволяє створити зручний інтерфейс для користувача. Розробка програмного забезпечення на базі Arduino IDE і використання готових бібліотек спрощує інтеграцію компонентів, що сприяє швидкому впровадженню системи в експлуатацію. Наступним етапом роботи буде безпосередня реалізація - налаштування хмарного сервісу Blynk і розробка прошивки для ESP8266 з підтримкою GSM і роботи сенсорів.

## 2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі було сформульовано як функціональні, так і нефункціональні критерії, що задають високі стандарти для точності вимірювань, надійності зв'язку та ефективності роботи системи. Зокрема, було враховано вимоги щодо моніторингу рівня води, дистанційного керування насосом, сповіщення користувача про критичні показники, а також забезпечення стабільного живлення і захисту компонентів від зовнішніх впливів.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Була розглянута узагальнена архітектура системи, яка демонструє інтеграцію основних вузлів: сенсорного блоку (ультразвуковий датчик рівня води), мікроконтролерного модуля (NodeMCU на базі ESP8266), GSM-модуля (SIM800L), хмарного сервера (Blynk Cloud) та користувацького додатку для дистанційного керування. Ця архітектура працює як єдина інтегрована система, де кожен компонент взаємодіє з іншими, забезпечуючи двосторонній зв'язок і можливість масштабування - що дозволяє у майбутньому розширити функціонал за допомогою додаткових сенсорів чи автоматизованих алгоритмів.

Розкрито принципову електричну схему, яка деталізовано описує, як правильно з'єднати всі компоненти: від NodeMCU із стабілізованим живленням і логічними рівнями до ультразвукового датчика з його адаптацією сигналу, від GSM-модуля, що підключається через програмний Serial, до модуля реле, який безпечно комутує живлення насоса. Детальний аналіз забезпечує сумісність і надійність системи, гарантуючи, що кожен вузол виконує свою функцію і працює в умовах, що відповідають специфікаціям.

Розглянуто монтажну схему, яка перетворює теоретичні розрахунки електричної принципової схеми в практичну інсталяцію. Монтажна схема враховує реальне розташування компонентів, оптимізацію довжин проводів, використання екранованих кабелів, захист від вологи та зручність обслуговування. Такий підхід дозволяє звести до мінімуму можливі помилки при збірці та забезпечує стабільну роботу системи у польових умовах.

Проведено аналіз обраних рішень з точки зору апаратних, програмних і хмарних засобів. Аналіз показав, що поєднання NodeMCU на базі ESP8266, GSM-модуля SIM800L, ультразвукового датчика та реле забезпечує баланс між функціями, вартістю та інтеграцією. Використання платформи Blynk надає можливість отримання даних і керування пристроєм через інтерфейс. Застосування бібліотек для Arduino IDE спрощує розробку та дозволяє ввести систему в дію.

						Арк.
					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

#### 3.1. Налаштування та розгортання хмарної платформи (Blynk)

У сучасних кіберфізичних системах ключовим елементом успішного функціонування є надійний і стабільний зв'язок між пристроєм та користувачем, адже саме від цього залежить ефективність роботи всієї системи. Саме тому програмна реалізація таких систем розпочинається з налаштування хмарної платформи, яка виконує роль «розумного мосту», що з'єднує апаратну частину системи з кінцевим користувачем. У рамках нашого проєкту для забезпечення цього зв'язку було обрано хмарну платформу Blynk Cloud, яка вирізняється простотою у використанні, високою гнучкістю та широким спектром функціональних можливостей. Завдяки цим характеристикам Blynk дозволяє швидко й ефективно реалізувати віддалений контроль за системою, що є критично важливим для її практичного застосування.

Перший етап роботи з платформою полягає у реєстрації користувача в системі Blynk, що може бути виконано через офіційний веб-сайт або зручний мобільний додаток. Під час цього процесу користувач створює новий проєкт, у рамках якого необхідно обрати тип пристрою, який буде центральним елементом системи. У нашому випадку це NodeMCU на базі модуля ESP8266 - популярний і доступний пристрій, що використовується в IoT-проєктах завдяки своїй компактності та підтримці бездротового зв'язку. Важливим моментом на цьому етапі є вибір типу зв'язку, який буде використовувати система. Ми зупинилися на GSM, оскільки цей варіант є оптимальним для умов сільської місцевості, де доступ до Wi-Fi часто обмежений або нестабільний через слабку інфраструктуру. Після завершення налаштування проєкту платформа Blynk автоматично генерує унікальний Auth Token - спеціальний ключ, який відіграє роль ідентифікатора для безпечної аутентифікації пристрою на хмарному сервері.

Наступним кроком є інтеграція цього Auth Token у прошивку NodeMCU. Цей процес є ключовим, оскільки саме завдяки токєну встановлюється захищений канал

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

зв'язку між апаратною частиною системи та хмарним сервером Blynk. Після успішного впровадження коду в прошивку пристрій автоматично підключається до сервера щоразу при увімкненні чи перезавантаженні. Це забезпечує стабільний зв'язок із центральною платформою і створює умови для двостороннього обміну даними: система може передавати інформацію про свій стан на сервер, а користувач - надсилати команди для керування пристроєм. Така взаємодія є основою функціональності системи віддаленого контролю.

Однією з головних переваг Blynk Cloud є можливість створення інтуїтивно зрозумілого й функціонального користувацького інтерфейсу за допомогою набору віджетів, які легко налаштовуються під конкретні потреби проєкту. Наприклад, віджет моніторингу рівня води дозволяє користувачу в реальному часі бачити графічне відображення поточного стану резервуару - у відсотках, сантиметрах чи іншій зручній одиниці вимірювання. Додатково до інтерфейсу можна інтегрувати кнопку для віддаленого керування насосом, що дає змогу вмикати або вимикати його одним дотиком до екрана смартфона. Важливим елементом є також віджет-індикатор стану пристрою, який відображає його поточний статус - «online», «offline» - або сигналізує про критичні ситуації, наприклад, різке падіння рівня води чи інші аномалії, що потребують уваги користувача.

Ще однією важливою особливістю платформи є функція зберігання історичних даних, що значно розширює можливості системи. У новій версії Blynk 2.0 передбачено архівування інформації про вимірювання протягом тривалого часу - до одного місяця або навіть довше залежно від тарифного плану. Це дозволяє користувачу проводити аналіз трендів, виявляти закономірності у змінах рівня води чи інших параметрах, а також планувати автоматичні дії, наприклад, полив, на основі накопичених даних. Такий архів є незамінним інструментом для оптимізації роботи системи, адже дає змогу зрозуміти, як фактори навколишнього середовища - температура, вологість чи сезонні зміни - впливають на швидкість випаровування води або ефективність її використання в процесі поливу.

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Віддалене керування системою через Blynk є однією з її ключових переваг, що робить її особливо цінною для сільського господарства. Мобільний додаток дозволяє користувачу не лише постійно моніторити стан резервуару, але й оперативно реагувати на будь-які зміни чи проблеми. Наприклад, якщо датчики фіксують критично низький рівень води, система миттєво надсилає push-повідомлення на смартфон користувача. Це дає змогу фермеру, навіть перебуваючи далеко від господарства, швидко оцінити ситуацію і прийняти рішення - увімкнути насос для поповнення резервуару чи вжити інших заходів. Така оперативність є особливо важливою в умовах, коли затримка може призвести до втрати врожаю чи інших економічних збитків.

Налаштування хмарної платформи не обмежується лише створенням базового інтерфейсу та підключенням пристрою. Blynk надає широкі можливості для кастомізації: користувач може налаштувати параметри сповіщень (наприклад, порогові значення для тривоги), інтервали опитування датчиків, а також різні сценарії роботи системи. Одним із прикладів є програмування умовного алгоритму: якщо зв'язок із сервером втрачається, система автоматично переходить в автономний режим. У такому режимі заздалегідь заданий код може, наприклад, вимкнути насос, щоб запобігти його роботі вхолосте чи перекачуванню води. Ця функція значно підвищує безпеку експлуатації системи, адже навіть у разі збою мережі пристрій продовжує працювати в межах встановлених параметрів, мінімізуючи ризики.

Особливу роль у реалізації зв'язку відіграє інтеграція платформи з GSM-модулем через бібліотеку TinyGSM. Ця бібліотека забезпечує стабільну роботу системи через мобільну мережу, що є незамінним у регіонах із недостатньо розвиненою інфраструктурою Wi-Fi. Завдяки цьому система залишається функціональною навіть там, де традиційні способи підключення недоступні. Крім того, Blynk підтримує масштабування: у майбутньому до платформи можна підключити додаткові пристрої чи розширити інтерфейс новими віджетами, що дозволяє створити комплексну екосистему «розумного господарства». Наприклад,

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

до системи поливу можна додати датчики вологості ґрунту чи метеостанцію, інтегрувавши їх у єдину платформу.

TinyGSM - це компактна бібліотека для Arduino, розроблена для спрощення роботи з GSM-модулями, такими як SIM800, SIM900 та іншими. Вона дозволяє мікроконтролерам, включаючи ESP8266 та NodeMCU, встановлювати з'єднання через мобільні мережі, надсилати та отримувати дані, а також виконувати базові операції, такі як відправка SMS чи підключення до Інтернету через GPRS. Однією з головних переваг TinyGSM є її універсальність: бібліотека підтримує широкий спектр GSM-модулів і сумісна з різними платформами, включаючи Arduino, ESP8266 та ESP32. Завдяки цьому розробники можуть легко адаптувати свої проекти до умов, де Wi-Fi недоступний, наприклад, у віддалених районах.

ESP8266 - це недорогий Wi-Fi мікроконтролер, розроблений компанією Espressif Systems, який став популярним у проєктах Інтернету речей (IoT) завдяки своїй доступності та функціональності. Він оснащений 32-бітним процесором Tensilica Xtensa LX106 з частотою від 80 до 160 МГц, 128 КБ оперативної пам'яті та до 4 МБ флеш-пам'яті для зберігання програм і даних. ESP8266 має вбудований Wi-Fi модуль, сумісний зі стандартами 802.11 b/g/n, що працює на частоті 2.4 ГГц, а також підтримує базові інтерфейси, такі як GPIO (до 17 пінів), UART, SPI, I2C та один аналоговий вхід (ADC) з роздільною здатністю 10 біт.

Особливістю ESP8266 є його здатність працювати як самостійний пристрій або як модуль зв'язку для інших мікроконтролерів, наприклад, Arduino. Він може бути запрограмований через Arduino IDE, що значно спрощує розробку для початківців і досвідчених інженерів. Однак ESP8266 має обмеження: його піни не витримують напругу вище 3.3 В, а максимальний струм на один GPIO становить лише 12 мА. Це вимагає обережності при підключенні зовнішніх пристроїв, таких як реле чи потужні датчики. ESP8266 слугує основою для NodeMCU, забезпечуючи обчислювальну потужність і можливість інтеграції з GSM-модулем через TinyGSM. Його вбудований Wi-Fi також може бути використаний як резервний канал зв'язку в умовах, де мережа доступна, що додає системі гнучкості.

					КвРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

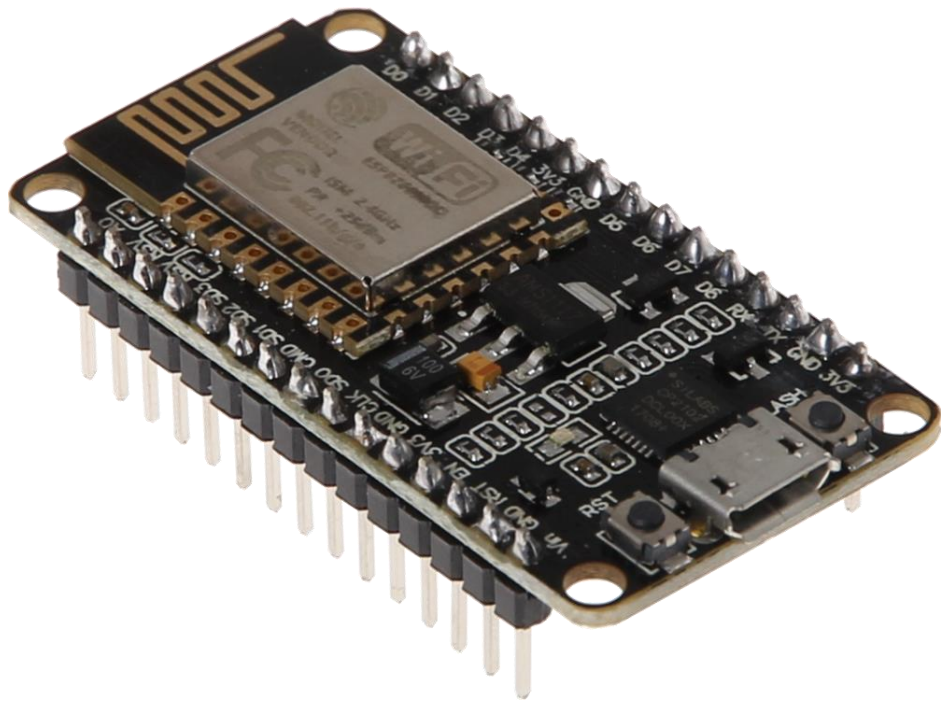


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд схеми ESP8266 [35]

NodeMCU - це відкрита платформа для розробки пристроїв Інтернету речей (IoT), яка базується на мікроконтролері ESP8266 від компанії Espressif Systems. Назва "NodeMCU" походить від поєднання слів "Node" (вузол) і "MCU" (мікроконтролер), що відображає її призначення як вузла в мережевій системі. Спочатку NodeMCU асоціювалася з прошивкою на мові програмування Lua, яка дозволяла швидко створювати скрипти для керування пристроєм, але з часом платформа стала популярною серед розробників, які використовують Arduino IDE завдяки його зручності, широкій підтримці спільноти та великій кількості готових бібліотек. NodeMCU поєднує в собі простоту використання, доступність і функціональність, що робить її ідеальним вибором для прототипування та реалізації IoT-проектів, зокрема в таких сферах, як автоматизація, розумне сільське господарство чи домашні системи керування.

NodeMCU спрощує роботу з ESP8266, додаючи готову плату з роз'ємами, що дозволяє легко підключати датчики, модулі та периферійні пристрої без додаткової

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

пайки. У нашому проєкті NodeMCU виступає центральним елементом системи, об'єднуючи датчики (наприклад, для вимірювання рівня води), GSM-модуль через TinyGSM і хмарну платформу Blynk. Завдяки своїй компактності (розміри приблизно 49 мм x 26 мм у моделі Amica) і низькій ціні (близько 2-5 доларів), NodeMCU є ідеальним вибором для прототипування та реалізації проєктів у сільському господарстві, де бюджет і доступність відіграють важливу роль.

NodeMCU базується на модулі ESP8266, зокрема на популярній версії ESP-12E, яка є основою для більшості плат NodeMCU. ESP8266 оснащений 32-бітним процесором Tensilica Xtensa LX106, що працює на частоті від 80 МГц (за замовчуванням) до 160 МГц при розгоні. Обсяг оперативної пам'яті становить 128 КБ, з яких приблизно 80 КБ доступні для користувацьких програм, а флеш-пам'ять для зберігання прошивки та даних варіюється від 1 до 4 МБ залежно від моделі модуля (найчастіше використовується 4 МБ). Цього достатньо для простих IoT-додатків, таких як зчитування даних із датчиків чи відправка їх на сервер.

Плата NodeMCU має вбудований Wi-Fi модуль, який підтримує стандарти 802.11 b/g/n на частоті 2.4 ГГц, що дозволяє їй підключатися до бездротових мереж або виступати в ролі точки доступу (Access Point). Вона забезпечує базові інтерфейси вводу-виводу: до 17 GPIO (загального призначення пінів), з яких на платі NodeMCU зазвичай доступно 11 через фізичні обмеження розводки; UART для послідовного зв'язку; SPI та I2C для підключення периферійних пристроїв; а також один аналоговий вхід (ADC) із роздільною здатністю 10 біт і діапазоном від 0 до 1 В (залежно від моделі може бути розширено до 3.3 В через зовнішній дільник напруги). Важливо зазначити, що піни NodeMCU працюють на логічному рівні 3.3 В, а максимальний струм на один GPIO обмежений 12 мА, що вимагає використання транзисторів або реле для керування потужними пристроями, такими як насоси чи мотори.

NodeMCU вирізняється від "чистого" ESP8266 модуля своєю готовністю до використання "з коробки". Плата включає вбудований USB-UART інтерфейс, який зазвичай реалізується через мікросхеми CH340G або CP2102, що дозволяє

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

підключати її до комп'ютера через USB для програмування та налагодження без додаткових адаптерів. На платі також є стабілізатор напруги (AMS1117), який перетворює вхідні 5 В від USB або зовнішнього джерела живлення (через піни VIN) на 3.3 В для живлення ESP8266. Це значно спрощує живлення пристрою, хоча плата споживає від 70 мА в режимі очікування до 200-300 мА при активному Wi-Fi з'єднанні, що варто враховувати при виборі джерела живлення, наприклад, акумулятора.

Фізичні розміри NodeMCU залежать від версії: найпоширеніша модель Amica має розміри приблизно 49 мм x 26 мм x 13 мм, тоді як версія Lolin може бути дещо більшою (58 мм x 31 мм). Плата оснащена двома кнопками: Reset для скидання пристрою та Flash для входу в режим програмування. Розташування пінів виконано у форматі, сумісному з макетними платами (breadboard), із кроком 2.54 мм, що полегшує прототипування. Кожен пін позначений як "D0", "D1" тощо, що відповідає нумерації в Arduino IDE, хоча внутрішньо вони прив'язані до GPIO-номерів ESP8266 (наприклад, D0 = GPIO16).

Однією з головних переваг NodeMCU є її простота у підключенні зовнішніх компонентів. Завдяки роз'ємам типу "female headers" датчики, модулі чи дроти можна під'єднувати без пайки, що робить платформу доступною для початківців. Ціна NodeMCU також є значним плюсом - від 2 до 5 доларів залежно від регіону та постачальника, що робить її економічно вигідною для масового використання, наприклад, у сільському господарстві чи освітніх проєктах.

Проте NodeMCU має й обмеження. Обмежена кількість GPIO (11 доступних) може стати проблемою при підключенні великої кількості датчиків чи модулів - у таких випадках потрібні мультиплексори або додаткові плати розширення. Аналоговий вхід лише один, що змушує використовувати зовнішні АЦП для кількох аналогових сигналів. Енергоспоживання в активному режимі відносно високе для батарейних систем, хоча його можна знизити до кількох мікроампер у режимі глибокого сну (Deep Sleep), підключивши пін D0 (GPIO16) до Reset для

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

автоматичного пробудження. Також плата чутлива до якості живлення - нестабільна напруга може призвести до збоїв чи перезавантажень.

TinyGSM використовує AT-команди для взаємодії з GSM-модулями, але приховує складність цього процесу від користувача, надаючи простий і зрозумілий інтерфейс. Наприклад, бібліотека дозволяє швидко налаштувати підключення до мережі, використовуючи функції на кшталт `modem.gprsConnect(apn, user, pass)`, де вказуються параметри точки доступу (APN) оператора мобільного зв'язку. Крім того, TinyGSM підтримує автоналаштування швидкості передачі даних (`autobauding`), що полегшує початкове підключення до модуля, хоча для стабільної роботи рекомендується фіксувати `baud rate` після тестування. Бібліотека також є економною з точки зору ресурсів: вона займає мало оперативної пам'яті та флеш-пам'яті, що робить її ідеальною для використання на пристроях із обмеженими обчислювальними можливостями, таких як NodeMCU.

У дипломному проєкті TinyGSM відіграє ключову роль у забезпеченні зв'язку через GSM, дозволяючи системі працювати в умовах відсутності Wi-Fi. Наприклад, завдяки інтеграції з SIM800L чи подібними модулями, пристрій може надсилати дані на сервер Blynk через мобільну мережу, а також отримувати команди від користувача. Це робить систему більш автономною та стійкою до збоїв у локальній інфраструктурі.

Таким чином, налаштування та розгортання хмарної платформи Blynk є фундаментальним етапом у створенні кіберфізичної системи віддаленого поливу. Цей підхід забезпечує надійний і безпечний зв'язок між апаратною частиною та користувачем, дозволяє організувати зручний і функціональний інтерфейс, а також накопичувати й аналізувати історичні дані для підвищення ефективності роботи. Інтеграція з GSM робить систему адаптованою до умов віддалених районів, а використання готових бібліотек значно спрощує процес розробки, надаючи проєкту гнучкість і можливість масштабування. У підсумку, користувач отримує потужний інструмент для ефективного контролю за процесом поливу, оперативного реагування на зміни в навколишньому середовищі та оптимального

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



GPIO4). Для візуальної індикації різних станів системи мікроконтролер також керує світлодіодами, підключеними до пінів D0, D3, D4, RX та TX. Таким чином, NodeMCU є центральним елементом, що координує роботу сенсорів, виконавчих механізмів та комунікаційної підсистеми системи моніторингу. Ультразвуковий сенсор (HC-SR04)



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд HC-SR04 на схемі підключення

Ультразвуковий сенсор HC-SR04 вимірює рівень води в резервуарі. Він підключений до пінів D5 (TRIG) і D7 (ECHO) NodeMCU. Сенсор надсилає ультразвуковий імпульс і вимірює час повернення сигналу, що дозволяє обчислити відстань до поверхні води. У коді це реалізовано через бібліотеку NewPing командою `sonar.ping_cm()`.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд Relay Module на схемі підключення

Реле підключене до D6 (GPIO12) і керує насосом, який працює від 230 В АС. Воно замикає або розмикає ланцюг живлення насоса за командами від NodeMCU, отриманими через Blynk. Реле живиться від 5 В (через піни NodeMCU, наприклад, VIN).

GSM-модуль SIM800L забезпечує зв'язок із мережею в умовах відсутності Wi-Fi. Він підключений до NodeMCU через програмний серійний порт (RX/TX) і живиться від 3.7-4.2 В.

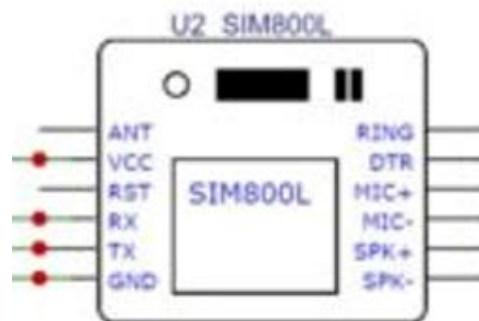


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд SIM800L на схемі підключення

Модуль дозволяє підключатися до мобільної мережі через GPRS, використовуючи бібліотеку TinyGSM, і передавати дані на Blynk.

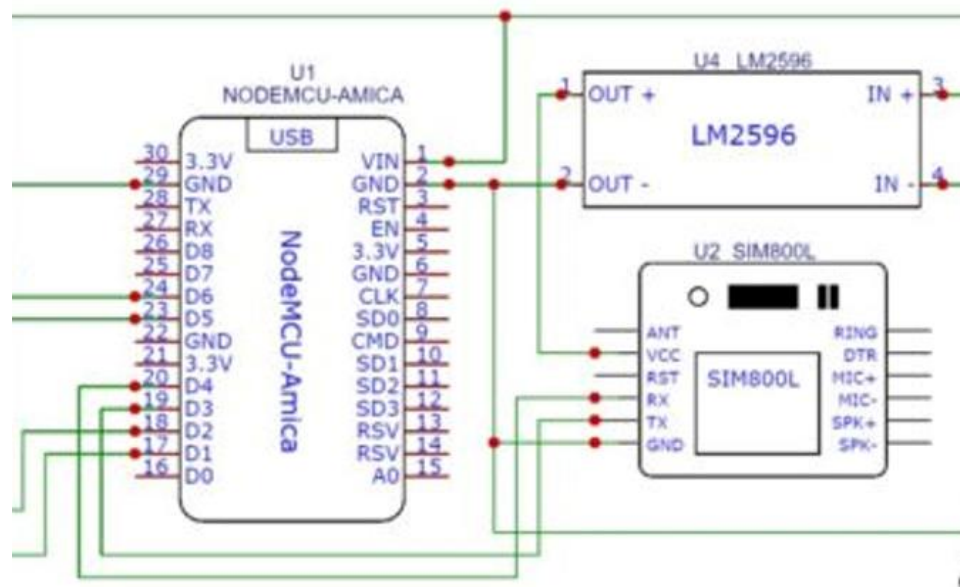


Рисунок 3.6 – Схема підключення SIM800L до NodeMCU через SoftwareSerial (GPIO4 і GPIO5)

LCD-дисплей із I2C-інтерфейсом підключений до пінів D1 (SDA) і D2 (SCL). Він відображає локальну інформацію, наприклад, рівень води у відсотках або стан насоса, що дозволяє користувачу бачити стан системи без підключення до Blynk.

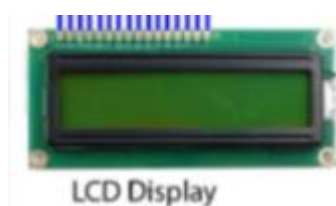


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд I2C LCD-дисплея на схемі підключення

П'ять світлодіодів із резисторами 220 Ом підключені до пінів D0, D3, D4, RX і TX. Вони використовуються для візуальної індикації стану системи, наприклад, рівня води (кількість увімкнених світлодіодів відповідає відсотку заповнення) або стану насоса.

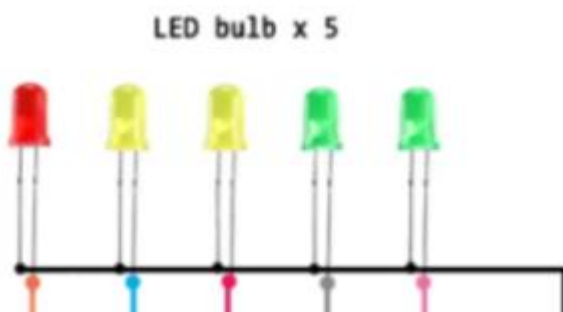


Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд LED bulb x 5 на схемі підключення

#### Джерело живлення (230VAC Input)

Джерело живлення забезпечує енергію для насоса через реле, яке комутує ланцюг 230 В АС, дозволяючи NodeMCU безпечно керувати пристроєм високої напруги.

Програмна реалізація клієнтської частини - це етап, на якому апаратна платформа, зібрана за допомогою електричних і монтажних схем, починає функціонувати завдяки якісно написаному коду. Цей код, розроблений у середовищі Arduino IDE, забезпечує зчитування даних із сенсорів, їх обробку,

передачу на хмарну платформу та отримання команд від користувача для керування виконавчими пристроями. У цьому підрозділі ми розглянемо основну логіку роботи пристрою, ключові функції програмного забезпечення, детально пояснимо їх призначення та проаналізуємо елементи коду, що забезпечують інтеграцію всіх компонентів системи з апаратною частиною.

Код клієнтської частини побудовано за принципом циклічного опитування сенсорів і обробки команд, що надходять із хмарного сервісу Blynk. Для реалізації цього використовуються бібліотеки: Blynk для зв'язку з хмарою, TinyGSM для управління GSM-модулем, NewPing для роботи з ультразвуковим датчиком HC-SR04 і BlynkTimer (або SimpleTimer) для реалізації таймерів.

Завдяки цьому процес стає зрозумілим, гнучким і стабільним. Основні функції коду розподілені на кілька логічних блоків, які забезпечують повний цикл роботи системи - від ініціалізації до обробки даних і команд.

#### Ініціалізація та налаштування

У блоці ініціалізації підключаються бібліотеки (TinyGsmClient.h, BlynkSimpleTinyGSM.h, NewPing.h, SoftwareSerial.h), оголошуються глобальні змінні та налаштовуються параметри GSM (наприклад, apn, user, pass) і Blynk (Auth Token).

Тут також задаються параметри ультразвукового датчика через NewPing (піни TRIG\_PIN - GPIO14 і ECHO\_PIN - GPIO13 із максимальним діапазоном 300 см) та визначається пін для керування реле (RELAY\_PIN - GPIO12), яке активує насос. Бібліотеки TinyGSM і BlynkSimpleTinyGSM забезпечують зв'язок із GSM-модулем SIM800L, а SoftwareSerial створює програмний серійний порт (GPIO4 для прийому, GPIO5 для передачі), дозволяючи використовувати стандартний UART для відлагодження.

У функції setup() пін RELAY\_PIN налаштовується як вихід через pinMode(RELAY\_PIN, OUTPUT) і спочатку встановлюється в низький стан (digitalWrite(RELAY\_PIN, LOW)), що гарантує вимкнений стан насоса при запуску.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

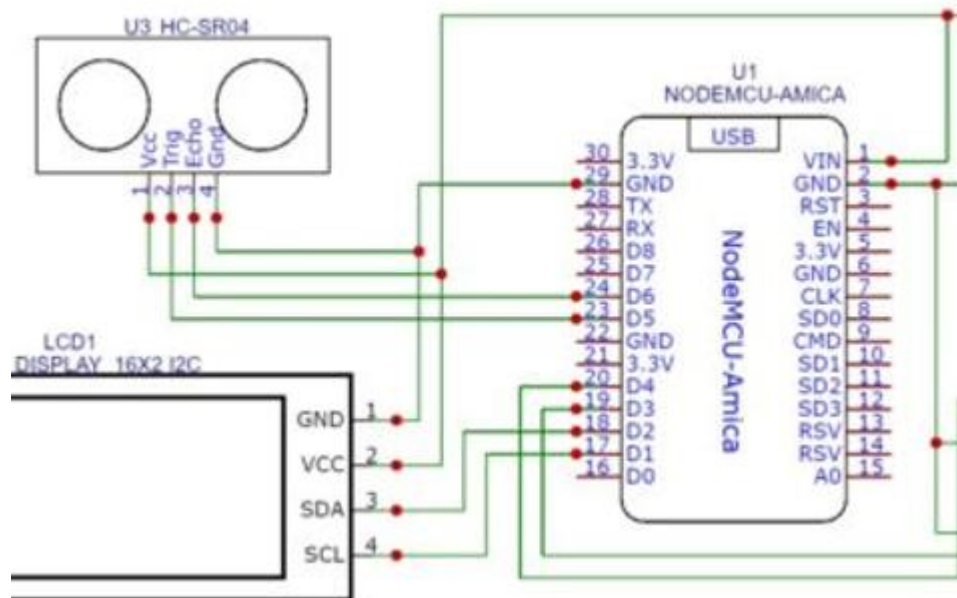


Рисунок 3.9 – Схема підключення ультразвукового датчика HC-SR04 до NodeMCU

Функція `setup()` відповідає за ініціалізацію серійного монітора (швидкість 115200 бод) для дебагу, програмного серійного порту для SIM800L (швидкість 9600 бод), а також підключення до мобільної мережі, GPRS і хмарного сервера Blynk. У процесі налаштування GSM-модуль перезапускається командою `modem.restart()`, після чого перевіряється підключення до мережі через `modem.waitForNetwork()` і до GPRS через `modem.gprsConnect(apn, user, pass)`. У разі успішного з'єднання виводяться повідомлення в серійний монітор ("Network connected", "GPRS connected"), що полегшує відлагодження.

Циклічне опитування реалізовано за допомогою таймера `BlynkTimer`, який викликає функцію `sendWaterLevel()` кожні 5 секунд (`timer.setInterval(5000L, sendWaterLevel)`). Ця функція зчитує відстань до поверхні води за допомогою ультразвукового датчика через `sonar.ping_cm()`. Таким чином, `sendWaterLevel()` забезпечує постійний моніторинг стану резервуару та оперативне сповіщення про аварійні ситуації.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

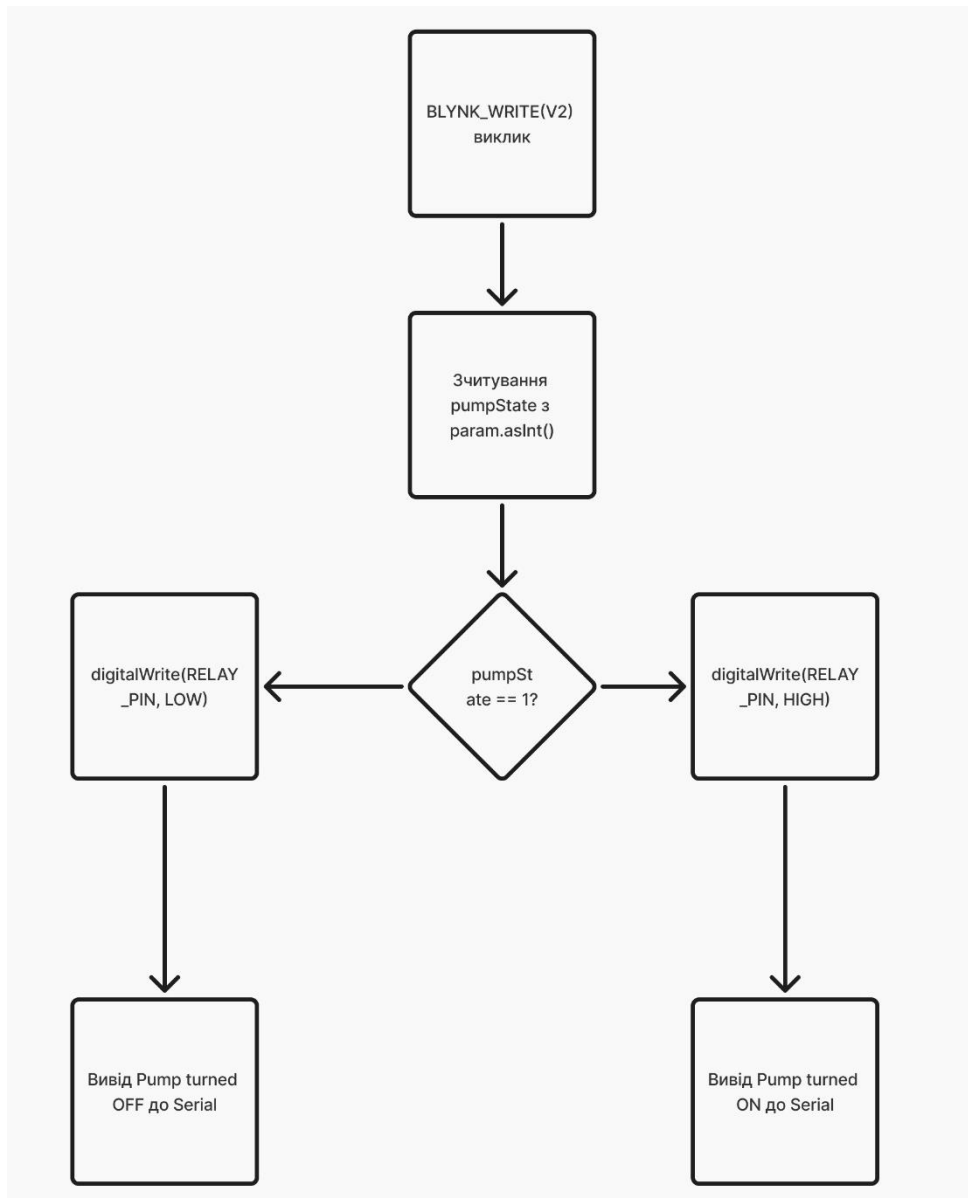


Рисунок 3.10 – Блок-схема циклічного опитування ультразвукового датчика та передачі даних на Blynk

Якщо відстань дорівнює 0 (немає відбиття), вважається, що резервуар порожній, і відстань прирівнюється до 300 см. Далі обчислюється відсоток заповнення резервуару за формулою  $\text{int levelPercent} = 100 - \text{constrain}(\text{distance}, 0, 100)$  (при висоті бака 100 см), і дані передаються на хмарний сервер через віртуальний пін V1 командою `Blynk.virtualWrite(V1, levelPercent)`. Для відлагодження значення виводиться в серійний монітор ("Water level: X%"). Якщо рівень падає нижче критичного порогу (10%), функція надсилає push-повідомлення через `Blynk.notify("Warning: Critical water level detected!")`.

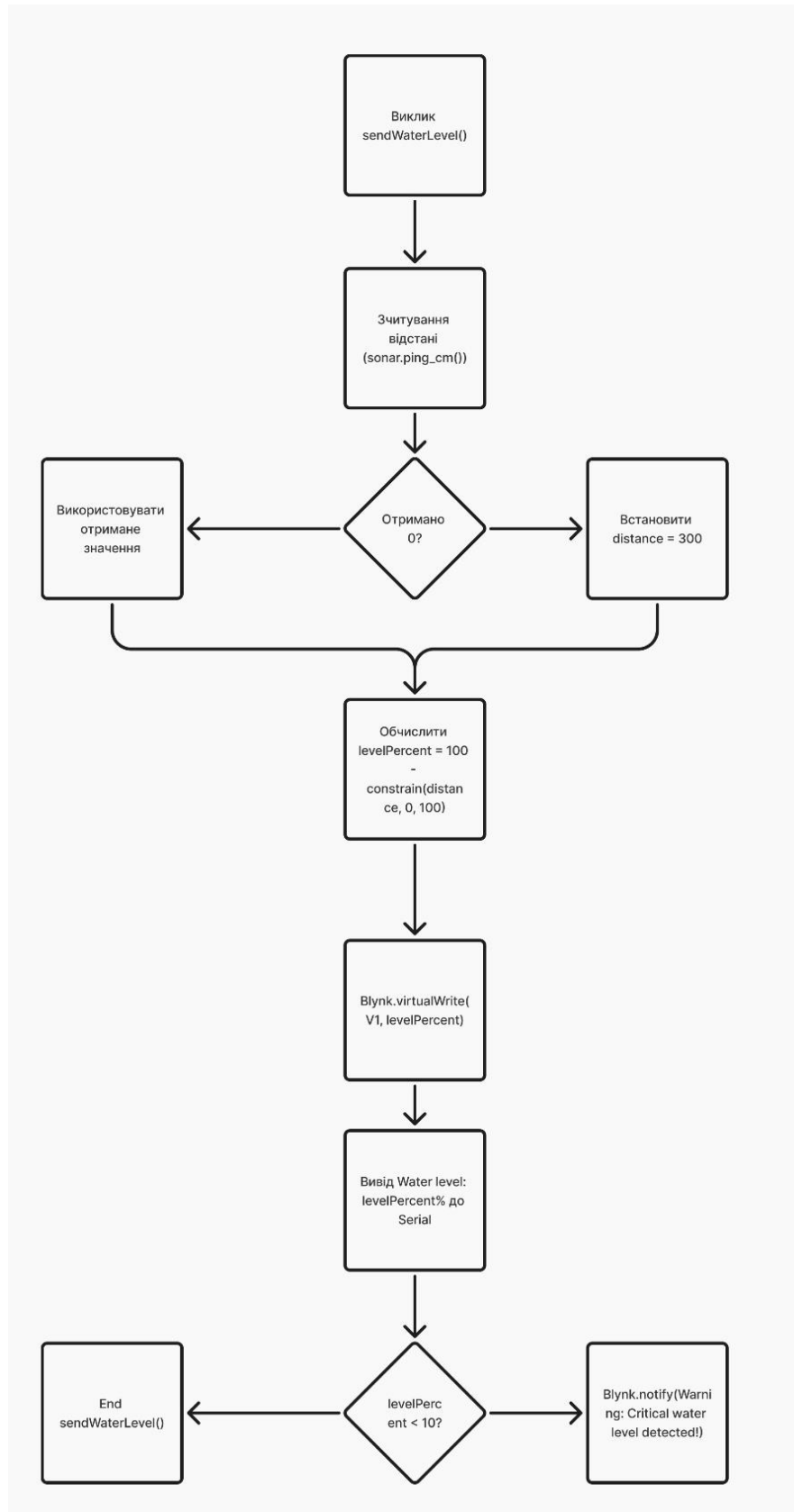


Рисунок 3.11 - Блок-схема таймерного циклу: виклик sendWaterLevel() кожні 5 секунд

## Обробка команд користувача

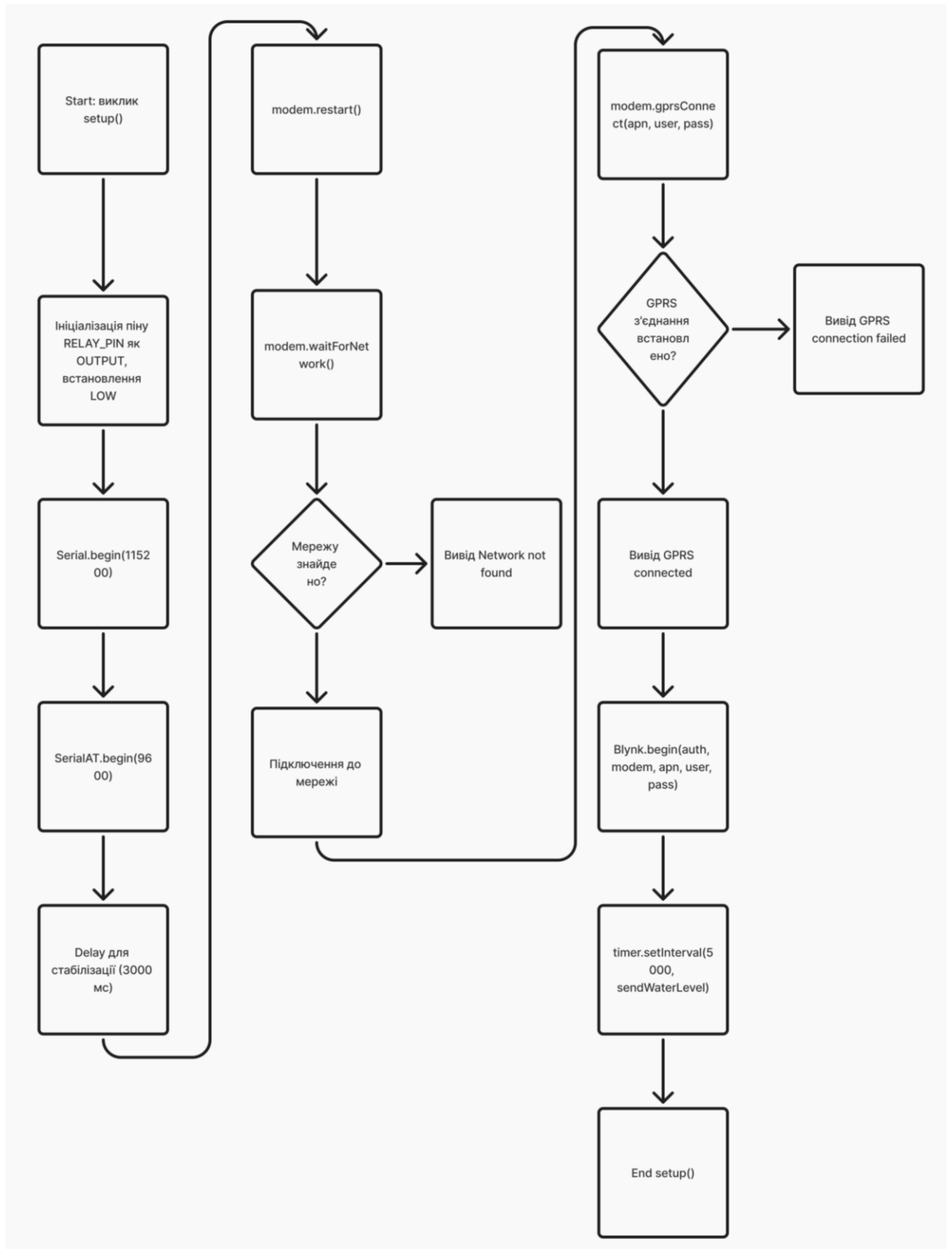


Рисунок 3.12 - UML-діаграма взаємодії: отримання команди від користувача через Blynk, обробка BLYNK\_WRITE(V2) і активація реле

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Основний цикл loop()

У функції loop() викликаються Blynk.run() і timer.run(), що забезпечує безперерйну обробку подій Blynk (зв'язок із сервером, обробка команд) і запуск таймера для циклічного опитування сенсорів. Цей цикл інтегрує всі функції в єдину систему, гарантуючи її стабільну роботу.

## Інтеграція з апаратною частиною

Код тісно пов'язаний із апаратною схемою. Ультразвуковий датчик HC-SR04 адаптується для роботи з NodeMCU через піни TRIG і ECHO, SIM800L забезпечує надійний зв'язок із Blynk через програмний серійний порт, а реле виступає виконавчим механізмом, активуючи насос за командами з додатку. Наприклад, правильне підключення SIM800L до GPIO4 і GPIO5 та використання реле на GPIO12 забезпечують синхронну роботу системи. Така інтеграція дозволяє всім компонентам - від сенсорів до виконавчих пристроїв - працювати як єдине ціле.

## Детальний опис ключових елементів коду

sendWaterLevel(): Зчитує відстань до води через NewPing, обчислює відсоток заповнення резервуару та передає дані на Blynk через Blynk.virtualWrite(). При падінні рівня нижче 10% генерує сповіщення. Функція критична для моніторингу стану системи.

BLYNK\_WRITE(V2): Реагує на команди користувача, активуючи або деактивуючи реле залежно від отриманого значення (1 або 0). Забезпечує віддалене керування насосом.

## 3.3 Висновки до третього розділу

У третьому розділі детально розглянуто всі етапи налаштування та розгортання хмарної платформи Blynk Cloud для забезпечення ефективної взаємодії між користувачем і кіберфізичною системою автоматизованого поливу. Окрему увагу приділено організації безпечного та стабільного двостороннього зв'язку: хмарний сервіс Blynk дозволяє не лише отримувати актуальні дані про рівень води в резервуарі, а й віддалено керувати насосом чи іншими виконавчими

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

пристроями за допомогою інтуїтивно зрозумілого мобільного додатку. Такий підхід значно підвищує зручність користування, особливо для аграріїв чи власників великих господарств, яким важливо контролювати стан системи в реальному часі, не перебуваючи безпосередньо на об'єкті.

Важливим технологічним рішенням стала інтеграція GSM-модуля через бібліотеку TinyGSM. Це дає змогу пристрою залишатися на зв'язку навіть у тих районах, де відсутній стабільний доступ до Wi-Fi-мережі, що особливо актуально для сільських чи віддалених місцевостей. Завдяки цьому система зберігає працездатність у різних умовах, дозволяючи користувачеві отримувати інформацію і відправляти команди незалежно від розташування резервуара чи особливостей інфраструктури.

Програмна частина клієнта реалізована таким чином, щоб забезпечити надійне функціонування всіх підсистем. Основна логіка коду базується на циклічному опитуванні ультразвукового датчика - функція `sendWaterLevel()` відповідає за вимірювання відстані до поверхні води, розрахунок відсотка заповнення ємності, формування відповідних повідомлень для користувача та передачу цих даних на хмарну платформу через Blynk. Зворотний зв'язок реалізовано за допомогою callback-функції `BLYNK_WRITE(V2)`, яка дозволяє оперативно реагувати на команди, що надходять із мобільного додатку, - наприклад, увімкнення чи вимкнення насоса для поливу. Уся взаємодія із хмарою відбувається через захищені протоколи, а застосування таймерів і розділення основних процесів забезпечує стабільність передачі даних, регулярне оновлення інформації на стороні користувача та попередження втрат зв'язку чи затримок.

Описана архітектура програмного забезпечення забезпечує повноцінну інтеграцію всіх елементів системи - від зчитування та обробки сигналів із сенсорів до передачі інформації в хмару та управління виконавчими пристроями. Такий комплексний підхід дозволяє системі залишатися стабільною, надійною та адаптивною до змін навколишнього середовища, що особливо важливо для сучасного сільського господарства.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

## ВИСНОВОК

У дипломній роботі «Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі» було розроблено комплексний підхід до автоматизації процесу зрошення за допомогою інтегрованої системи, що об'єднує апаратні, програмні та хмарні компоненти. Теоретична частина роботи ґрунтовно висвітлює постановку задачі, актуальність розробки та аналіз існуючих рішень, що дозволило чітко визначити необхідні параметри для створення ефективної та надійної системи. Особлива увага приділялася збалансованості вимог: система повинна забезпечувати точне вимірювання рівня рідини, дистанційне керування насосом, сповіщення користувача в реальному часі, а також бути енергоефективною і стійкою до змін зовнішніх умов.

У процесі проектування було розроблено узагальнену архітектуру, яка охоплює ключові елементи, зокрема ультразвуковий датчик, мікроконтролер NodeMCU (ESP8266), GSM-модуль SIM800L, хмарний сервер на базі платформи Blynk та виконавчий механізм у вигляді насоса, керованого через реле.

Електрична принципова схема та монтажна схема, представлені у роботі, ілюструють точний підхід до інтеграції компонентів. Знижуючи напругу для сумісності з логікою NodeMCU, забезпечується захист мікроконтролера при роботі з 5В-сенсорами, а використання спеціальних модулів, таких як SIM800L і реле з оптронною розв'язкою, гарантує стабільність та безпеку роботи системи навіть у несприятливих умовах експлуатації.

У практичній частині роботи детально описано архітектуру пристрою, програмування мікроконтролера та систему збору й обробки інформації. Програмне забезпечення, розроблене з використанням Arduino IDE та спеціалізованих бібліотек (Blynk, TinyGSM, NewPing, BlynkTimer), демонструє, як система здатна в режимі реального часу збирати дані з датчиків, їх обробляти та передавати на хмарний сервер для подальшого аналізу, а також оперативно реагувати на команди користувача для управління насосом.

					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Qian M., Zhang Y., Wu Y., He S., Liu L. Smart Irrigation Systems from Cyber-Physical Perspective: State of Art and Future Directions. *Future Internet*. 2024. Vol. 16, No. 7. P. 234. URL: <https://doi.org/10.3390/fi16070234>
2. Devan P. K., Velusamy V., Manivannan S., Padmanabhan M. IoT-based Solar-Powered Smart Irrigation System. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 2054, No. 1. P. 012074. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2054/1/012074>
3. Abdelmoneim A. A., Abdelgadir A. I., Osman A. I., Elhassan I. O. IoT Sensing for Advanced Irrigation Management: A Systematic Review of Trends, Challenges, and Future Prospects. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 7. P. 2291. URL: <https://doi.org/10.3390/s25072291>
4. Brown Macheso P. S., Meela A. G. IoT-based Patient Health Monitoring Using ESP8266 and Arduino. *International Journal of Computer Communication and Informatics*. 2021. Vol. 3, No. 2. P. 75-83. URL: <https://doi.org/10.34256/ijcci2127>
5. Shrivastava R. K., Chourasia B. K., Agrawal S. IoT-based Induction Motor Monitoring System for Industries. *Journal of Switching Hub*. 2023. Vol. 8, No. 1. P. 28-37. URL: <https://doi.org/10.46610/josh.2023.v08i01.005>
6. IoT-based Electrolyte Level Monitoring System. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2020. Vol. 9, No. 8. P. 596-601. URL: <https://doi.org/10.35940/ijitee.h6528.069820>
7. Biji C., C P V. Water Level Monitoring System. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2019. P. 1282-1287. URL: <https://doi.org/10.32628/cseit1952344>
8. Durga Bhavani R., Chaitanya K. K., Swathi K., Kumar M. S., Raju G. Intelligent Water Management System Using IoT. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*. 2025. Vol. 9, No. 2. P. 433-442. URL: <https://doi.org/10.46647/ijetms.2025.v09i02.054>

										Арк.
										58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВПКІ 022116.22.02.32 ПЗ					

9. Obaideen K., Ayyash M., Tumar I., Shubita A., Shubita B. An Overview of Smart Irrigation Systems Using IoT. *Energy Nexus*. 2022. P. 100124. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100124>

10. Premkumar S., Sigappi A. IoT-enabled Edge Computing Model for Smart Irrigation System. *Journal of Intelligent Systems*. 2022. Vol. 31, No. 1. P. 632-650. URL: <https://doi.org/10.1515/jisys-2022-0046>

11. Russ S., Elliott J., Leahy P. PILS: Low-Cost Water-Level Monitoring. *Environmental Monitoring*. 2011. P. 239-252. URL: <https://doi.org/10.5772/27515>

12. Sohrabi S., Shojafar M., Fumagalli L., Abawajy J. H. Fog-based Architecture and Efficient Task Offloading Methodology in IoT-based Applications for Smart Irrigation System. *Computing*. 2025. Vol. 107, No. 3. P. 391–411 URL: <https://doi.org/10.1007/s00607-025-01430-1>

13. Arduino-based Smart Irrigation System. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*. 2023. P. 1203-1208. URL: <https://doi.org/10.56726/irjmets33090>

14. Yasin H. M., Zeebaree S. R. M., Zebari I. M. I. Arduino-based Automatic Irrigation System: Monitoring and SMS Controlling. 2019 4th Scientific International Conference Najaf (SICN), Al-Najaf, Iraq, 29-30 Apr 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/sicn47020.2019.9019370>

15. Automatic Irrigation System Using Arduino UNO. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*. 2023. P. 100-104. URL: <https://doi.org/10.58257/ijprems31943>

16. Arun S. B., Chavhan S. V., Ingle S. T., Waghmare V. P. Arduino-based Automatic Irrigation Control System by Utilizing Moisture Content. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2022. Vol. 70, No. 3A. P. 1. URL: <https://doi.org/10.18311/jmmf/2022/30659>

17. Automatic Plant Irrigation System Using Arduino for Efficient Water Management. *International Research Journal of Modernization in Engineering*

					КВПКИ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

*Technology and Science.* 2023. P. 1150-1155. URL: <https://doi.org/10.56726/irjmets42129>

18. Sinha C., Gupta P. Smart Irrigation System Using Arduino. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management.* 2023. Vol. 7, No. 9. P. 1-11. URL: <https://doi.org/10.55041/ijrem25793>

19. Bhadani P., Vashisht V. Soil Moisture, Temperature and Humidity Measurement Using Arduino. 2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), Noida, India, 10-11 Jan 2019. P. 12-17. URL: <https://doi.org/10.1109/confluence.2019.8776973>

20. Roy B. P., Upendra, Krishna V. et al. A Smart Irrigation System Using the IoT and Advanced Machine Learning Framework. *Journal of Sensor and Actuator Networks.* 2024. Vol. 13, No. 1. P. 10. URL: <https://doi.org/10.2478/jsiot-2024-0009>

21. T. K. R., Kumar S., Reddy N., Suresh Babu G. IoT-based Smart Irrigation Tracking and Management System Using Arduino UNO Microcontroller. *International Journal of Advanced Trends in Engineering and Management.* 2023. Vol. 2, No. 8. P. 34-43. URL: <https://doi.org/10.59544/yjsc3391/ijatemv02i06p4>

22. Ahmed U., Sohail F. Evaluating Decision Support Systems for Precision Irrigation and Water Use Efficiency. *Digital Engineering.* 2025. P. 23-32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dte.2025.100038>

23. Bavkar S., Patil N., Birje Y. IoT-enabled Smart Irrigation System Using Arduino. *SSRN Electronic Journal.* 2020. P. 1-7. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3648829>

24. Swathika O. V. G., Janarthanan R., Sathyamoorthy V. Arduino-based Solar-Powered Auto-Irrigation System. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology.* 2020. Vol. 16, No. 3/4. P. 247. URL: <https://doi.org/10.1504/ijarge.2020.10038084>

25. Alam M. R., Ahmed T. S., Rahman M. S., Islam M. S., Bairagi A. K. An Overview of Smart Irrigation Systems Using IoT. *Computers and Electronics in*

					КВПКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

*Agriculture*. 2022. Vol. 191. P. 106567. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106567>

26. Dharani S. Automatic Plant Irrigation System Using Arduino. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2020. Vol. 8, No. 2. P. 591-594. URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.2089>

27. Goap A., Sharma D., Shukla A. K., Rama Krishna C. An IoT-based Smart Irrigation Management System Using Machine Learning and Open-Source Technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 155. P. 41-49. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.036>

28. Satra S., Karani M., Chaudhari S., Sakhare S. Design and Implementation of Arduino-based Automatic Irrigation with Moisture Sensor. *SSRN Electronic Journal*. 2023. P. 1-6. URL: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4513859>

29. K S J. M., Savant D. P. A Research Paper on Auto-Controlling Irrigation System Using Arduino UNO. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2022. Vol. 10, No. 4. P. 1207-1212. URL: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41401>

30. Selmani A., Lakhali M., Hamam H., Labbani R. Agricultural Cyber-Physical System Enabled for Remote Management of Solar-Powered Precision Irrigation. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 177. P. 18-30. URL: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.007>

31. Mirkouei A. A Cyber-Physical Analyzer System for Precision Agriculture. *Environmental Science Current Research*. 2020. Vol. 3, No. 1. P. 1-8. URL: <https://doi.org/10.24966/escr-5020/100016>

32. Ahmad U., Sohel F. Evaluating Decision Support Systems for Precision Irrigation and Water Use Efficiency. *Digital Engineering*. 2025. P. 23-32. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dte.2025.100038>

33. Triantafyllou A., Sarigiannidis P., Bibi S. Precision Agriculture: A Remote Sensing Monitoring System Architecture. *Information*. 2019. Vol. 10, No. 11. P. 348. URL: <https://doi.org/10.3390/info10110348>

					КВПКИ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

34. Klushyn Y. Drip Irrigation Cyber-Physical System with Remote Control. *International Journal of Computing*. 2023. P. 254-261. URL: <https://doi.org/10.47839/ijc.22.2.3096>

35. Rad C.-R., Soleymani M., Goudarzi S. Smart Monitoring of Potato Crop: A Cyber-Physical System Architecture Model in the Field of Precision Agriculture. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. Vol. 6. P. 73-79. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.041>

36. An W., Zhu Q., Huang H. Agriculture Cyber-Physical Systems. In: *Cyber-Physical Systems*. 2017. P. 399-417. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803801-7.00025-0>

37. Madhavi N., Saritha B., Geetha S. Smart Farming - Precision Agriculture Using ML. *International Research Journal on Advanced Engineering and Management (IRJAEM)*. 2025. Vol. 3, No. 4. P. 1035-1041. URL: <https://doi.org/10.47392/irjaem.2025.0169>

38. Abioye E. A., Oyedotun O. K., Jimoh R. G. A Review on Monitoring and Advanced Control Strategies for Precision Irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 173. P. 105441. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105441>

39. Mohiddin S. K., Sharmila S., Sharma V. Tools and Framework for Cyber-Physical Agricultural Systems. In: *Agri 4.0 and the Future of Cyber-Physical Agricultural Systems*. 2024. P. 37-53. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13185-1.00003-4>

40. Serpanos D. The Cyber-Physical Systems Revolution. *Computer*. 2018. Vol. 51, No. 3. P. 70-73. URL: <https://doi.org/10.1109/mc.2018.1731058>

41. Wolf W. Cyber-Physical Systems. *Computer*. 2009. Vol. 42, No. 3. P. 88-89. URL: <https://doi.org/10.1109/mc.2009.81>

42. Park K.-J., Zheng R., Liu X. Cyber-Physical Systems: Milestones and Research Challenges. *Computer Communications*. 2012. Vol. 36, No. 1. P. 1-7. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.09.006>

					КВПКИ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

43. Hartung R. L., Hakansson A., Moradian E. A Prescription for Cyber-Physical Systems. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 60. P. 1552-1558. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.264>

44. Watrous J. Quantum Computational Complexity. In: *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*. New York, 2013. P. 1-40. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5\\_428-3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27737-5_428-3)

45. The M. R. Group, M. R. Group. *Industrial Process Controls in India: A Strategic Entry Report, 2000 (Strategic Planning Series)*. 2-nd ed. Icon Group International, Inc., 2005. P. 236.

46. Sánchez J. M. G., García J. L., Tello A. R., et al. Edge Computing for Cyber-Physical Systems. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*. P. 1-22. 2022. URL: <https://doi.org/10.1145/3539662>

47. Mobile Cloud Computing-enabled Emerging CPS Applications. In: *Cyber-Physical Systems*. 2015. P. 233-238. URL: <https://doi.org/10.1201/b19003-19>

48. IoT Editorial Office. Acknowledgment to the Reviewers of IoT in 2022. *IoT*. 2023. Vol. 4, No. 1. P. 56. URL: <https://doi.org/10.3390/iot4010003>

49. Arboleda E. R., Cero C. D. L., Ala K. J. L. Android Application for Microcontroller-based Reservoir Water Level Monitoring. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI)*. 2018. Vol. 6, No. 1. P. 60-68. URL: <https://doi.org/10.52549/ijeie.v6i1.338>

50. Zhang B. S., Luo D. Y., Chen X. Y., Liang X. Research on Inductive Oil-Water Interface Level Sensor. *Applied Mechanics and Materials*. 2012. Vol. 229-231. P. 1244-1247. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.229-231.1244>

51. Murugan S. L., Siva Kumar L. T. IoT Water Level Monitoring System. *International Journal of Recent Technology and Applied Science*. 2022. Vol. 4, No. 1. P. 1-14. URL: <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0401.274>

52. Hamami L., Nassereddine B. Application of Wireless Sensor Networks in the Field of Irrigation: A Review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. P. 105782. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105782>

										Арк.
										63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВПКІ 022116.22.02.32 ПЗ					

53. Mendez G. R., Mukhopadhyay S. C. A Wi-Fi-based Smart Wireless Sensor Network for an Agricultural Environment. In: Smart Sensors, Measurement and Instrumentation. Berlin-Heidelberg, 2013. P. 247-268. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36365-8\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36365-8_10)

54. Tara N., Hyder K. S., Sharmin S. A Systematic Literature Review on IoT-based Irrigation. *International Journal of Computer Applications*. 2022. Vol. 184, No. 2. P. 1-8. URL: <https://doi.org/10.5120/ijca2022921998>

55. Humpherys A. S. Automatic Furrow Irrigation Systems. *Transactions of the ASAE*. 1971. Vol. 14, No. 3. P. 466-470. URL: <https://doi.org/10.13031/2013.38316>

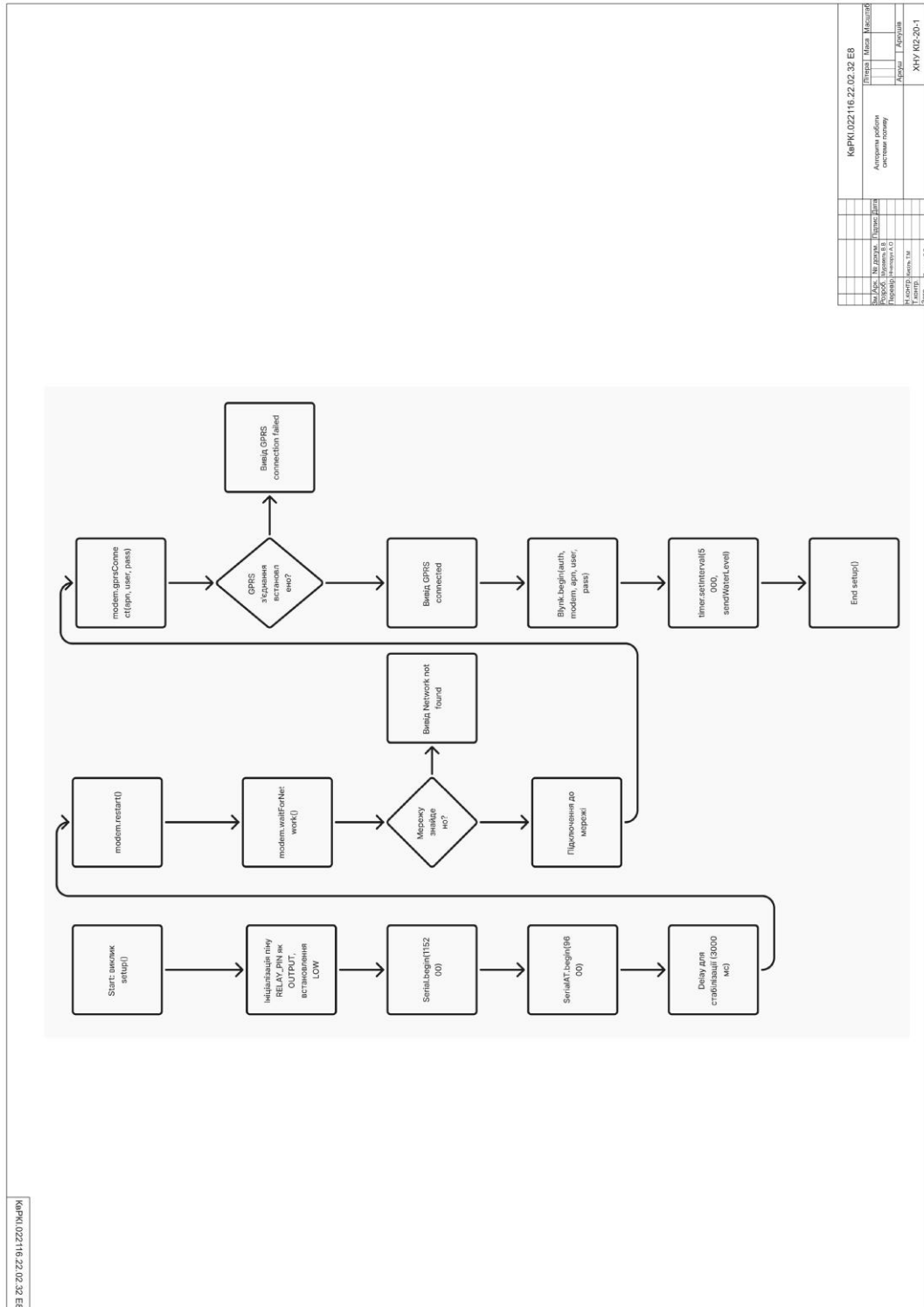
					КВРКІ 022116.22.02.32 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64





# ДОДАТОК В (обов'язковий)

## КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОЛИВУ»



**ДОДАТОК Г**  
(обов'язковий)

**МОДУЛЬ «МОНІТОРИНГ ТА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ВОДИ»**

/\* Water level monitoring system with the New Blynk app

Home Page

\*/

// === Модуль 1: Підключення бібліотек та ініціалізація змінних ===

#include <LiquidCrystal\_I2C.h>

#define BLYNK\_PRINT Serial

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

LiquidCrystal\_I2C lcd(0x27, 16, 2);

char auth[] = ""; // Enter your Auth token

char ssid[] = ""; // Enter your WIFI name

char pass[] = ""; // Enter your WIFI password

BlynkTimer timer;

// === Модуль 2: Оголошення компонентів системи ===

#define trig D7

#define echo D8

#define LED1 D0

#define LED2 D3

#define LED3 D4

#define LED4 D5

#define LED5 D6

#define relay 3

```
// === Модуль 3: Налаштування рівнів води ===  
  
int MaxLevel = 20;  
int Level1 = (MaxLevel * 75) / 100;  
int Level2 = (MaxLevel * 65) / 100;  
int Level3 = (MaxLevel * 55) / 100;  
int Level4 = (MaxLevel * 45) / 100;  
int Level5 = (MaxLevel * 35) / 100;  
  
// === Модуль 4: Ініціалізація системи ===  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  lcd.init();  
  lcd.backlight();  
  pinMode(trig, OUTPUT);  
  pinMode(echo, INPUT);  
  pinMode(LED1, OUTPUT);  
  pinMode(LED2, OUTPUT);  
  pinMode(LED3, OUTPUT);  
  pinMode(LED4, OUTPUT);  
  pinMode(LED5, OUTPUT);  
  pinMode(relay, OUTPUT);  
  digitalWrite(relay, HIGH);  
  Blynk.begin(auth, ssid, pass, "blynk.cloud", 80);  
  lcd.setCursor(0, 0);  
  lcd.print("Water level");  
  lcd.setCursor(4, 1);  
  lcd.print("Monitoring");  
  delay(4000);  
  lcd.clear();  
}
```

```

//Call the functions
timer.setInterval(100L, ultrasonic);
}

// === Модуль 5: Обробка даних з ультразвукового сенсора ===
void ultrasonic() {
  digitalWrite(trig, LOW);
  delayMicroseconds(4);
  digitalWrite(trig, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trig, LOW);
  long t = pulseIn(echo, HIGH);
  int distance = t / 29 / 2;
  int blynkDistance = (distance - MaxLevel) * -1;
  if (distance <= MaxLevel) {
    Blynk.virtualWrite(V0, blynkDistance);
  } else {
    Blynk.virtualWrite(V0, 0);
  }
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("WLevel:");
  if (Level1 <= distance) {
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("Very Low");
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, LOW);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    digitalWrite(LED4, LOW);
    digitalWrite(LED5, LOW);
  }
}

```

```

} else if (Level2 <= distance && Level1 > distance) {
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("Low");
    lcd.print("  ");
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, LOW);
    digitalWrite(LED4, LOW);
    digitalWrite(LED5, LOW);
} else if (Level3 <= distance && Level2 > distance) {
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("Medium");
    lcd.print("  ");
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    digitalWrite(LED4, LOW);
    digitalWrite(LED5, LOW);
} else if (Level4 <= distance && Level3 > distance) {
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("High");
    lcd.print("  ");
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    digitalWrite(LED4, HIGH);
    digitalWrite(LED5, LOW);
} else if (Level5 >= distance) {
    lcd.setCursor(8, 0);

```

```

    lcd.print("Full");
    lcd.print("  ");
    digitalWrite(LED1, HIGH);
    digitalWrite(LED2, HIGH);
    digitalWrite(LED3, HIGH);
    digitalWrite(LED4, HIGH);
    digitalWrite(LED5, HIGH);
  }
}

// === Модуль 6: Керування насосом через додаток Blynk ===
BLYNK_WRITE(V1) {
  bool Relay = param.asInt();
  if (Relay == 1) {
    digitalWrite(relay, LOW);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor is ON ");
  } else {
    digitalWrite(relay, HIGH);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Motor is OFF");
  }
}

// === Модуль 7: Головний цикл програми ===
void loop() {
  Blynk.run(); //Run the Blynk library
  timer.run(); //Run the Blynk timer
}

```

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

Владислава МУРАВЛЯ

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-2

### 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.

02.06 2025 року



## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Муравель Владислав Володимирович

Тема: Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень   3   Кількість сторінок записки   63  

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка та впровадження кіберфізичної системи віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі, яка об'єднує сучасні апаратні та програмні рішення для автоматизованого управління процесом поливу і дистанційного контролю за допомогою хмарних технологій.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз сучасних кіберфізичних систем віддаленого поливу, розглянуто принципи моніторингу параметрів якості повітря та вологи, наведено огляд існуючих рішень і постановку задачі дослідження. У другому розділі здійснено проектування системи: сформульовано вимоги, розроблено структуру, електричну принципову та монтажну схеми, проведено вибір та аналіз компонентів, розглянуто питання енергозабезпечення та безпеки, а також надано обґрунтування вибору програмного та апаратного забезпечення. У третьому розділі розглянуто питання програмної реалізації, налаштування хмарної платформи Blynk, розробки клієнтської частини та прошивки для ESP8266 з використанням GSM-модуля, а також протестовано роботу системи у реальних умовах.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи: високий рівень інтеграції сучасних технологій (IoT, хмарні сервіси), комплексний підхід до

автоматизації поливу, модульність та можливість масштабування системи. Актуальність теми для розв'язання завдань раціонального використання ресурсів та автоматизації агротехнологій.

5. Негативні сторони роботи: недостатньо розкриті питання кібербезпеки при підключенні до хмарних сервісів та можливостей подальшого розширення функціоналу системи.

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.

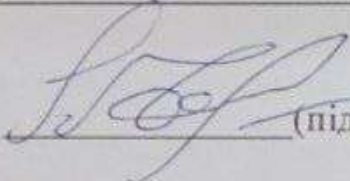
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

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

Горюхін Андрій Вікторович  
доцент кафедри ТІЗ

“ 2 ” серпня 2025 р.

 (підпис)

Mon Jun 02 13:21:04 EEST 2025, Медзятий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

**The maximum coincidence with one document 0.0%**

**Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 13%**

ID: 242906 Title: БКР Кіберфізична система віддаленого поливу росл.н із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі Added in a DB: 2025-06-02 Authors: Владислав МУРАВЕЛЬ Heads: Андрій НІЧЕПОРУК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	92397	704	1350 (1%)	19 (3%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

**Автор:** Владислав МУРАВЕЛЬ

**Співавтор:**

**Назва:** Муравель\_Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуар

**Експерт:**

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:** 4.8%

**Коефіцієнт подібності 2:** 1.1%

**Мікропробіли:** 4

**Заміна букв:** 5

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2025-06-02 17:27:10.0

**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:**

2025-06-02

Доцент Андрій Нічепорук

Дата

експерт

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система віддаленого поливу рослин із функцією моніторингу рівня рідини в резервуарі

Автор Владислав МУРАВЕЛЬ

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 123– Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.т.н., доцент Андрій Нічепорук

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

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

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
  - 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4.79% і адресується до 33 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Андрій Нічепорук

Андрій Нічепорук

Ольга Павлова