

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

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система керування фітоосвітленням
лабораторії прискореної селекції рослин

Виконав: студент 4 курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Чорномаз В. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луцик Н. С.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є. В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«25» квітня 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студента Чорномаза Віталія Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система керування фітоосвітленням
лабораторії прискореної селекції рослин

Керівник роботи Луцик Надія Степанівна, кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

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

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проектна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Структурна схема

2. Схема електрична принципова

3. Блок-схема алгоритму роботи програми

4. Результати тестування системи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Сенчишин В.С., к.т.н., доц. каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання 25.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 30.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>01.05 – 15.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>16.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>25.06.2026</i>	

Студент

_____ (підпис)

Чорномаз Віталій Сергійович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Луцик Надія Степанівна

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Чорномаз В. С. Комп'ютерна система керування фітоосвітленням лабораторії прискореної селекції рослин: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: комп'ютерна система, фітоосвітлення, прискорена селекція, мікроконтролер ESP32, протокол DALI, WebSocket, Android-застосунок.

В кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютерну систему керування фітоосвітленням лабораторії прискореної селекції рослин. Розроблено узагальнену структурну схему бездротової системи, на основі якої запропоновано архітектуру з використанням локального Android-сервера та автономних кінцевих вузлів. Розроблено схему електричну принципову двоканального вузла узгодження рівнів на базі мікроконтролера ESP32 для адресного димування світлових приладів за цифровим стандартом DALI з гальванічною розв'язкою. Створено мобільний Android-застосунок з використанням протоколу WebSocket та локальної бази даних. Основні техніко-експлуатаційні характеристики: тривалість фотоперіоду — 22 години світла та 2 години темряви, інтерфейс силової комутації — шина DALI, швидкість передачі даних лінії освітлення — 1200 біт/с, мережева бездротова взаємодія — Wi-Fi, максимальна пропускна здатність сервера — понад 300 бездротових з'єднань одночасно, автономність — підтримка розкладу за допомогою апаратного модуля RTC при мережевих збоях.

ANNOTATION

Chornomaz V. S. Computer System for Phytolighting Control in a Plant Accelerated Selection Laboratory: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: computer system, phyto-lighting, accelerated plant selection, ESP32 microcontroller, DALI protocol, WebSocket, Android application

A computer system for controlling phyto-lighting of a laboratory for accelerated plant selection was developed in the qualification work. The generalized structural scheme of the wireless system is developed, on the basis of which an architecture using a local Android server and autonomous end nodes is proposed. The electrical principle scheme of a two-channel level matching node based on the ESP32 microcontroller for addressable dimming of lighting devices according to the DALI digital standard with galvanic isolation is developed. A mobile Android application using the WebSocket protocol and a local database has been created. Main technical and operational characteristics: photoperiod duration - 22 hours of light and 2 hours of darkness, power switching interface - DALI bus, lighting line data transfer rate - 1200 bps, network wireless interaction - Wi-Fi, maximum server throughput - over 300 simultaneous wireless connections, autonomy - schedule support using a hardware RTC module during network failures.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.1 Аналіз біологічних та технічних вимог до системи фітоосвітлення прискореної селекції	10
1.2 Аналіз можливих рішень та існуючих архітектур керування освітленням	13
1.3 Вимоги до розроблюваної комп'ютерної системи.....	15
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА.....	17
2.1 Розробка узагальненої структури системи керування	17
2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення мікроконтролерного вузла.....	18
2.3 Розробка схеми електричної принципової апаратного вузла.....	20
2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для локального сервера та мікроконтролерів	23
2.5 Проектування протоколу взаємодії та структури бази даних	25
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.....	28
3.1 Реалізація програмного та апаратного забезпечення системи	28
3.2 Тестування розробленої системи керування фітоосвітленням	32
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ..	36
4.1 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону	36
4.2 Заходи з електробезпеки при експлуатації апаратної частини системи ..	38

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Чорномаз В. С.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.						6	
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.							
Затверд.		Осухівська Г.М.					

ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

Додаток А Технічне завдання

Додаток Б Перелік елементів

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						7
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю інтенсифікації сучасного селекційного процесу, де впровадження технологій прискореної селекції (Speed Breeding) дозволяє суттєво скоротити часові витрати на виведення нових сортів сільськогосподарських культур. Фундаментальною основою таких технологій є прецизійна маніпуляція параметрами світлового середовища, зокрема тривалістю фотоперіоду та спектральним складом освітлення, що вимагає розробки спеціалізованих комп'ютерних систем керування. Існуючі промислові рішення для тепличних комплексів часто характеризуються надмірною вартістю, громіздкістю інфраструктури та критичною залежністю від наявності стабільного зовнішнього інтернет-з'єднання, що є неприпустимим для безперервних лабораторних експериментів. У зв'язку з цим, розробка децентралізованих автономних систем на базі сучасних IoT-технологій є одним із перспективних напрямів розвитку комп'ютерної інженерії, оскільки дозволяє мінімізувати вплив мережеских збоїв та забезпечити гнучке масштабування лабораторних установок.

В рамках кваліфікаційної роботи розроблено та практично реалізовано комп'ютерну систему керування фітоосвітленням лабораторії прискореної селекції, яка базується на децентралізованій архітектурі з використанням мікроконтролерів ESP32, цифрового стандарту DALI та мобільного сервера на платформі Android. Для досягнення поставленої мети було вирішено комплекс взаємопов'язаних науково-технічних задач:

- проведено аналіз біологічних та технічних вимог до світлових режимів прискореної селекції, на основі якого обґрунтовано вибір архітектури локального управління;
- спроектовано та реалізовано апаратний вузол керування з гальванічною розв'язкою та підтриманням протоколу DALI для адресного димування світлових панелей;

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розроблено програмне забезпечення локального сервера на базі патерну MVVM, що забезпечує асинхронну обробку даних через протокол WebSocket та довгострокове збереження телеметрії у базі даних Room;

– здійснено алгоритмізацію процесів автономної роботи системи та проведено експериментальні дослідження, які підтвердили високу продуктивність, надійність та здатність системи до стабільного функціонування в ізольованому лабораторному середовищі.

Практичне значення результатів роботи полягають у створенні відмовостійкого програмно-апаратного комплексу, який, на відміну від хмарних рішень, забезпечує безперерійність проведення біологічних експериментів, дозволяючи гнучко налаштовувати світлові сценарії без потреби у зовнішніх обчислювальних ресурсах. Розроблена система демонструє високий потенціал до впровадження у науково-дослідну діяльність, забезпечуючи стабільні умови для проведення селекційних досліджень за будь-яких умов експлуатації.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз біологічних та технічних вимог до системи фітоосвітлення прискореної селекції

Фундаментальною основою технології прискореної селекції (Speed Breeding) є маніпуляція параметрами освітлення — його тривалістю, інтенсивністю та спектральним складом. На відміну від традиційних тепличних умов, класичні протоколи прискореної селекції передбачають застосування 22-годинного світлового дня, за яким слідує 2-годинний період повної темряви (рис. 1.1) [2]. Такий режим оптимізує фотосинтез і стимулює ранній перехід від вегетативної стадії до репродуктивної, що дозволяє суттєво прискорити цвітіння та дозрівання насіння для рослин довгого дня.

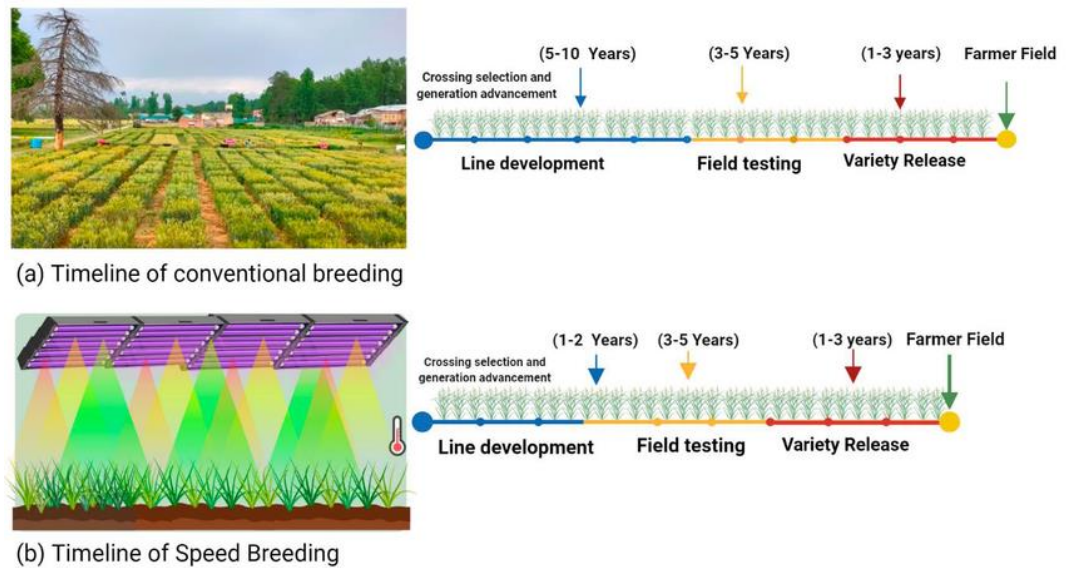


Рисунок 1.1 – Порівняння циклів традиційної та прискореної селекції

Важливою біологічною вимогою є те, що рівень і тривалість освітлення

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз технічного завдання	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Чорномаз В.С.					10	8
Перевір.		Луцик Н.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Реценз.								
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

виступають єдиними параметрами, які піддаються динамічній зміні, тоді як інші екологічні та фізіологічні фактори (температура, вологість, живлення) залишаються жорстко сталими. Це дозволяє повністю ізолювати вплив фотоперіоду на життєвий цикл рослини.

Окрім тривалості експозиції, критичну роль відіграє спектральний склад світла, оскільки рослини сприймають світлову інформацію через спеціалізовані фоторецептори (фітохроми та криптохроми), які безпосередньо впливають на експресію генів циркадного годинника (рис. 1.2) [3, 4].

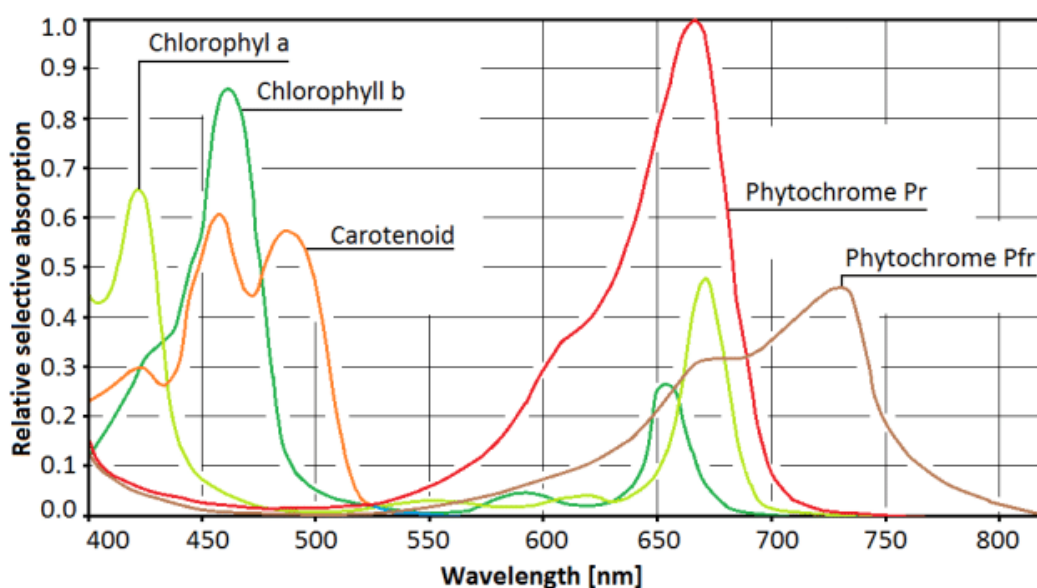


Рисунок 1.2 – Спектр дії фотосинтезу та поглинання світла рослинами

Відповідно, до системи фітоосвітлення висуваються жорсткі вимоги щодо незалежного керування спектральними каналами. Детальний аналіз впливу різних ділянок спектра наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вплив спектрального складу світла на фізіологію рослин в умовах прискореної селекції

Спектр світла	Довжина хвилі	Біологічний вплив та значення для Speed Breeding
Синій	~450 нм	Стимулює синтез хлорофілу та диференціацію клітин. Запобігає надмірному витягуванню стебла, забезпечуючи компактний вегетативний ріст.
Червоний	~660 нм	Є основним рушієм фотосинтезу. Стимулює накопичення біомаси, регулює поділ клітин та відіграє провідну роль в ініціації цвітіння.
Дальній червоний (інфра-червоний)	~730 нм	Регулює розвиток квіток через співвідношення Red:Far-Red (R:FR). Зниження цього співвідношення імітує затінення (shade avoidance syndrome), сигналізуючи рослині про необхідність прискореного росту стебла та раннього цвітіння.

З огляду на ці біологічні особливості, формуються специфічні технічні вимоги до комп'ютерної системи керування. Для створення динамічних "світлових рецептів" (light recipes) система повинна забезпечувати точне та адресне регулювання інтенсивності кожного світлодіодного каналу. Технічна реалізація вимагає використання цифрового стандарту DALI (Digital Addressable Lighting Interface) замість застарілого керування по живленню. Це забезпечить плавне цифрове димування сертифікованих DALI-драйверів, ліквідує проблеми з електромагнітними перешкодами та дозволить легко масштабувати лабораторні потужності без перевантаження центрального процесора мікроконтролера.

Враховуючи необхідність інтеграції таких вузлів у єдину локальну мережу лабораторії, апаратна платформа повинна мати достатньо обчислювальних ресурсів для підтримки мережевого стека, гарантування безпеки передачі даних та забезпечення автономної роботи у разі тимчасової

втрати з'єднання з центральним сервером.

1.2 Аналіз можливих рішень та існуючих архітектур керування освітленням

Для реалізації специфічних умов прискореної селекції у лабораторних масштабах необхідні високонадійні, точні та масштабовані комп'ютерні системи керування фітоосвітленням. Сьогодні існує кілька базових підходів до побудови таких систем, кожен з яких має свої переваги та суттєві недоліки.

Традиційні системи управління тепличними комплексами зазвичай будуються на базі промислових програмованих логічних контролерів (ПЛК) та спеціалізованих провідних мереж. Хоча такі системи є промисловим стандартом надійності, централізована провідна мережа вимагає прокладання сотень метрів кабелів та встановлення дорогих шаф управління (рис. 1.3) [5, 6]. Для багатоярусних стелажних систем у лабораторіях це робить інфраструктуру громіздкою, дорогою та складною для подальшого масштабування.



Рисунок 1.3 – Багатоярусна стелажна система з програмованим фітоосвітленням

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Іншим популярним рішенням на ринку є використання хмарних IoT-платформ таких як AWS, Google Cloud або Azure IoT. Такий підхід дозволяє легко збирати телеметрію та керувати освітленням з будь-якої точки світу. Проте хмарні рішення критично залежать від стабільності зовнішнього інтернет-з'єднання. У разі втрати зв'язку з сервером порушується суворий 22-годинний фотоперіод, що може звести нанівець місяці селекційної роботи.

Сучасні тенденції розвитку Інтернету речей (IoT) відкривають нові можливості для створення децентралізованих локальних бездротових систем, які позбавлені вищезазначених недоліків. Найбільш оптимальним та економічно обґрунтованим підходом для стелажних систем є архітектура, де мобільний Android-пристрій виконує роль локального сервера, а безпосереднє управління на кожному ярусі здійснюється автономними Wi-Fi мікроконтролерами [7].

У такій розподіленій бездротовій топології доцільно використовувати мікроконтролери сімейства ESP32. Вони володіють достатньою продуктивністю для підтримки мережевого стека, мають вбудований модуль Wi-Fi. Завдяки наявності апаратного годинника реального часу (RTC) кожен такий вузол здатен автономно підтримувати закладений розклад навіть у випадку ізоляції від мережі.

Для обміну даними у локальній мережі з топологією типу «зірка» найбільш ефективним є використання технології WebSocket [2]. На відміну від класичної моделі клієнт-сервер із постійними HTTP-запитами, WebSocket забезпечує повнодуплексне двостороннє з'єднання поверх єдиного TCP-каналу. Це гарантує мінімальні затримки при передачі команд керування та телеметрії у реальному часі без необхідності розгортання сторонніх брокерів повідомлень. Принцип роботи протоколу представлено на рисунку 1.4 [8].

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

WebSocket

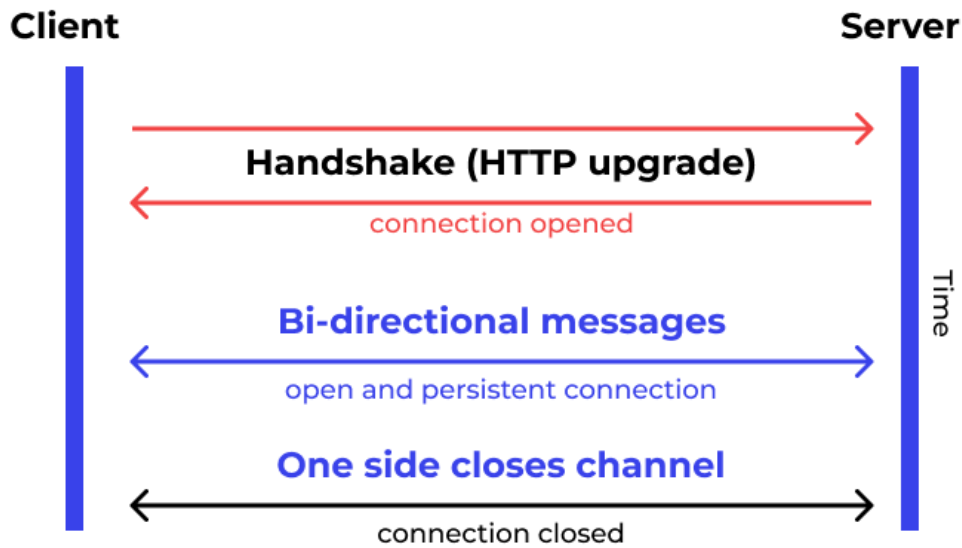


Рисунок 1.4 – Принцип взаємодії компонентів системи за протоколом
WebSocket

Використання мобільного Android-пристрою у якості центрального вузла, який суміщає функції локального WebSocket-сервера та бази даних, надає системі унікальні апаратні переваги. Зокрема, наявність потужного літій-іонного акумулятора діє як інтегроване джерело безперебійного живлення, зберігаючи телеметрію та логіку управління при перебоях в електромережі.

1.3 Вимоги до розроблюваної комп'ютерної системи

На основі проведеного аналізу предметної області та існуючих архітектурних рішень можна сформувати чіткі технічні вимоги до розроблюваної комп'ютерної системи керування фітоосвітленням. Головною метою розробки є створення надійного інструменту для автоматизації світлового середовища лабораторії прискореної селекції рослин, що забезпечує стабільну підтримку заданих фотоперіодів та динамічне

регулювання спектрального складу без потреби у зовнішньому інтернет-з'єднанні .

До апаратної частини кінцевих вузлів, що розміщуються на стелажах, висувуються вимоги щодо побудови на базі мікроконтролера із вбудованим Wi-Fi модулем, такого як ESP32. Апаратна платформа повинна мати підтримку інтерфейсу UART для підключення DALI-трансивера (контролера шини), що дозволить передавати цифрові команди до DALI-драйверів світильників різного спектрального складу [9]. Силова комутація високих струмів потужних LED-панелей буде здійснюватися безпосередньо самими DALI-драйверами. Для забезпечення відмовостійкості у разі мережеских збоїв обов'язковою є інтеграція апаратного модуля годинника реального часу з автономним живленням.

Програмне забезпечення локального сервера у вигляді Android-застосунку має реалізовувати архітектурний патерн MVVM для розділення логіки та графічного інтерфейсу, а також використовувати асинхронні потоки Coroutines для обробки подій [7]. Серверна частина додатка повинна містити вбудований менеджер WebSocket-з'єднань, який функціонує у фоновому режимі Foreground Service та утримує постійні сесії з усіма активними мікроконтролерами. Для довгострокового збереження конфігурацій та історії телеметрії вимоги передбачають використання локальної бази даних на основі Room. Прошивка мікроконтролерів має забезпечувати автоматичне підключення до Wi-Fi мережі, встановлення сокет-з'єднання із сервером, парсинг вхідних JSON-пакетів.

Мережева взаємодія повинна здійснюватися у закритій мережі Wi-Fi із відповідним шифруванням для запобігання несанкціонованому втручанню в систему [10].

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка узагальненої структури системи керування

Запропонована архітектура комп'ютерної системи керування фітоосвітленням повністю відмовляється від використання класичних промислових контролерів та провідних промислових мереж на користь бездротового підходу на базі концепції Інтернету речей. Архітектура системи базується на принципі розподіленого виконання команд: кожен ярус стелажа працює автономно, тоді як загальна координація та управління здійснюються централізовано через локальний сервер [6, 11]. У приміщенні лабораторії розгортається локальна бездротова мережа з топологією типу «зірка», де центральним комунікаційним вузлом є Wi-Fi маршрутизатор. Загальну структурну схему розробленої системи наведено на рисунку 2.1.

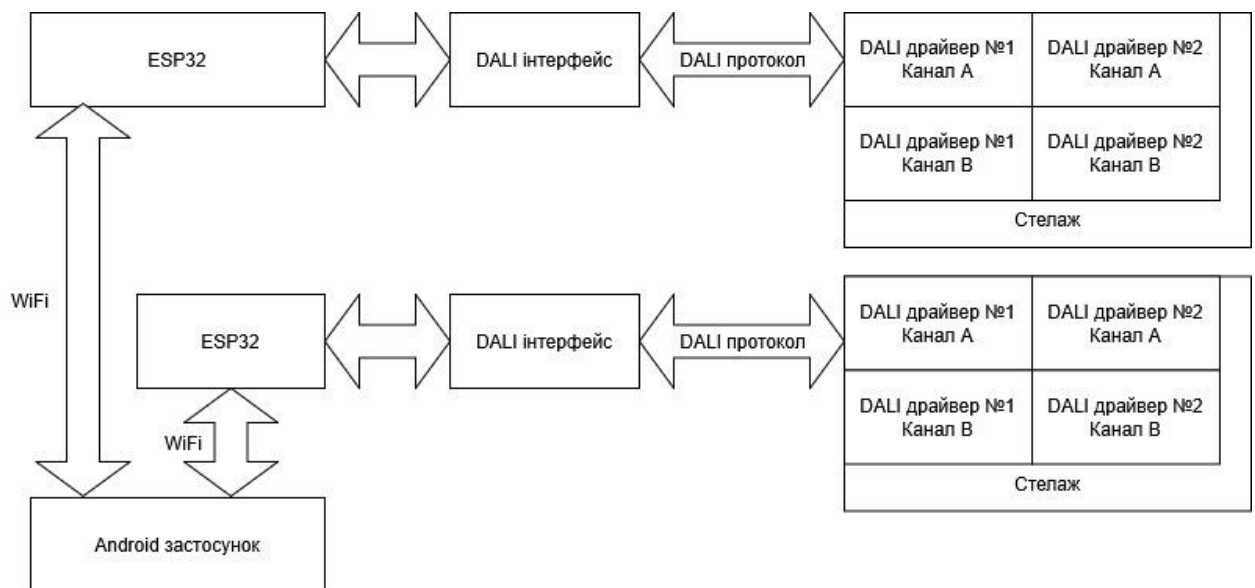


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема бездротової системи керування фітоосвітленням

КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Чорномаз В. С.		
Перевір.				
Реценз.				
Н. Контр.				
Затверд.		Осухівська Г.М.		
Проектна частина				
		Літ.	Арк.	Аркушів
		17		
ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42				

Варто зазначити, що для наочності та спрощення візуального сприйняття на схемі зображено підключення лише двох кінцевих систем, проте розроблена архітектура передбачає можливість одночасної паралельної роботи значно більшої їх кількості.

Центральним елементом архітектури виступає мобільний Android-пристрій, який поєднує в собі функції сервера та інтерфейсу оператора. Фізичний розподіл апаратної частини організовано таким чином: на кожному ярусі лабораторного стелажа встановлюється один автономний мікроконтролерний вузол на базі платформи ESP32. Тобто один мікроконтролер повністю відповідає за незалежне керування освітлювальними приладами одного окремого стелажа. Обмін даними між мобільним сервером та кінцевими вузлами здійснюється напряму через постійні повнодуплексні WebSocket-з'єднання.

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення мікроконтролерного вузла

Побудову апаратної частини бездротової системи керування необхідно розпочати з вибору основного компонента локального вузла — мікроконтролера. Оскільки архітектура системи передбачає децентралізоване керування, мікроконтролер повинен мати достатню обчислювальну потужність для підтримки стека TCP/IP, WebSocket-з'єднання та можливість точного формування часових інтервалів цифрового протоколу [5]. Оскільки вибір обмежений доступністю апаратних ресурсів, особлива увага приділяється оптимізації програмного коду для ефективного використання наявних обчислювальних можливостей платформи. Порівняльні характеристики наведено у таблиці 2.1.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик апаратних обчислювальних платформ

Назва	Arduino Uno	Arduino Mega	ESP32
Мікроконтролер	ATmega328P	ATmega2560	Tensitica Xtensa
Тактова частота	16 МГц	16 МГц	160-240 МГц
Робоча напруга	5	5	3.3
Flash пам'ять	32 КБ	256 КБ	4 МБ
Мережеві інтерфейси	-	-	Wi-Fi

Мікроконтролер сімейства ESP32 (рис. 2.2) ідеально підходить для цього завдання завдяки високій продуктивності, наявності гнучко налаштовуваних апаратних таймерів та вбудованому 2.4 GHz модулю який підтримує протокол Wi-Fi.



Рисунок 2.2 – Розпіновка плати розробника на базі мікроконтролера ESP32

Для керування потужними світлодіодними панелями у системі застосовується цифровий стандарт DALI, апаратна реалізація якого

оптимізована з метою спрощення схемотехнічних рішень та зменшення кінцевої вартості пристрою. Замість використання дорогих спеціалізованих мікросхем-трансиверів або сторонніх контролерів шини, сам мікроконтролер ESP32 виступає безпосереднім DALI-комутатором. Керування фізичним рівнем лінії здійснюється через виводи введення-виведення загального призначення мікроконтролера, які комутують дискретну транзисторну схему.

Для забезпечення відмовостійкості у разі тимчасової втрати Wi-Fi з'єднання, апаратна частина вузла обов'язково доповнюється модулем годинника реального часу (RTC), наприклад, на базі мікросхеми DS3231 з незалежним батарейним живленням. Це гарантує безперервність селекційного експерименту за будь-яких мережевих збоїв.

Ще однією важливою вимогою є забезпечення відмовостійкості. У разі тимчасової або тривалої втрати Wi-Fi з'єднання з локальним сервером, мікроконтролер повинен автономно продовжувати виконання 22-годинного циклу освітлення. Оскільки ESP32 скидає внутрішній лічильник часу при перезавантаженні (якщо немає доступу до Інтернету для NTP-синхронізації), апаратна частина вузла обов'язково доповнюється модулем годинника реального часу (RTC), наприклад, на базі мікросхеми DS3231 з незалежним батарейним живленням. Це гарантує безперервність селекційного експерименту за будь-яких мережевих збоїв.

2.3 Розробка схеми електричної принципової апаратного вузла

У процесі проектування апаратної частини системи було розроблено схему електричну принципову двоканального мікроконтролерного вузла. На рисунку 2.4 наведено ключовий фрагмент схеми, що відповідає за гальванічну розв'язку та керування двома незалежними лініями DALI.

Центральним елементом пристрою виступає відлагоджувальна плата на базі мікроконтролера ESP32-DevKitC. Живлення цифрової логіки

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроконтролера забезпечується через лінійний стабілізатор напруги U4 (AMS1117-3.3), який знижує вхідну напругу з 5 В до стабільних 3.3 В. Радіочастотний тракт для підключення до мережі Wi-Fi реалізовано за допомогою вбудованої на плату антени.

Для забезпечення керування DALI-драйверами розроблено спеціалізований дискретний вузол узгодження рівнів. Важливою особливістю розробленої схемотехніки є наявність двох ідентичних, але повністю незалежних каналів DALI, що дозволяє одному мікроконтролеру паралельно керувати двома окремими каналами. Оскільки стандартизована напруга на двопровідній шині DALI становить близько 15-16 В, пряме електричне з'єднання з 3.3-вольтовою логікою мікроконтролера є неприпустимим [12].

Для формування та підтримання необхідного рівня напруги на кожній шині DALI реалізовано джерело живлення з обмеженням струму на базі біполярних PNP-транзисторів VCP53 (Q1, Q2) та випрямних діодів BAS316. Передача керівних команд, що формуються ESP32 у вигляді манчестерського коду (рис. 2.3), здійснюється через цифрові виводи мікроконтролера (dali out 1, dali out 2), які керують випромінюючими світлодіодами передавальних оптопар PC817 (U1, U5).

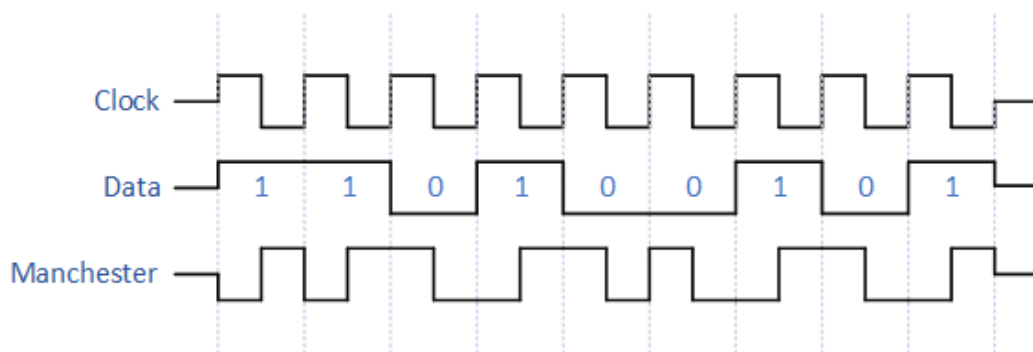


Рисунок 2.3 – Манчестерське кодування логічних сигналів

Фототранзистори цих оптопар керують базою біполярних NPN-транзисторів ММВТ3904 (Q3, Q4), які працюють у ключовому режимі. Відкриваючись, вони безпосередньо модулюють напругу в лінії DALI,

підтягуючи її до потенціалу землі для формування логічного нуля. Гальванічна розв'язка надійно захищає порти мікроконтролера від високої напруги та промислових електромагнітних завад.

Приєм даних та сигналів зворотного зв'язку від DALI-драйверів світильників реалізується через незалежні приймальні тракти. Сигнал з лінії проходить через діодні мости на базі діодів BAS316 (D3-D6 та D11-D14), забезпечивши незалежність пристрою від полярності підключення проводів шини DALI. Далі сигнал через обмежувальний резистор (R7, R20) та стабілітрон BZT52Bxx (D7, D10) активує приймальні оптопари PC817 (U2, U6), виходи яких підключено безпосередньо до цифрових входів мікроконтролера (рис. 2.4).

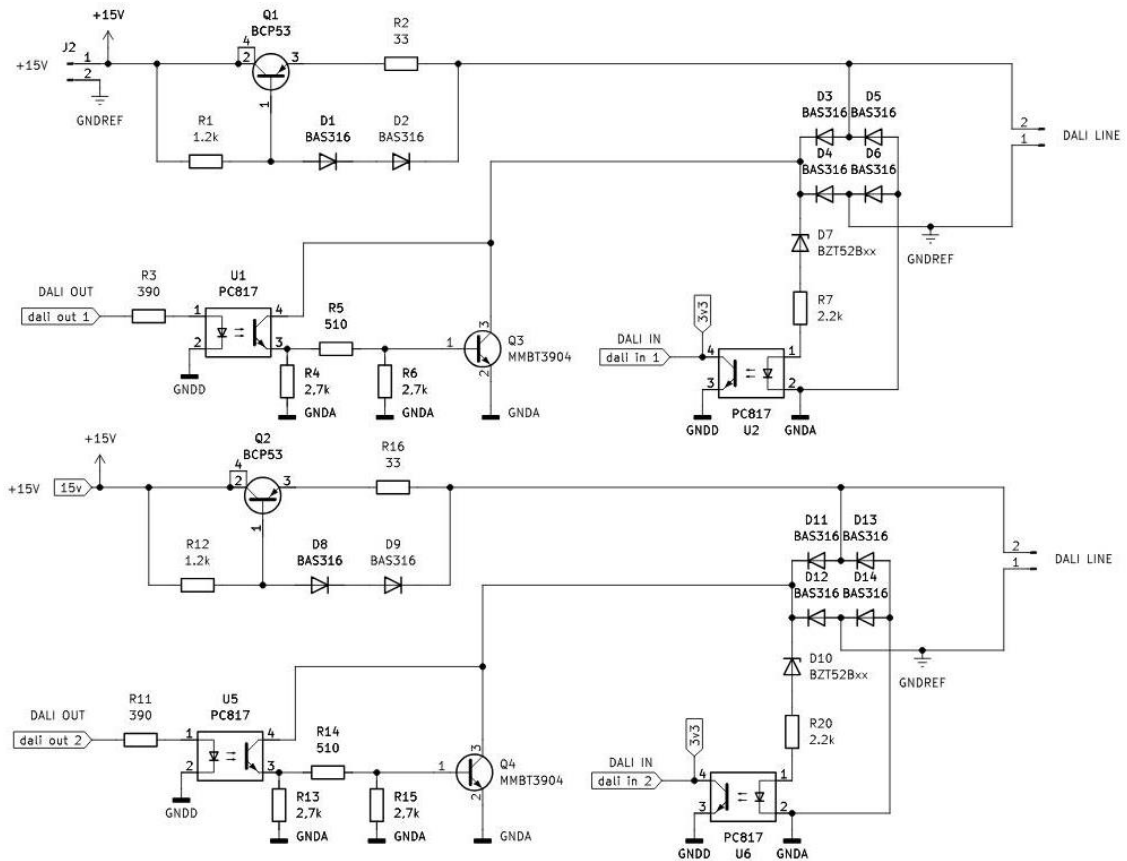


Рисунок 2.4 – Фрагмент схеми електричної принципової: вузол узгодження двох незалежних каналів DALI

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таке схемотехнічне рішення дозволяє системі надійно та безпечно керувати промисловими освітлювальними приладами на двох незалежних лініях, повністю перекладаючи логіку кодування та декодування стандарту DALI на програмне забезпечення мікроконтролера ESP32. Окрім цього, використана елементна база відрізняється високою доступністю та мінімальною вартістю порівняно із готовими спеціалізованими DALI-трансиверами. На основі розробленої схеми електричної принципової на наступному етапі проєктування виконується фізичне компонування компонентів.

2.4 Обґрунтування вибору програмного забезпечення для локального сервера та мікроконтролерів

Програмна частина розроблюваної системи керування фітоосвітленням концептуально поділяється на два рівні: мікропрограмне забезпечення кінцевих вузлів на базі ESP32 та програмне забезпечення локального сервера у вигляді Android-застосунку. До кожного з цих рівнів висуваються специфічні вимоги щодо надійності, швидкодії та енергоефективності.

Для розробки прошивки мікроконтролера ESP32 використовується фреймворк Arduino, мова C++, що обґрунтовується наявністю великої бази перевірених бібліотек та високою швидкістю розробки [11]. Основними програмними компонентами прошивки є стандартні бібліотеки для підключення до Wi-Fi мережі та оптимізовані клієнтські класи для підтримки WebSocket-з'єднання. Керування яскравістю реалізовано через спеціалізовану бібліотеку для роботи з шиною DALI - DALI-Master, яка бере на себе логіку програмного формування 16-бітних цифрових кадрів із манчестерським кодуванням, відкриваючи мікроконтролеру можливість передавати точні команди адресного димування до DALI-драйверів світильників через цифрові виводи (GPIO) на стандартизованій швидкості 1200 біт/с [8].

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						23
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Android застосунок створений мовою Java з використанням архітектурного патерну MVVM (Model-View-ViewModel), її особливість полягає у відокремленні логіки взаємодії з користувачем від фонових серверних процесів, а для обробки асинхронних подій застосовуються класичні компоненти архітектури такі як LiveData та обробники фонових завдань WorkManager [7] (рис. 2.5).

Такий розподіл обов'язків гарантує, що такі ресурсомісткі серверні операції як обробка мережових запитів, взаємодія з локальною базою даних Room, маршрутизація трафіку виконуються у фонових потоках, не блокуючи головний потік інтерфейсу.

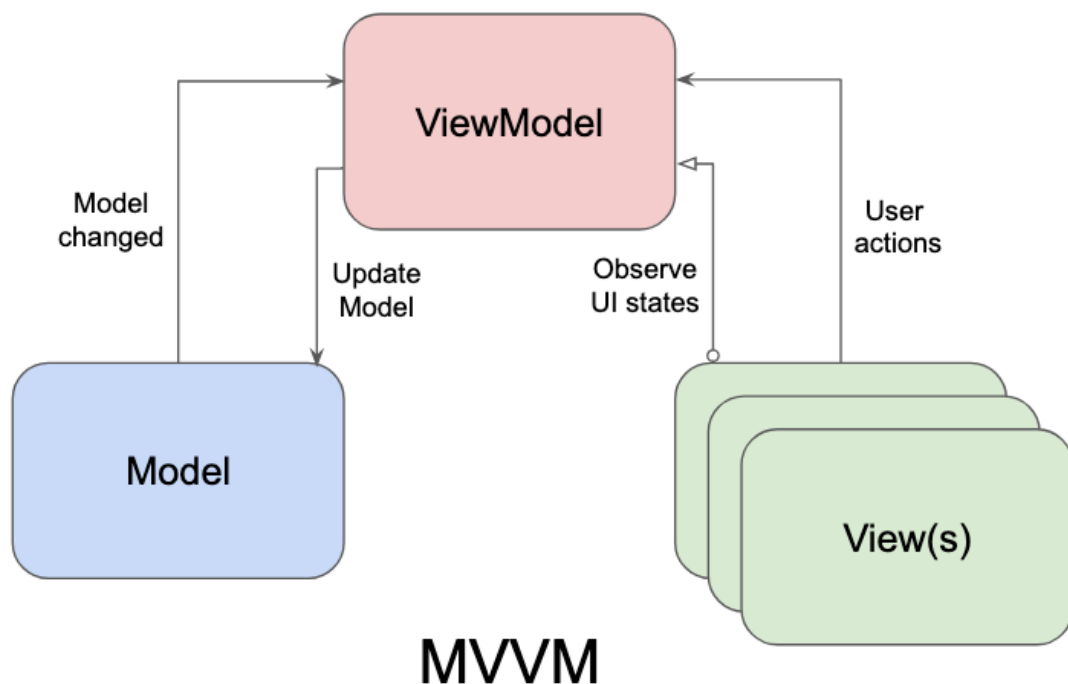


Рисунок 2.5 – Архітектура програмного забезпечення локального сервера (MVVM)

Ключовими серверними компонентами Android-застосунку є вбудований менеджер WebSocket-з'єднань та локальна база даних. Замість

розгортання зовнішнього сервера, управління мережевими сесіями інтегрується безпосередньо в код застосунку. Центральний менеджер сокетів відповідає за утримання відкритих каналів зв'язку з усіма мікроконтролерами та забезпечує адресну розсилку JSON-пакетів при зміні налаштувань оператором. Щоб операційна система Android не перевела сервер у сплячий режим задля економії енергії, він запускається у вигляді служби `Foreground Service` із застосуванням механізму `WakeLock`.

Поряд із цим, уся історія телеметрії та створені профілі освітлення зберігаються в реляційній базі даних `SQLite` за допомогою бібліотеки `Room Persistence Library` [13]. Вона перевіряє SQL-запити на етапі компіляції та дозволяє використовувати реактивні потоки (`Flow`) для миттєвого оновлення графічного інтерфейсу користувача при надходженні нових даних від мікроконтролерів. Використання цього стека дозволяє створити автономну систему, яка не потребує зовнішнього Інтернету для підтримки мікроклімату прискореної селекції.

2.5 Проектування протоколу взаємодії та структури бази даних

Надійна та прогнозована робота розподіленої комп'ютерної системи вимагає чіткої регламентації форматів передачі даних між вузлами та структурованого підходу до їх збереження на локальному Android-сервері.

Взаємодія між Android-сервером та мікроконтролерами ESP32 будується на основі постійних повнодуплексних з'єднань за протоколом `WebSocket`. Відмова від сторонніх брокерів повідомлень дозволила значно зменшити накладні витрати на маршрутизацію пакетів. Сервер через спеціалізований менеджер `WebSocketManager` утримує активні мережеві сесії з усіма підключеними апаратними вузлами стелажів. При зміні параметрів освітлення через графічний інтерфейс застосунку оператором, система формує пакет даних у форматі `JSON`, який містить інформацію про інтенсивність

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спектральних каналів та ідентифікатор цільового пристрою. Менеджер здійснює миттєву пряму трансляцію цього об'єкта у сокет-канал. Зі свого боку, мікроконтролери використовують це ж стійке з'єднання для зворотного зв'язку, надсилаючи на сервер пакети телеметрії. Формат JSON забезпечує високу швидкість парсингу інформації на всіх рівнях системи. Для збереження історії телеметрії та конфігурацій освітлення в Android-застосунку використовується реляційна база даних SQLite, доступ до якої інкапсульовано через бібліотеку Room Persistence Library. Використання цього інструменту в середовищі Java дозволяє забезпечити цілісність даних та автоматично генерувати безпечні SQL-запити ще на етапі компіляції програми.

```
@Entity(tableName = "lamps_table")
public class LampEntity {
    @PrimaryKey(autoGenerate = true)
    public int id;
    public int shelfId; //Номер стелажа
    public int lampNumber;
    public int blueValue;
    public int redValue;

    public LampEntity(int shelfId, int lampNumber, int
blueValue, int redValue) {
        this.shelfId = shelfId;
        this.lampNumber = lampNumber;
        this.blueValue = blueValue;
        this.redValue = redValue;
    }
}
```

Рисунок 2.6 – Структура класу LampEntity

Логічна структура бази даних описується за допомогою спеціальних класів-сутностей. Основною сутністю для збереження конфігурації освітлювальних приладів є клас LampEntity, який відповідає за параметри конкретної лампи на відповідному стелажі. Програмну реалізацію даної сутності наведено на рисунку 2.6.

Як видно з наведеного лістингу, таблиця «lamps_table» містить унікальний ідентифікатор запису, що генерується автоматично. Для точної

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адресації керуючих сигналів використовуються поля номера стелажа та номера конкретної лампи. Збереження числових значень для синього та червоного кольорів дозволяє незалежно контролювати інтенсивність відповідних спектрів. Це є критично важливим аспектом для управління вегетативним ростом та ініціацією цвітіння у процесі прискореної селекції.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Реалізація програмного та апаратного забезпечення системи

Практична реалізація розробленої комп'ютерної системи керування фітоосвітленням передбачала створення взаємопов'язаного програмного забезпечення для мобільного сервера та кінцевих апаратних вузлів. Розробка серверної частини та інтерфейсу користувача була виконана у вигляді мобільного додатка для операційної системи Android, який отримав офіційну назву GreenHouse [7].

Важливим етапом створення додатка стала програмна реалізація надійного локального сховища даних. Для збереження параметрів світлових рецептів було використано реляційну базу даних SQLite на основі бібліотеки Room [13]. Архітектура додатка побудована за патерном MVVM (Model-View-ViewModel), де взаємодія з базою даних інкапсульована у класі GreenHouseRepository, а постачання даних до графічного інтерфейсу здійснюється через класи MainActivityViewModel та ProqramingViewModel.

Точкою входу в програму є екран MainActivity. При запуску система ініціалізує базу даних та стартує фонову службу WebSocketService. Використання Foreground Service гарантує, що операційна система не зупинить серверний процес задля економії заряду батареї, забезпечуючи постійний зв'язок з мікроконтролерами. На головному екрані динамічно формується сітка (GridLayout) з користувацькими кнопками ProgrammingButton, кожна з яких відповідає за окремий стелаж та відображає усереднені поточні показники інтенсивності для синього та червоного спектрів.

Центральним елементом управління графічного інтерфейсу є активність

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>					<i>Практична частина</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>							28	8
<i>Реценз.</i>						<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>	<i>Осухівська Г.М.</i>							

ProgrammingActivity (рис. 3.1), куди користувач потрапляє при виборі конкретного стелажа. Інтерфейс формується динамічно, де для кожної лампи створюється окремий візуальний блок. Головною особливістю інтерфейсу є можливість керування інтенсивністю спектрів двома способами: за допомогою повзунків SeekBar або шляхом точного введення відсоткових значень через діалогове вікно, яке викликається класом DialogWindowManager при натисканні на візуальне зображення лампи. Поточний рівень освітлення наочно дублюється зміною фоновому кольору відповідного елемента інтерфейсу за допомогою методу динамічного перерахунку градієнта changeLampColor().

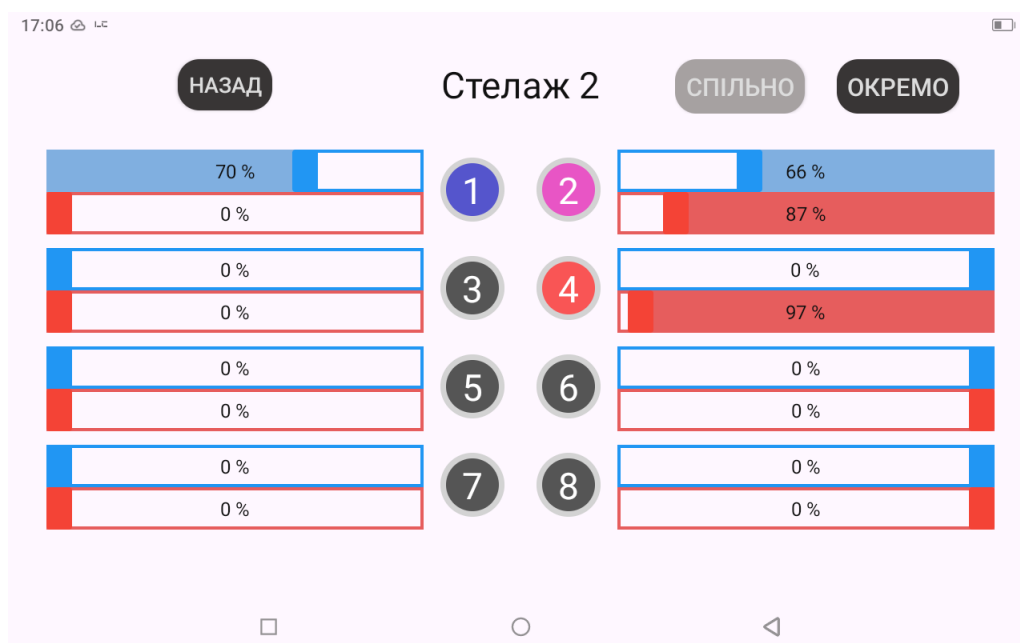


Рисунок 3.1 – Графічний інтерфейс користувача мобільного додатка GreenHouse

Логіка функціонування мобільного додатка GreenHouse базується на асинхронній обробці подій та розгалуженні дій залежно від обраного режиму керування. Загальний алгоритм роботи програмного забезпечення мобільного клієнта, як зображено на рисунку 3.2, розпочинається з ініціалізації локальної бази даних та підвантаження збережених параметрів ламп для обраного стелажа.

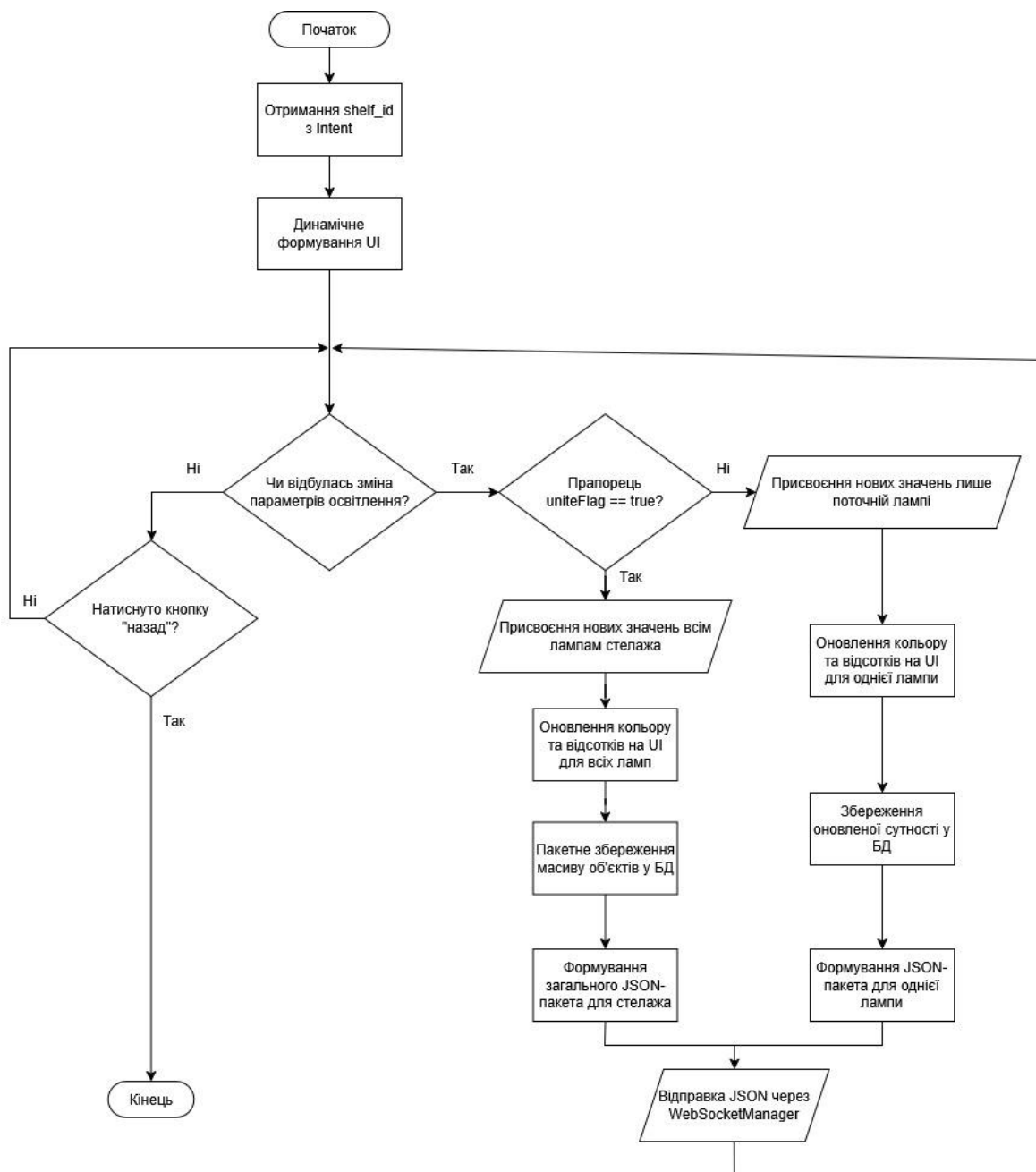


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму управління освітленням у додатку GreenHouse

При зміні оператором параметрів освітлення алгоритм розгалужується залежно від стану прапорця групового керування uniteFlag. Якщо активовано режим «Спільно» (кнопка btn_unite), зміна положення повзунка або введення в діалогове вікно для будь-якої лампи автоматично дублює ці значення на всі інші лампи поточного стелажа. Система формує масив оновлених сутностей,

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

виконує пакетне збереження в базу даних за допомогою методу `viewModel.saveAllLamps()` та конвертує масив у JSON. Сформований пакет миттєво транслюється усім підключеним клієнтам через відкритий сокет-канал викликом `WebSocketManager.getInstance().sendToAllClients()`. У разі вимкнення групового режиму (кнопка `btn_apart`), налаштування застосовуються індивідуально для обраної лампи з поштучним оновленням через метод `viewModel.updateLamp()` та відправкою одиночного JSON-об'єкта.

Апаратна частина кінцевого вузла управління була реалізована на базі Wi-Fi мікроконтролера сімейства ESP32, який безпосередньо інтегрується у бездротову мережу лабораторії. У процесі написання прошивки пристрою мовою C/C++ особлива увага приділялася програмній реалізації часових діаграм протоколу DALI з використанням низькорівневих переривань та апаратних таймерів. Оскільки мікроконтролер самостійно виступає в ролі DALI-інтерфейсу та безпосередньо маніпулює станом своїх цифрових виводів (GPIO), програмне забезпечення виконує точне побітове формування кадрів із манчестерським кодуванням на стандартній швидкості 1200 біт/с. Логічні рівні, що генеруються на ніжках ESP32, керують затворами транзисторів вузла узгодження, які здійснюють безпосередню модуляцію напруги в лінії DALI.

При отриманні конфігураційного JSON-пакета від додатка GreenHouse через WebSocket-канал, мікроконтролер автоматично здійснює парсинг даних, витягує відсоткові значення інтенсивності для синього та червоного спектрів, перераховує їх у відповідні цифрові рівні яскравості стандарту DALI (у діапазоні від 0 до 254) та послідовно транслює сформовані пакети у шину до кінцевих драйверів ламп. Додатково прошивка включає алгоритми автоматичного відновлення мережевої сесії: у випадку раптового розриву з'єднання пристрій ініціює повторне підключення до сервера, продовжуючи при цьому автономно відпрацьовувати поточний розклад освітлення завдяки апаратному модулю годинника реального часу (RTC), що гарантує безперебійне виконання жорсткого двадцятидвогодинного фотоперіоду прискореної селекції.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						31
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

3.2 Тестування розробленої системи керування фітоосвітленням

Завершальним етапом розробки комп'ютерної системи стало комплексне тестування її програмних та апаратних компонентів для підтвердження відповідності технічному завданню. На рівні мобільного додатка GreenHouse проводилася перевірка коректності роботи графічного інтерфейсу та механізмів локального збереження даних. Особлива увага приділялася тестуванню цілісності реляційної бази даних на основі бібліотеки Room при інтенсивному записі телеметричних даних. Для перевірки надійності архітектури створювалися сценарії одночасного доступу до бази даних з різних потоків під час активного отримання та відправлення JSON-пакетів через WebSocket-з'єднання. Результати модульного тестування підтвердили відсутність блокувань інтерфейсу користувача та коректне оновлення інформації про стан стелажів у режимі реального часу, а також стабільне відпрацювання алгоритмів групового регулювання ламп у режимі «Спільно» [14, 15].

Апаратна частина системи проходила стендові випробування для оцінки стабільності генерації керуючих сигналів [4]. За допомогою вимірювальних приладів проводився контроль параметрів широтно-імпульсної модуляції на виходах мікроконтролера при зміні значень інтенсивності синього та червоного спектральних каналів через мобільний додаток GreenHouse. Окремим етапом стало тестування стійкості бездротового з'єднання, під час якого емулювалися ситуації раптової втрати покриття локальної мережі Wi-Fi та відключення живлення центрального маршрутизатора. Система продемонструвала високу стабільність, оскільки після відновлення мережевого покриття мікроконтролер автоматично перепідключався до сервера, відновлював WebSocket-сесію та коректно отримував останній актуальний розклад освітлення.

Графічні результати перевірки працездатності та логування обміну повідомленнями наведено на рисунку 3.3. Те, що зображено на рисунку наочно

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтверджує успішну ініціалізацію сокет-каналів та безпомилкову трансляцію конфігураційних JSON-об'єктів від сервера до кінцевих апаратних вузлів, що фіксується у системному лозі додатка GreenHouse.

```

MyWebSocketServer    com.example.greenhouse    D    Клієнт підключився: /10.131.79.93:49753
WS_Manager           com.example.greenhouse    D    Отримано: {"rack":1}
WebSocketManager     com.example.greenhouse    D    Надсилаю: {"rack":1, "fixture":1, "red":0, "blue":26}
WS_Manager           com.example.greenhouse    D    Отримано: {"rack":1, "fixture":1, "status":"ok"}
WebSocketManager     com.example.greenhouse    D    Надсилаю: {"rack":1, "fixture":1, "red":74, "blue":26}
WS_Manager           com.example.greenhouse    D    Отримано: {"rack":1, "fixture":1, "status":"ok"}

```

Рисунок 3.3 – Результати стендового тестування та логування WebSocket-з'єднань системи

Для оцінки максимальної пропускної здатності, стабільності утримання мережесій та визначення апаратних лімітів локального Android-сервера було проведено стрес-тестування. Щоб виявити «вузькі місця» архітектури, тестування проводилося у два етапи: спочатку через ізольоване дротове з'єднання для перевірки обчислювальних меж самого смартфона, а потім — через бездротову мережу Wi-Fi для перевірки пропускної здатності маршрутизатора в умовах реальної експлуатації.

Під час першого етапу сервер піддавався агресивному напливу віртуальних клієнтів (рис. 3.4), що дозволило повністю нівелювати обмеження радіоканалу.

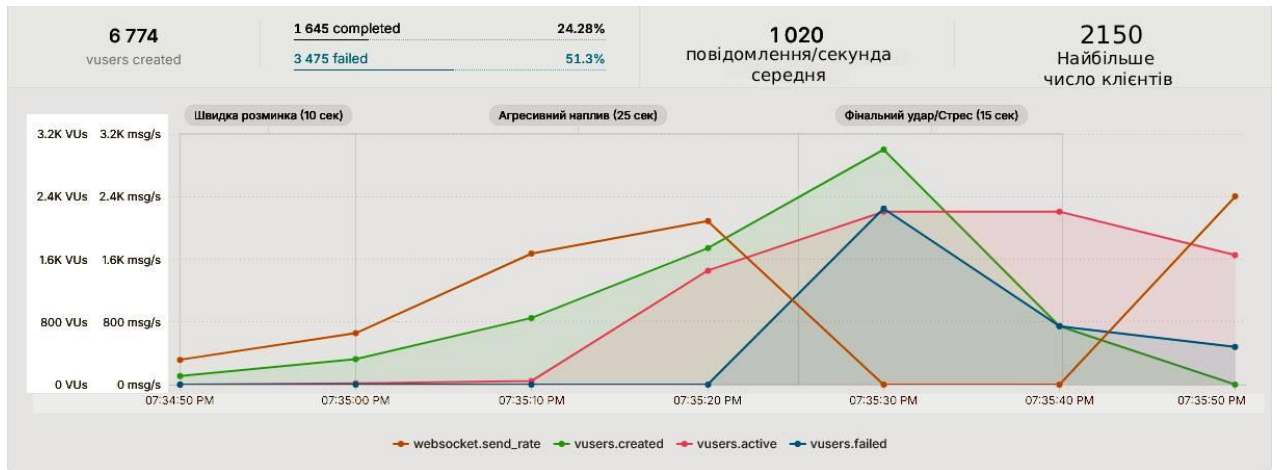


Рисунок 3.4 – Графік результатів стрес-тестування WebSocket-сервера (дротове підключення)

Як видно з наведеного графіка, за відсутності мережових перешкод Android-сервер продемонстрував надзвичайно високу продуктивність, забезпечивши стабільну швидкість обробки на рівні 1020 повідомлень за секунду. Пікове значення одночасно підключених та успішно обслуговуваних пристроїв склало 2150 клієнтів. Подальше зростання кількості помилок (vusers.failed) після позначки у 6774 згенерованих користувачів було зумовлене виключно досягненням апаратних лімітів операційної системи Android.

На другому етапі тестування проводилося у бездротовому Wi-Fi середовищі, що повністю відповідає реальним умовам роботи лабораторії прискореної селекції (рис. 3.5).

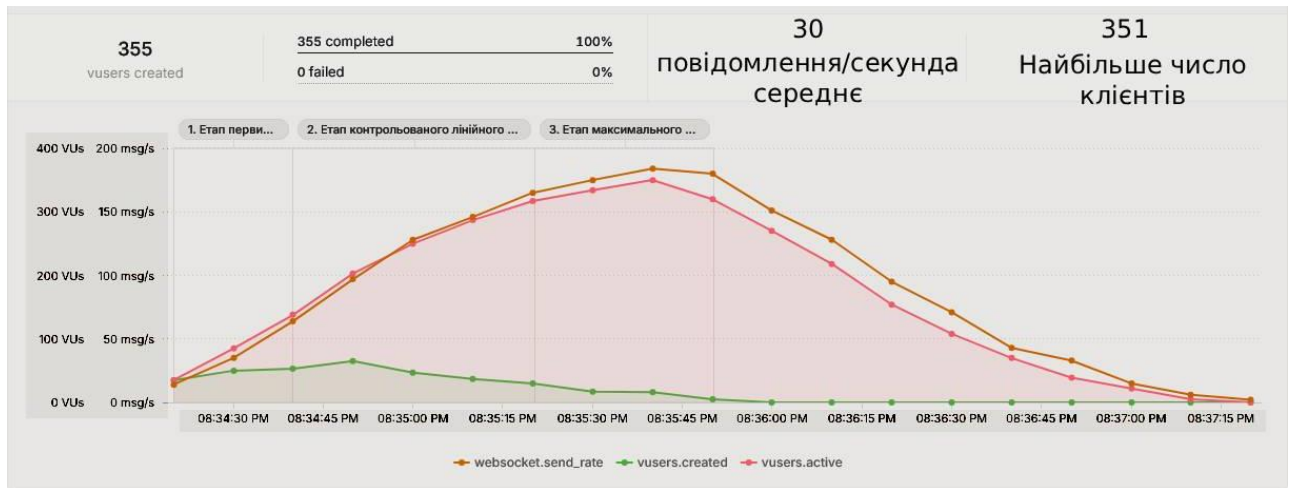


Рисунок 3.5 – Графік результатів стрес-тестування WebSocket-сервера (бездротове підключення)

У ході експерименту встановлено, що основним обмежувальним фактором даної архітектури є пропускна здатність Wi-Fi маршрутизатора та фізичні обмеження радіоефіру. За результатами тестування, система продемонструвала стабільну роботу при одночасному підключенні 351 активного клієнта. Середня інтенсивність обробки трафіку становила 30 повідомлень за секунду при загальній кількості згенерованих підключень — 355 віртуальних вузлів. Потенційна деградація пропускної здатності при подальшому збільшенні навантаження пов'язана виключно з колізіями пакетів стандарту IEEE 802.11 через одночасне звернення сотень пристроїв до однієї точки доступу [10, 16].

Незважаючи на апаратні обмеження бездротового каналу зв'язку, зафіксований поріг у понад 300 стабільних одночасних з'єднань у кілька разів перевищує реальні експлуатаційні потреби типового лабораторного комплексу, де кількість оснащених фітоосвітленням стелажів зазвичай становить 10–30 одиниць. Це повною мірою підтверджує значний запас продуктивності та масштабованості розробленої децентралізованої комп'ютерної системи.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи захисту від випромінювань оптичного діапазону

Під час експлуатації комп'ютерної системи керування фітоосвітленням лабораторії прискореної селекції рослин, одним з основних шкідливих виробничих факторів є дія електромагнітних випромінювань оптичного діапазону. До таких випромінювань належать електромагнітні коливання з довжиною хвиль від 0,2 мкм до 1000 мкм. Залежно від довжини хвилі, ці випромінювання поділяються на випромінювання видимого діапазону, інфрачервоні, ультрафіолетові та лазерні.

Джерелом інфрачервоного випромінювання є будь-яке тіло, температура поверхні якого перевищує температуру абсолютного нуля (273 К). Робота потужних світлодіодних фітоматриць неминуче супроводжується виділенням теплової енергії, що генерує ІЧ-випромінювання в діапазоні довжини хвилі 0,78 мкм – 1000 мкм, яке має наступний вплив на організм:

- інфрачервоне випромінювання впливає перш за все на незахищені ділянки тіла людини, проявляючись як тепло, що проникає в тканини;
- знаходження працівника лабораторії протягом тривалого періоду часу в зоні ІЧ-випромінювання значної потужності порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення та втрати необхідних організму солей;
- системний вплив ІЧ-випромінювання на серцево-судинну систему призводить до збільшення частоти серцебиття, зміни артеріального тиску та прискорення дихання;
- діючи безпосередньо на очі, ІЧ-випромінювання може викликати кон'юнктивіти, опік сітківки та помутніння кришталика.

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Чорномаз В.С.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив</i>		Луцик Н.С.					36	4
<i>Консульт.</i>		Сенчишин В.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
<i>Н. Контр.</i>		Тиш Є. В.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

Для захисту персоналу лабораторії від ІЧ-випромінювання застосовуються наступні заходи:

- захист відстанню (віддалення робочих місць від стелажів із фітоустановками, оскільки густина потоку енергії зменшується пропорційно відстані до джерела);
- захист часом (обмеження часу перебування людини в зоні активного випромінювання під час обслуговування рослин);
- екранування (використання непрозорих або напівпрозорих екранів у конструкції стелажів).

Для забезпечення повноцінного фотосинтезу та стимуляції розвитку рослин у фітолампах активно використовується синій та ультрафіолетовий спектр. УФВ — це електромагнітні випромінювання в оптичній ділянці з довжиною хвилі 200–380 нм. і мають такі особливості:

- УФВ має незначну проникаючу здатність (затримується верхніми шарами шкіри людини);
- тривала дія значних доз УФВ може призвести до гострого ураження очей;
- опромінення довжиною хвилі 200–280 нм здатне руйнувати біологічні клітини, викликати коагуляцію білків;
- надмірний вплив УФВ на центральну нервову систему викликає нервові збудження, головний біль, підвищення температури та зміни у шкірі і крові.

Для мінімізації впливу УФВ під час експлуатації системи керування фітоосвітленням застосовуються такі методи:

- використання хімічних або фізичних екранів, які віддзеркалюють або поглинають промені;
- застосування індивідуальних засобів захисту: спеціальних окулярів із захисним склом для очей та рукавиць для рук;
- використання спеціального робочого одягу з тканин, що затримують УФВ (наприклад, із попліну або бавовни).

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 Заходи з електробезпеки при експлуатації апаратної частини системи

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом, згідно з ПУЕ та нормами охорони праці (Гандзюк М. П. та ін.), конструкція обладнання має виключати прямий дотик до струмовідних частин. Це досягається завдяки надійній основній ізоляції, здатній витримувати робочі навантаження. Крім того, наявність потужних джерел штучного світла вимагає відповідності їх проектування та експлуатації вимогам безпеки ДБН В.2.5-28:2018 [24].

Крім того, згідно з чинними нормами ПУЕ, застосовуються такі обов'язкові заходи:

- розміщення електронних компонентів та модулів системи керування в спеціальних оболонках, які забезпечують ступінь захисту від дотику не менше ніж IP2X;
- застосування бар'єрів та огорож, знімати які дозволяється лише за допомогою спеціального інструмента або після повного зняття напруги;
- використання систем безпечної наднизької напруги (БННН), що не перевищує 50 В для змінного струму, для живлення низьковольтної логіки;
- встановлення пристроїв захисного вимкнення (ПЗВ) з номінальним диференційним струмом до 30 мА як додаткового заходу захисту силових ліній.

Як зазначається в ПУЕ, для захисту у разі непрямого дотику (якщо відкриті провідні частини випадково опинилися під напругою) слід реалізовувати комплексні заходи безпеки. До них належить обов'язкове захисне заземлення та автоматичне вимикання живлення, а також захисне зрівнювання потенціалів шляхом електричного з'єднання провідних частин між собою. Додатково безпека гарантується використанням електрообладнання класу II з подвійною або посиленою ізоляцією та створенням безпечних ізолювальних зон.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як регламентовано нормами ПУЕ, живлення системи в будівлі лабораторії доцільно виконувати з використанням системи заземлення TN-S, у якій нейтральний (N) та захисний (PE) провідники жорстко розділені по всій мережі. Для забезпечення належного рівня електробезпеки, швидкої ідентифікації та уникнення помилок при монтажі, згідно з правилами ПУЕ, захисні провідники (PE) у всіх елементах електроустановки повинні мати обов'язкове маркування поздовжніми або поперечними смугами жовтого і зеленого кольорів, тоді як нейтральний провідник (N) маркується виключно блакитним кольором.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						39
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розроблено та досліджено комп'ютерну систему керування фітоосвітленням для лабораторії прискореної селекції рослин. В результаті виконання роботи було досягнуто поставленої мети та вирішено ряд завдань.

1) Проведено комплексний аналіз сучасних технологій прискореної селекції (Speed Breeding) та біологічних вимог до світлових режимів. Встановлено, що використання динамічних «світлових рецептів» є критично важливим для оптимізації фотосинтезу та скорочення циклу розвитку рослин.

2) Обґрунтовано та реалізовано децентралізовану архітектуру керування на базі концепції Інтернету речей (IoT), де мобільний Android-пристрій виконує функцію центрального сервера. Таке рішення передбачає стабільність фотоперіоду навіть за умов тимчасової ізоляції від зовнішньої мережі.

3) Розроблено та спроектовано вузол керування на базі мікроконтролера ESP32 з використанням цифрового стандарту DALI, що дозволяє здійснювати плавне димування та прецизійне керування спектральним складом освітлення. Впровадження гальванічної розв'язки гарантує високу надійність роботи системи в промислових умовах лабораторії.

4) Створено спеціалізований мобільний застосунок «GreenHouse» на базі архітектурного патерну MVVM з використанням протоколу WebSocket, що забезпечує низьку затримку передачі команд та надійне збереження телеметрії у реляційній базі даних Room.

5) Проведені випробування підтвердили високу продуктивність та масштабованість системи. Стрес-тестування довело здатність локального сервера підтримувати понад 300 одночасних з'єднань, що перевищує потреби типової лабораторії.

Розроблена система демонструє високий потенціал до впровадження у науково-дослідну діяльність, забезпечуючи стабільні умови для проведення біологічних експериментів.

					КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.

2. LED Grow Lights for Vertical Farming: A Comprehensive Guide. Plantekno. URL: <https://www.plantekno.com/vertical-farming-artificial-led-lighting/> (дата звернення: 04.06.2026).

3. Демчан Н.І, Жаровський Р.О. Методи та програмно апаратні засоби контролю за вирощування рослин з врахуванням евапотранспарації. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції молодих учнів та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11-12 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 254-255 с.

4. Демчан Н.І, Жаровський Р.О. Оцінка ефективності роботи програмно-апаратного комплексу контролю за вирощування рослин з врахуванням евапотранспарації. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (17-18 грудня 2025 року). Тернопіль: ТНТУ. 2025. 108-110 с.

5. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Апаратно-програмна система для регулювання мікроклімату теплиць. Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року). Тернопіль: ТНТУ, 2022. С. 102.

6. Ясінський Р.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Величко Д.В. Комп'ютерна система для контролю параметрів мікроклімату теплиць на основі інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей XI міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року), Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 177.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Android Developers.ViewModel overview: Guide to app architecture. Android Developers Official Documentation. URL: <https://developer.android.com/topic/libraries/architecture/viewmodel> (дата звернення: 15.04.2026).

8. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том перший. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 333 с.

9. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Система управління зовнішнім освітленням на основі Інтернету речей. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (Тернопіль, 24-25 листопада 2021 року). Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 120.

10. Тиш Є.В., Семанюк В.М. Структурні особливості локальних комп'ютерних мереж та фактори, що впливають на їхню продуктивність. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі системи та технології». Тернопіль: ТНТУ. 2025. С. 151.

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

12. Романов Д.В., Осухівська Г.М., Паламар А.М. Функціональна схема системи керування зовнішнім освітленням на основі технології LoRa. Матеріали ІХ науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 8–9 грудня 2021 року), Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 124.

13. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovsky R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. Scientific Journal of TNTU. Ternopil, Ukraine, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Tysh Ie. Approach And Method Of Evaluation Of The General Reliability Indicator Of Computer Systems. International Scientific Journal Computer Systems And Information Technologies. Khmelnytskyi : Khmelnytskyi National University №3. 2021. P. 74–80.

15. Tysh Ie. Methods for calculating the reliability of computer networks. Theoretical and Practical Scientific Achievements: Research and Results of their Implementation. Collection of Scientific Papers «SCIENTIA» with Proceedings of the X International Scientific and Theoretical Conference, February 13, 2026. Liverpool, England; United Kingdom: International Center of Scientific Research. P. 173–175.

16. Дячук О.А., Жаровський Р.О. Використання SDN для оптимізації передачі даних в комп'ютерних мережах. Матеріали XI науково-технічна конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (13-14 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 149–150.

17. ДСТУ EN 62471:2014. Фотобіологічна безпека ламп та лампових систем (EN 62471:2008, IDT). [Чинний від 2015-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2014. 42 с.

18. Основи охорони праці : підручник / за ред. проф. В. В. Березуцького. Харків : Факт, 2019. 480 с.

19. Правила улаштування електроустановок. [Чинні від 2017-08-20]. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

20. ДСТУ EN 60529:2014 Ступені захисту, що забезпечують кожухи (Код IP) (EN 60529:1991; A1:2000; A2:2013, IDT; IEC 60529:1989; A1:1999; A2:2013, IDT). [Чинний від 2015-01-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 41 с.

21. Palamar A., Karpinski M., Palamar M., Osukhivska H., Mytnyk M. Remote Air Pollution Monitoring System Based on Internet of Things. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems. Ternopil, Ukraine, 2022. Vol. 3309. P. 194-204.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Дячук, О.А.; Жаровський, Р.О. Управління потоком за критеріями доступності. Матеріали XI науково-технічна конференція Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології» (13-14 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 151.

23. Гандзюк М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці : підруч. для студ. вищих навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. Київ: Каравела, 2004. 408 с.

24. Правила улаштування електроустановок. Затв. Міненерговугілля України 21.07.2017 № 476. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

					<i>КС КРБ 123.199.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						44
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Додаток А
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

“Затверджую”

Завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Комп'ютерна система керування фітоосвітленням лабораторії прискореної
селекції рослин

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на 9 листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-42

_____ к.т.н., доц. Луцик Н.С.

_____ Чорномаз В.С.

“ 2 ” лютого 2026 р.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Тернопіль 2026

1 Загальні відомості

1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система керування фітоосвітленням лабораторії прискореної селекції рослин».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.199.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Черномаз В.С.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету №4/9-188 від 24.04.2026 р

1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи. Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи – наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

2 Призначення і цілі створення системи

2.1 Призначення системи

Система, що розробляється, призначена для:

- забезпечення автоматизованого керування світловими режимами (фотоперіодом та спектральним складом) у лабораторії прискореної селекції;
- моніторингу параметрів роботи фітоосвітлювальних установок у режимі реального часу;
- забезпечення автономної роботи системи при збоях у мережі.

2.2 Мета створення системи

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та налаштування програмно-апаратного комплексу для керування фітоосвітленням на основі мікроконтролерів ESP32 та локального Android-сервера, що дозволяє реалізувати гнучкі світлові сценарії для прискорення селекції рослин.

2.3 Характеристика об'єкту

Система призначена для використання в лабораторних комплексах прискореної селекції рослин (Speed Breeding) з можливістю масштабування на багаторівні стелажні установки.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

Мультимедійний сервер (комп'ютерна система керування фітоосвітленням) повинен складатись з:

- програмного додатка (мобільний клієнт-сервер на базі Android);
- апаратних вузлів керування (мікроконтролери ESP32 з DALI-інтерфейсом на кожному стелажі);
- системи адміністрування (інтегрована в Android-додаток для моніторингу та керування світловими сценаріями).

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

Основна вимога, яка ставиться до способів та засобів інформаційного обміну – це їх узгодженість. Зв'язок між компонентами повинен здійснюватися бездротовим способом через локальну Wi-Fi мережу з використанням протоколу WebSocket.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Для системи визначено два режими функціонування:

- нормальний режим функціонування;
- аварійний режим функціонування.

Основним режимом функціонування є нормальний режим, під час якого сервер керує мікроконтролерами згідно із заданими світловими сценаріями.

Для забезпечення нормального режиму функціонування системи необхідно виконувати вимоги і дотримуватись умов експлуатації програмного забезпечення і комплексу технічних засобів системи, вказані у відповідних технічних документах (технічна документація, інструкції з експлуатації і т. д.).

Аварійний режим функціонування системи характеризується відмовою одного або декількох компонентів програмного і (або) технічного забезпечення (наприклад, втратою Wi-Fi з'єднання). При цьому функції роботи системи (мікроконтролерів) продовжують підтримувати роботу системи моніторингу в межах базових налаштувань автономно.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Для діагностування системи використовуються інструменти діагностування основних процесів системи, які вмонтовані в операційну систему і програмне забезпечення, а також засоби для діагностики апаратного забезпечення.

Інструменти повинні забезпечувати зручний інтерфейс (через Android-додаток) для можливості перегляду діагностичних подій, моніторингу процесу виконання програм та стану DALI-драйверів.

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Дана система може бути розширена завдяки використанню додаткових програмних компонентів, а також передбачено розширення пам'яті (масштабування кількості підключених стелажів) для збільшення ресурсів.

3.2 Показники призначення

Система повинна передбачати можливість масштабування. Можливості масштабування повинні забезпечуватися засобами використовуваного базового програмного і технічного забезпечення.

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність та відновлення своїх функцій при виникненні наступних ситуацій:

- при збоях в системі електропостачання апаратної частини;
- при помилках в роботі апаратних засобів;
- при помилках, пов'язаних з програмним забезпеченням

Для захисту апаратури від стрибків напруги і комутаційних завад повинні застосовуватися мережеві фільтри.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи технічних засобів системи, що перебувають під напругою (блоки живлення LED-панелей), повинні мати захист від випадкового дотику, а самі технічні засоби мати занулення або захисне заземлення.

Система електроживлення повинна забезпечувати захисне вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях в колах навантаження, а також аварійне ручне вимикання.

Загальні вимоги пожежної безпеки повинні відповідати нормам на побутове електрообладнання. У разі пожежі не мають виділятися отруйні гази і дим.

Після зняття електроживлення має бути доступне застосування будь-яких засобів пожежогасіння.

3.3.1 Вимоги до експлуатації, технічного обслуговування, ремонту і зберігання компонентів системи

Мікроклімат в приміщеннях повинен відповідати нормам виробничого мікроклімату по ДСН 3.3.6.042-99:

- температуру повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносну вологість повітря при 25°C в межах від 30% до 80%;

– атмосферний тиск 760 ± 25 мм рт. ст.

Періодичне технічне обслуговування використовуваних технічних засобів має проводитися відповідно до вимог технічної документації, але не рідше ніж один раз на рік.

Періодичне технічне обслуговування і тестування технічних засобів повинні включати обслуговування і тестування всіх використовуваних засобів, датчики, контролери, системи передачі даних, пристрої безперебійного живлення.

На підставі результатів тестування технічних засобів повинні проводитися аналіз причин виникнення виявлених дефектів і прийматися заходи по їх ліквідації.

3.4 Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Система повинна забезпечувати захист від несанкціонованого доступу на рівні не нижче встановленого вимогами, що пред'являються до категорії 1Д по класифікації документа, що діє, "Автоматизовані системи. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Класифікація автоматизованих систем".

Компоненти підсистеми захисту від НСД повинні забезпечувати:

- ідентифікацію користувача (в Android-додатку);
- перевірку повноважень користувача при роботі з системою;
- розмежування доступу користувачів.

Рівень захищеності від несанкціонованого доступу засобів обчислювальної техніки, що здійснюють обробку конфіденційної інформації, повинен відповідати вимогам класу захищеності згідно вимогам документу "Засоби обчислювальної техніки. Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Показники захищеності від несанкціонованого доступу до інформації". Взаємодія має бути зашифрована за стандартом WPA2/WPA3.

3.4.1 Вимоги по збереженню інформації при аваріях

Інформація, при виникненні аварійних ситуацій повинна бути збережена на резервних носіях (використання локальної БД SQLite з Room Persistence Library на пристрої-сервері).

3.4.2 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки і зручності користування за умови комплектування високоякісним обладнанням (мобільний пристрій, апаратні модулі), що має необхідні сертифікати відповідності і безпеки.

3.4.3 Вимоги до функцій (завдань), що виконуються системою:

- забезпечення зручного інтерфейсу для моніторингу та керування;
- забезпечення точного димування світлодіодів різних спектрів;
- підтримка автономних сценаріїв (22/2 години);
- забезпечення високої швидкодії передачі керуючих команд.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ. Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:
 - а) Структурна схема.
 - б) Блок-схема алгоритму управління освітленням у додатку.
 - в) Схема електрична принципова.
 - г) Результати тестування системи

*Примітка: У комплект документації можуть вноситися зміни та доповнення в процесі розробки.

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>
2	<i>Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>
3	<i>Робота над другим розділом «Проектна частина»</i>	<i>20.04 – 30.04</i>
4	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>01.05 – 15.05</i>
5	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>16.05 – 25.05</i>
6	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>
7	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>
8	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>25.06.2026</i>

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

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

Додаток Б
Перелік елементів

