

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'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi*

Виконав: студент 4 курсу, групи СІс-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Писаревич М. Г.</u> (підпис)	<u>Писаревич М. Г.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Жаровський Р.О.</u> (підпис)	<u>Жаровський Р.О.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Тиш Є.В.</u> (підпис)	<u>Тиш Є.В.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Осухівська Г.М.</u> (підпис)	<u>Осухівська Г.М.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Дмитроца Л. П.</u> (підпис)	<u>Дмитроца Л. П.</u> (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 Писаревича Максима Григоровича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi

Керівник роботи кандидат технічних наук, доцент кафедри КС Жаровський Руслан Олегович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » квітня 2026 року № 4/9-189

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06.2026

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 передачі даних

2. Структурна схема отримання даних

3. Структурна схема системи передачі даних між мобільними пристроями

4. Схема електрична принципова

5. Блок схема роботи програмного забезпечення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</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 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Практична частина»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 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</i>	

Студент

_____ (підпис)

Писаревич Максим Григорович

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Жаровський Руслан Олегович

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Писаревич М. Г. Комп'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: Li-Fi, передача файлів, мобільний застосунок, STM32, Android, світлодіод, фоторезистор, оптичний канал зв'язку.

У кваліфікаційній роботі розглянуто розроблення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi. Проведено аналіз сучасних способів обміну даними між мобільними пристроями та досліджено особливості застосування світлового каналу для бездротової передачі інформації.

Розроблено структуру системи, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, створено електричну принципову схему приймально-передавального пристрою на базі мікроконтролера STM32, світлодіодного випромінювача та фоторезистора. Розроблено мобільний застосунок для передавання та приймання інформації через оптичний канал зв'язку який забезпечує вибір файлів, шифрування даних, контроль цілісності за допомогою CRC16.

Реалізовано експериментальний зразок пристрою та проведено його тестування. Результати випробувань підтвердили працездатність розробленої системи та можливість передачі файлів між мобільними пристроями через Li-Fi-канал.

ANNOTATION

Pysarevych M. H. Computerized System for File Transfer Between Mobile Devices Using Li-Fi Technology: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 – computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: Li-Fi, file transfer, mobile application, STM32, Android, LED, photoresistor, optical communication channel.

The qualification work considers the development of a computerized file transfer system between mobile devices using Li-Fi technology. An analysis of modern methods of data exchange between mobile devices is carried out and the features of using a light channel for wireless information transmission are investigated.

The system structure is developed, the choice of hardware components is justified, an electrical schematic diagram of a transceiver based on an STM32 microcontroller, an LED emitter and a photoresistor is created. A mobile application for transmitting and receiving information via an optical communication channel is developed, which provides file selection, data encryption, integrity control using CRC16.

An experimental sample of the device is implemented and its testing is carried out. The test results confirmed the operability of the developed system and the possibility of transferring files between mobile devices via a Li-Fi channel..

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1	АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.1	Аналіз способів передавання файлів між мобільними пристроями	10
1.2	Аналіз технології Li-Fi	13
1.2.1	Принцип роботи технології Li-Fi	14
1.2.2	Особливості використання світлового каналу для передавання цифрових даних	17
1.3	Аналіз існуючих реалізацій Li-Fi-систем	19
1.4	Постановка задачі кваліфікаційної роботи	24
РОЗДІЛ 2	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	27
2.1	Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої системи	27
2.2	Обґрунтування вибору апаратного забезпечення	30
2.3	Розробка електричної принципової схеми	38
2.4	Розробка програмного забезпечення комп'ютеризованої системи	45
РОЗДІЛ 3	ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	48
3.1	Розробка алгоритму роботи системи	48
3.2	Розробка програмного забезпечення	51
3.3	Складання та налагодження макетного зразка приймально-передавального пристрою	57
3.4	Тестування роботи комп'ютеризованої системи	60
РОЗДІЛ 4	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	65

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Писаревич М.					6	
Перевірів		Жаровський Р.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Реценз.		Дмитроца Л.						
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

4.1	Допомога при теплових і сонячних ударах	65
4.2	Загальні вимоги безпеки з охорони праці для користувачів ПК	67
	ВИСНОВКИ	71
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
	Додаток А Технічне завдання	
	Додаток Б Перелік елементів	

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні мобільні пристрої стали невід'ємною складовою повсякденного життя та використовуються для зберігання, обробки й обміну значними обсягами цифрової інформації. Передавання файлів між смартфонами, планшетами та іншими портативними пристроями є однією з найбільш поширених операцій, що виконується як у побутовій сфері, так і в професійній діяльності. Більшість існуючих рішень базується на використанні радіочастотного каналу зв'язку, що створює додаткове навантаження на радіочастотний спектр, може бути чутливим до електромагнітних завад та не завжди забезпечує необхідний рівень локалізації передаваного сигналу.

Одним із перспективних напрямів розвитку бездротових комунікацій є технологія Li-Fi, яка використовує для передавання інформації видиме світлове випромінювання. На відміну від традиційних радіочастотних технологій, Li-Fi не створює електромагнітних завад, може використовуватися в середовищах з обмеженнями на застосування радіозв'язку та забезпечує локалізовану область поширення сигналу. Використання світлового каналу також відкриває можливості для підвищення рівня інформаційної безпеки, оскільки сигнал залишається в межах освітленої зони та не проходить крізь непрозорі перешкоди.

Незважаючи на активний розвиток технології Li-Fi, більшість існуючих рішень орієнтована на організацію мережевого доступу та передачу даних через спеціалізовану інфраструктуру. Водночас питання створення компактних систем для безпосереднього обміну файлами між мобільними пристроями залишається актуальним і потребує подальших досліджень. Розроблення таких систем дозволяє оцінити практичні можливості використання світлового каналу для локального передавання інформації, дослідити особливості роботи оптичного тракту та перевірити ефективність програмно-апаратних засобів реалізації Li-Fi.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi.

Практичне значення роботи полягає у створенні працездатного прототипу системи передачі файлів через оптичний канал зв'язку, який може бути використаний для подальших досліджень технології Li-Fi та вдосконалення методів бездротового передавання інформації між мобільними пристроями.

					<i>КС КРБ 123.271.00.00 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 способів передавання файлів між мобільними пристроями

Передавання файлів між мобільними пристроями є однією з поширених задач сучасних інформаційних технологій. Мобільні пристрої використовуються не лише для голосового зв'язку чи доступу до мережі Інтернет, але й для зберігання, обробки та обміну цифровими даними. До таких даних належать текстові документи, зображення, відеофайли, архіви, службова інформація, мультимедійні матеріали та інші типи файлів. Тому актуальним є вибір ефективного способу передавання даних між пристроями, який забезпечував би достатню швидкість, надійність, зручність використання та захищеність інформації.

На сьогодні для обміну файлами між мобільними пристроями використовують різні технології. Найпоширенішими серед них є Bluetooth, Wi-Fi, Wi-Fi Direct, NFC, передавання через USB-кабель, хмарні сервіси, мобільні месенджери та спеціалізовані застосунки для обміну файлами (рис. 1.1).

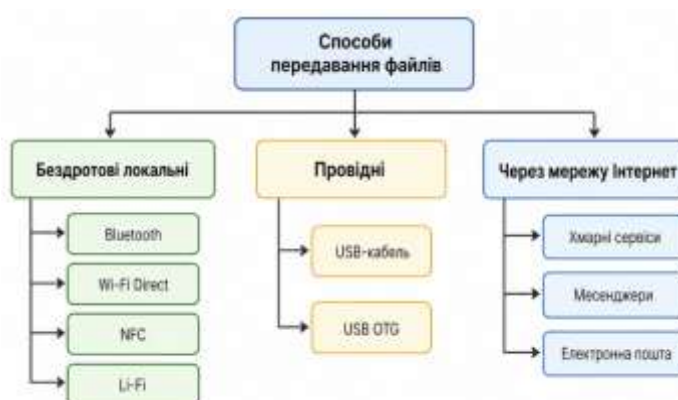


Рисунок 1.1 – Способи передавання даних між мобільними пристроями

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Писаревич М. Г.			Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірив		Жаровський Р.				10	17
Реценз.		Дмитроца Л. П.			ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					
					Аналіз технічного завдання		

Кожен із цих способів має власні переваги та обмеження, які визначають сферу його практичного використання. Одним із традиційних способів передавання файлів між мобільними пристроями є Bluetooth. Ця технологія не потребує наявності маршрутизатора або доступу до мережі Інтернет, що робить її зручною для локального обміну даними. Bluetooth підтримується більшістю смартфонів, планшетів, ноутбуків та інших портативних пристроїв. Проте швидкість передавання через Bluetooth є порівняно невисокою, особливо під час обміну файлами великого обсягу. Крім того, для встановлення з'єднання зазвичай необхідне попереднє сполучення пристроїв, що збільшує час підготовки до передавання. Також Bluetooth використовує радіочастотний канал, тому може зазнавати впливу електромагнітних завад і створювати додаткове навантаження на радіоефір.

Більш швидкісним способом є передавання файлів за допомогою Wi-Fi або Wi-Fi Direct. Технологія Wi-Fi Direct дає змогу встановлювати безпосереднє з'єднання між двома мобільними пристроями без використання окремого маршрутизатора. Такий підхід забезпечує вищу швидкість передавання порівняно з Bluetooth і підходить для обміну великими файлами. Однак Wi-Fi Direct також працює в радіочастотному діапазоні, що може спричинити взаємні завади з іншими бездротовими мережами. Крім того, налаштування такого з'єднання не завжди є зручним для користувача, а стабільність роботи залежить від апаратних можливостей пристроїв, версії операційної системи та реалізації програмного забезпечення.

Для передавання невеликих обсягів даних може використовуватися технологія NFC. Вона забезпечує дуже короткодійний бездротовий зв'язок між пристроями, які розміщені на малій відстані один від одного. Перевагою NFC є простота встановлення контакту та високий рівень локалізації передавання, оскільки зв'язок можливий лише на дуже малій відстані. Водночас ця технологія має низьку швидкість передавання даних і не призначена для обміну великими файлами. У практиці NFC частіше

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується для ідентифікації, безконтактних платежів, швидкого з'єднання пристроїв або передавання невеликих службових даних.

Передавання файлів через USB-кабель забезпечує високу швидкість і надійність з'єднання. Такий спосіб не залежить від радіочастотного середовища та не створює електромагнітних завад для інших бездротових систем. Проте його основним недоліком є потреба у фізичному кабельному з'єднанні між пристроями або використанні проміжного комп'ютера. У випадку прямого обміну між мобільними пристроями також виникає потреба у підтримці режиму USB OTG, відповідних кабелів або перехідників. Це знижує зручність використання такого способу для швидкого обміну файлами в повсякденних умовах.

Широко застосовуються також хмарні сервіси та месенджери. У цьому випадку файл спочатку завантажується на віддалений сервер, а потім отримується іншим користувачем або іншим пристроєм. Такий спосіб є зручним, оскільки не потребує фізичної близькості пристроїв і дає змогу передавати дані на великі відстані. Однак він залежить від наявності доступу до мережі Інтернет, швидкості з'єднання, обмежень сервісу щодо розміру файлів та політики зберігання даних. Крім того, передавання через сторонні сервери може бути небажаним для конфіденційної інформації, оскільки файл тимчасово або постійно зберігається за межами пристроїв користувачів.

Історично одним із перших способів бездротового обміну файлами між мобільними пристроями було інфрачервоне передавання. Такий спосіб використовував світлове випромінювання і вимагав прямої видимості між передавачем та приймачем. Основними недоліками інфрачервоного каналу були низька швидкість, невелика відстань передавання та необхідність точного взаємного розташування пристроїв. Незважаючи на це, сам принцип використання світлового каналу для передавання інформації залишається актуальним і набув розвитку в сучасній технології Li-Fi.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

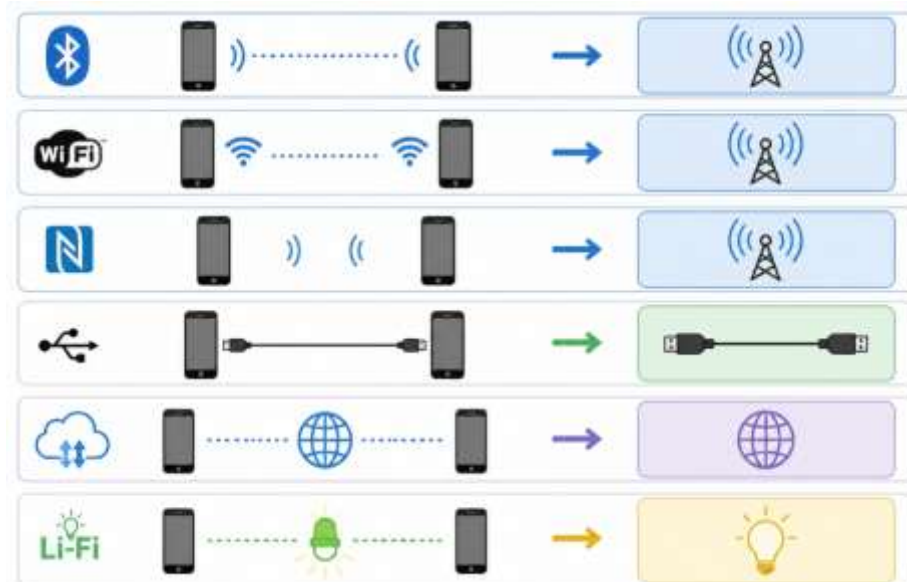


Рисунок 1.2 – Канали передавання даних між мобільними пристроями

Технологія Li-Fi є одним із перспективних напрямів бездротового передавання даних. На відміну від Wi-Fi, Bluetooth та інших радіочастотних технологій, Li-Fi використовує світловий канал. Передавання інформації здійснюється шляхом швидкої зміни інтенсивності світлового випромінювання, наприклад світлодіода, а приймання — за допомогою світлочутливого елемента. Використання Li-Fi для передавання файлів між мобільними пристроями має низку переваг. Такий канал не перевантажує радіочастотний спектр і не створює завад для радіоелектронного обладнання.

1.2 Аналіз технології Li-Fi

Технологія Li-Fi є одним із перспективних напрямів розвитку бездротових комунікацій, що базується на використанні світлового випромінювання для передавання цифрової інформації. Назва Li-Fi походить від англійського терміна Light Fidelity, тобто «світлова точність» або «світлова достовірність». За своєю ідеєю технологія подібна до Wi-Fi, оскільки

забезпечує бездротове передавання даних, однак фізичним середовищем поширення сигналу є не радіохвилі, а світловий потік [2].

Загальний принцип роботи технології Li-Fi подано на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Загальний принцип роботи технології Li-Fi

Основою такої системи є джерело світла, яке змінює свою інтенсивність відповідно до переданої цифрової інформації, та фотоприймальний елемент, який реєструє ці зміни й перетворює їх назад в електричний сигнал.

1.2.1 Принцип роботи технології Li-Fi

Основою роботи Li-Fi є перетворення цифрових даних у світлові імпульси. Цифрова інформація складається з послідовності логічних нулів і одиниць. Для передавання такої інформації світлодіодний випромінювач може змінювати стан або рівень яскравості з високою частотою. Якщо зміни інтенсивності світла відбуваються достатньо швидко, людське око не сприймає мерехтіння, проте фотоприймач здатний зафіксувати ці зміни та сформувавати відповідний електричний сигнал.

У найпростішому випадку логічна одиниця може відповідати наявності світлового імпульсу, а логічний нуль — його відсутності або меншому рівню яскравості. На практиці можуть застосовуватися й складніші методи модуляції, які дають змогу підвищити швидкість передавання, стійкість до завад і ефективність використання світлового каналу. Проте для навчального

прототипу достатньо розглядати базовий принцип, за якого дані передаються через зміну інтенсивності світлодіода.

Передавальна частина Li-Fi-системи зазвичай містить джерело цифрових даних, блок формування сигналу, драйвер світлодіода та сам світлодіодний випромінювач. Джерелом даних може бути комп'ютер, мобільний пристрій, мікроконтролер або інша електронна система. Блок формування сигналу перетворює дані у послідовність імпульсів, а драйвер світлодіода забезпечує необхідний рівень струму для керування світловим випромінювачем.

Формування цифрових даних за допомогою світлових імпульсів наведено на рис. 1.4.

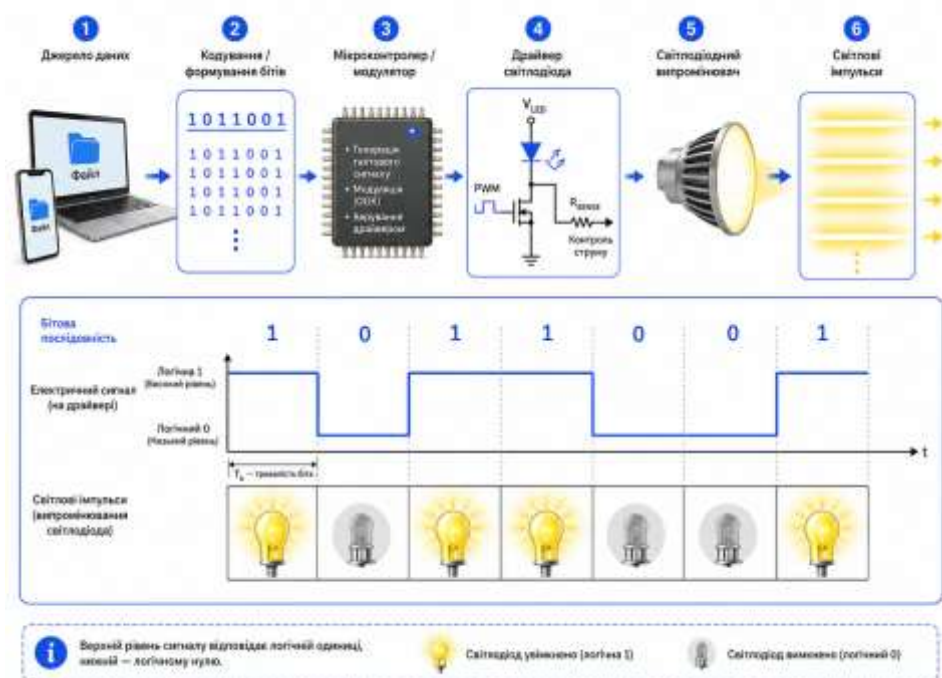


Рисунок 1.4 – Передавання двійкової інформації за допомогою світлових імпульсів

Приймальна частина містить фоточутливий елемент, підсилювач або компаратор, блок обробки сигналу та пристрій, який отримує відновлені дані.

Фоточутливим елементом може бути фотодіод, фототранзистор, фоторезистор або спеціалізований оптичний приймач (рис. 1.5). Під дією світлових імпульсів на виході фотоприймача формується електричний сигнал, який надалі підсилюється, фільтрується, порівнюється з пороговим рівнем і перетворюється в цифрову форму.

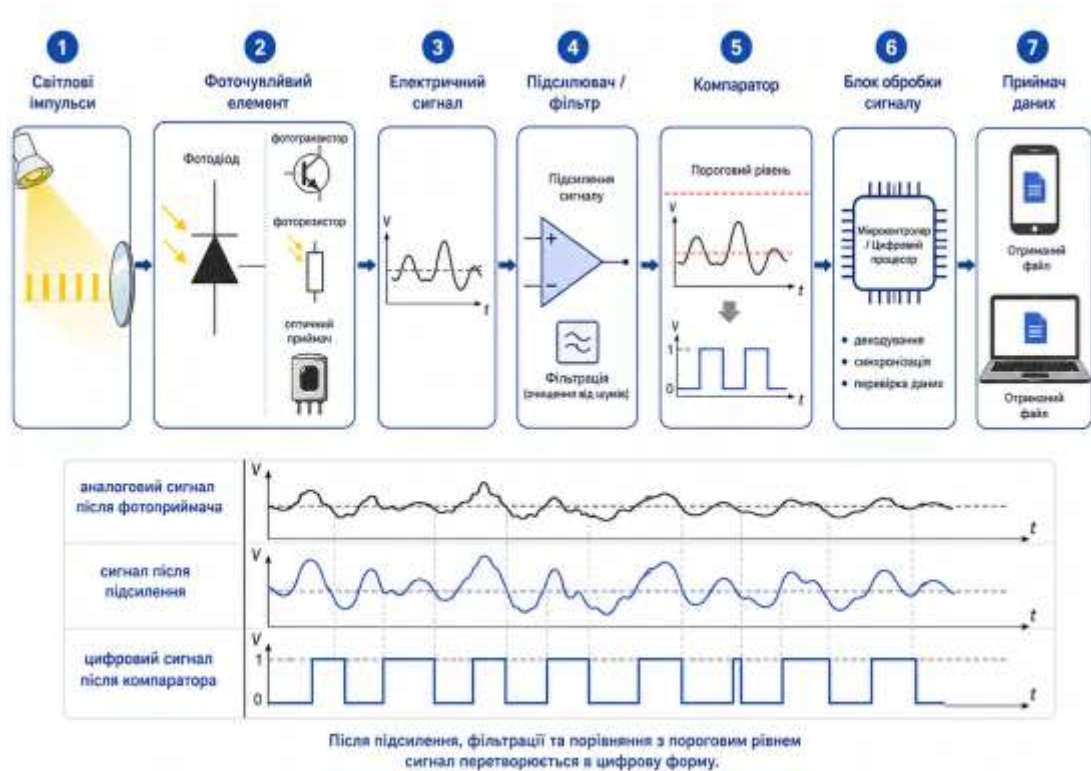


Рисунок 1.5 – Прийом двійкової інформації за допомогою світлових імпульсів

Важливою перевагою Li-Fi є використання світлодіодних джерел світла, які мають високу енергоефективність і здатні перемикатися з великою швидкістю. Це дає змогу поєднувати функцію освітлення з функцією передавання даних. У загальному випадку один і той самий світлодіод може освітлювати приміщення і одночасно виконувати роль передавача інформації, якщо його світловий потік модулюється з частотою, непомітною для людини.

1.2.2 Особливості використання світлового каналу для передавання цифрових даних

Світловий канал має низку особливостей, які відрізняють Li-Fi від інших технологій бездротового передавання даних. Насамперед він не використовує радіочастотний спектр, тому не створює електромагнітних завад для обладнання, яке працює в радіодіапазоні. Це є важливою перевагою в місцях, де використання радіозв'язку може бути небажаним або обмеженим, зокрема в медичних закладах, літаках, лабораторіях, промислових приміщеннях або середовищах із підвищеними вимогами до електромагнітної сумісності.

Ще однією особливістю є обмежена зона поширення світлового сигналу. На відміну від Wi-Fi, сигнал якого може проходити крізь стіни та поширюватися за межі приміщення, Li-Fi-сигнал зазвичай залишається в межах освітленої зони [5]. Це може бути перевагою з погляду інформаційної безпеки, оскільки для перехоплення сигналу необхідно перебувати в зоні дії світлового каналу. Водночас така особливість потребує правильного взаємного розташування передавача та приймача. Порівняння поширення сигналів Wi-Fi та Li-Fi у приміщенні наведено на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Порівняння поширення сигналів Wi-Fi та Li-Fi у приміщенні

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якість роботи Li-Fi-системи залежить від багатьох чинників. До них належать потужність світлодіодного випромінювача, чутливість фотоприймача, рівень зовнішнього освітлення, відстань між передавачем і приймачем, кут падіння світла на фотоприймач, швидкодія елементів схеми та алгоритми обробки сигналу. За недостатньої освітленості або неправильного розташування приймача рівень сигналу може зменшуватися, що призводить до появи помилок під час передавання даних.

Зовнішнє освітлення також може впливати на роботу приймальної частини. Сонячне світло, лампи освітлення або інші джерела оптичного випромінювання можуть створювати фоновий рівень освітленості, який ускладнює виділення корисного сигналу. Для зменшення впливу таких завад у Li-Fi-системах можуть застосовуватися фільтрація, порогова обробка, підсилення сигналу, вибір відповідної частоти модуляції та програмна перевірка цілісності прийнятих даних.

З погляду передавання файлів технологія Li-Fi потребує не лише фізичного формування світлового сигналу, але й правильної організації цифрового обміну. Файл перед передаванням має бути перетворений у послідовність байтів, розбитий на окремі блоки або пакети, доповнений службовою інформацією та контрольними даними. На приймальній стороні необхідно виконати зворотну операцію: прийняти послідовність імпульсів, відновити цифрові біти, перевірити правильність приймання і сформувати початковий файл [6].

Основними перевагами Li-Fi є потенційно висока швидкість передавання, відсутність навантаження на радіочастотний спектр, можливість роботи в умовах обмеженого використання радіозв'язку, локалізована зона поширення сигналу та можливість поєднання освітлення з передаванням даних. До обмежень належать залежність від світлового каналу, вплив зовнішнього освітлення, обмежена дальність, потреба у фотоприймальному

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модулі та необхідність точного узгодження апаратної і програмної частин системи [7-8].

Таким чином технологія Li-Fi є перспективним засобом бездротової оптичної передачі даних, який може використовуватися для локального обміну інформацією між електронними пристроями. Її особливістю є використання світлового каналу замість радіочастотного, що забезпечує низку переваг у сфері швидкості, електромагнітної сумісності та фізичної локалізації сигналу. Водночас для практичного застосування Li-Fi необхідно враховувати обмеження, пов'язані з оптичним середовищем поширення сигналу, характеристиками передавача, фотоприймача та алгоритмами обробки даних.

1.3 Аналіз існуючих реалізацій Li-Fi-систем

Для обґрунтування доцільності розроблення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi необхідно проаналізувати існуючі реалізації таких систем. На сьогодні Li-Fi представлена переважно у вигляді комерційних рішень, орієнтованих на організацію високошвидкісного доступу до мережі через світловий канал. Такі системи не є прямими аналогами звичайного Bluetooth- або Wi-Fi-обміну файлами між двома смартфонами, однак вони демонструють практичну можливість використання світлового випромінювання як середовища передавання цифрових даних.

Більшість реальних Li-Fi-рішень має подібну структурну організацію. До складу системи входить мережевий пристрій або контролер, Li-Fi-точка доступу у вигляді світлодіодного світильника чи спеціалізованого передавача, світловий канал зв'язку та користувацький адаптер. Користувацький пристрій, наприклад ноутбук, планшет або інший мобільний пристрій, зазвичай підключається до Li-Fi-системи через окремий USB-ключ, USB-C-донгл або вбудований приймально-передавальний модуль.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найбільш відомих комерційних рішень є система Trulifi компанії Signify. Вона призначена для створення бездротового мережевого з'єднання через світлову інфраструктуру. У такій системі світильники або спеціалізовані Li-Fi-модулі виконують роль точок доступу, а користувач підключає до свого пристрою USB access key, який забезпечує приймання і передавання даних через світловий канал. Trulifi позиціонується як рішення для офісів, промислових приміщень, транспортної інфраструктури, готельного сектору, державних і оборонних установ, а також інших середовищ, де потрібне стабільне та захищене бездротове з'єднання (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Система Trulifi компанії Signify

Перевагою Trulifi є використання наявної або модернізованої освітлювальної інфраструктури. Система поєднує функції освітлення та передавання даних, що дає змогу зменшити кількість окремих мережевих пристроїв у приміщенні. Важливою особливістю є також захищеність каналу, оскільки світловий сигнал не проходить крізь стіни. Водночас така система потребує спеціалізованих світильників або модулів, а також окремого

користувачького адаптера. Тому Trulifi доцільно розглядати як промислове рішення для організації мережевого доступу через Li-Fi, а не як простий засіб прямого передавання файлів між мобільними пристроями.

Іншим прикладом є система LiFiMAX компанії Oledcomm (рис. 1.8). Вона реалізована як комплекс для організації доступу до Li-Fi-мережі за допомогою фотонної антени, Li-Fi-точки доступу та користувачького адаптера. До складу таких рішень можуть входити USB-C-донгли, спеціалізовані планшети або чохла для планшетів, які забезпечують підтримку Li-Fi-зв'язку. Це свідчить про орієнтацію виробника не лише на персональні комп'ютери, а й на мобільні пристрої, зокрема планшети.



Рисунок 1.8 – Компоненти системи LiFiMAX компанії Oledcomm

Система LiFiMAX є показовою для цієї кваліфікаційної роботи, оскільки демонструє можливість підключення мобільного пристрою до Li-Fi-мережі за допомогою окремого апаратного адаптера. У такому підході мобільний пристрій не обов'язково має містити вбудований фотоприймач або світлодіодний передавач для Li-Fi, оскільки ці функції реалізуються зовнішнім модулем. Недоліком такого рішення є залежність від фірмового обладнання,

закритість внутрішньої схемотехніки та орієнтація на готову мережеву інфраструктуру, а не на автономний обмін файлами між двома пристроями.

Компанія PureLiFi розробляє рішення, спрямовані на інтеграцію Li-Fi у сучасні електронні пристрої та комунікаційні системи (рис. 1.9). Її продукти орієнтовані на високошвидкісне передавання даних за допомогою світлового каналу, а також на застосування Li-Fi в умовах, де радіочастотні технології можуть бути обмеженими або небажаними. Важливою особливістю підходу PureLiFi є прагнення до мініатюризації та інтеграції приймально-передавальних модулів безпосередньо в пристрої користувачів.



Рисунок 1.9 – Продукти PureLiFi для організації зв'язку

Перевагою такого напрямку є зменшення потреби у зовнішніх адаптерах і наближення Li-Fi до рівня звичайної вбудованої комунікаційної технології. Проте практична реалізація такого підходу є складною, оскільки потребує спеціалізованих апаратних компонентів, підтримки з боку виробників мобільних пристроїв і відповідного програмного забезпечення. Для бакалаврської роботи такий варіант є важливим як приклад перспективного

розвитку Li-Fi, але він не є доступним для прямого повторення в умовах навчального проєктування.

До реальних Li-Fi-рішень також належать системи компанії Lucibel. Вони орієнтовані на використання світлодіодного освітлення для організації мережевого з'єднання. У таких системах застосовується світлодіодний світильник або Li-Fi-точка доступу, а користувацький пристрій підключається через USB-приймач (рис. 1.10). Рішення Lucibel, як і більшість інших комерційних реалізацій, призначене переважно для підключення комп'ютерів або ноутбуків до мережі через світловий канал.



Рисунок 1.10 – Рішення Lucibel комерційної Li-Fi-системи

Аналіз розглянутих реалізацій показує, що існуючі Li-Fi-системи мають переважно мережеве призначення. Вони забезпечують доступ до локальної мережі або Інтернету, підвищують захищеність з'єднання, зменшують залежність від радіочастотного спектра та можуть застосовуватися в умовах, де радіозв'язок є небажаним. Проте для задачі прямого передавання файлів між двома мобільними пристроями такі системи мають низку обмежень. Насамперед вони потребують спеціалізованої інфраструктури, окремих адаптерів і фірмового програмного забезпечення.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняльний аналіз існуючих Li-Fi-рішень наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз існуючих реалізацій Li-Fi-систем

Рішення	Тип реалізації	Пристрій користувача	Інтерфейс користувачького модуля	Основне призначення	Обмеження для задачі передачі файлів
Trulifi	світлодіодна Li-Fi-інфраструктура	ноутбук, планшет	USB access key	мережевий доступ через світло	потребує спец. інфраструктури
LiFiMAX	Li-Fi-точка доступу та адаптер користувача	ПК, планшет, мобільний пристрій	USB-C-донгл, спеціалізований модуль	доступ до Li-Fi-мережі	орієнтація на фірмове обладнання
PureLiFi	вбудовані або зовнішні Li-Fi-модулі	ноутбуки, мобільні пристрої, спеціалізоване обладнання	інтегрований або зовнішній модуль	високошвидкісний оптичний зв'язок	складність інтеграції та закритість рішень
Lucibel	світильник і USB-приймач	ПК, ноутбук	USB-приймач	мережевий доступ через освітлення	обмежена орієнтація на мобільні пристрої

Отже, аналіз існуючих реалізацій Li-Fi-систем показав, що ця технологія вже має практичні комерційні застосування. Найвідоміші рішення, зокрема Trulifi, LiFiMAX, PureLiFi та Lucibel, підтверджують можливість використання світлового каналу для передавання цифрових даних у реальних умовах.

1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи

Аналіз існуючих реалізацій Li-Fi-систем показав, що більшість існуючих комерційних систем орієнтована на мережевий доступ через світлову інфраструктуру, а не на автономний обмін файлами між двома мобільними пристроями. Це створює підстави для розроблення власної комп'ютеризованої системи, яка буде зосереджена саме на задачі локальної передачі файлів через Li-Fi-канал.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi, яка забезпечує перетворення цифрових даних у світлові імпульси, їх передавання через оптичний канал, приймання світлочутливим елементом та відновлення переданої інформації на приймальному боці.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати сучасні способи передавання файлів між мобільними пристроями;
- розглянути особливості технології Li-Fi як засобу бездротової оптичної передачі даних;
- проаналізувати існуючі реалізації Li-Fi-систем і визначити їхні переваги та обмеження;
- розробити узагальнену структуру комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями;
- обґрунтувати вибір апаратних компонентів передавальної та приймальної частин системи;
- розробити функціональну та електричну принципову схеми системи;
- обґрунтувати вибір програмного забезпечення для реалізації обміну даними;
- розробити алгоритми підготовки, передавання, приймання та відновлення файлів;
- реалізувати експериментальний зразок системи;
- провести тестування роботи системи та проаналізувати отримані результати.

Проектована система повинна забезпечувати виконання таких основних функцій: вибір файлу для передавання, перетворення даних файлу у цифрову послідовність, формування світлових імпульсів, приймання оптичного сигналу, перетворення його в електричний сигнал, цифрову обробку

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прийнятих даних, перевірку правильності передавання та відновлення файлу на приймальному пристрої.

У межах кваліфікаційної роботи передбачається розроблення експериментального програмно-апаратного зразка системи. Апаратна частина повинна містити мікроконтролерний модуль, світлодіодний випромінювач, фоточутливий елемент, елементи підсилення та узгодження сигналів, вузол живлення та інтерфейс взаємодії з мобільним пристроєм. Програмна частина повинна забезпечувати керування режимами роботи системи, обробку файлів, формування посилок даних, приймання сигналів і відновлення інформації.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						26
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка узагальненої структури комп'ютеризованої системи

Комп'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi призначена для локального обміну цифровими даними через світловий канал. Основна ідея роботи системи полягає в тому, що файл, вибраний користувачем на одному мобільному пристрої, перетворюється у цифрову послідовність, передається на апаратний модуль, кодується у вигляді світлових імпульсів і приймається другим апаратним модулем. Після приймання світлового сигналу відбувається його перетворення в електричний сигнал, цифрова обробка, перевірка правильності передавання та відновлення файлу на приймальному мобільному пристрої [9].

Узагальнена структура проєктованої системи передбачає наявність двох мобільних пристроїв та двох апаратних модулів, між якими формується оптичний канал зв'язку. Перший мобільний пристрій виконує роль джерела даних, а другий — приймача файлу.

Апаратний модуль передавальної сторони забезпечує отримання даних від мобільного пристрою, їх обробку мікроконтролером і керування світлодіодним випромінювачем.

Апаратний модуль приймальної сторони забезпечує приймання світлових імпульсів, перетворення їх у електричний сигнал, обробку мікроконтролером і передавання відновлених даних на мобільний пристрій.

Узагальнену структуру комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi наведено на рис. 2.1.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Писаревич М.</i>			Проектна частина	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Жаровський Р.</i>					27	21
<i>Реценз.</i>		<i>Дмитроца Л.</i>				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

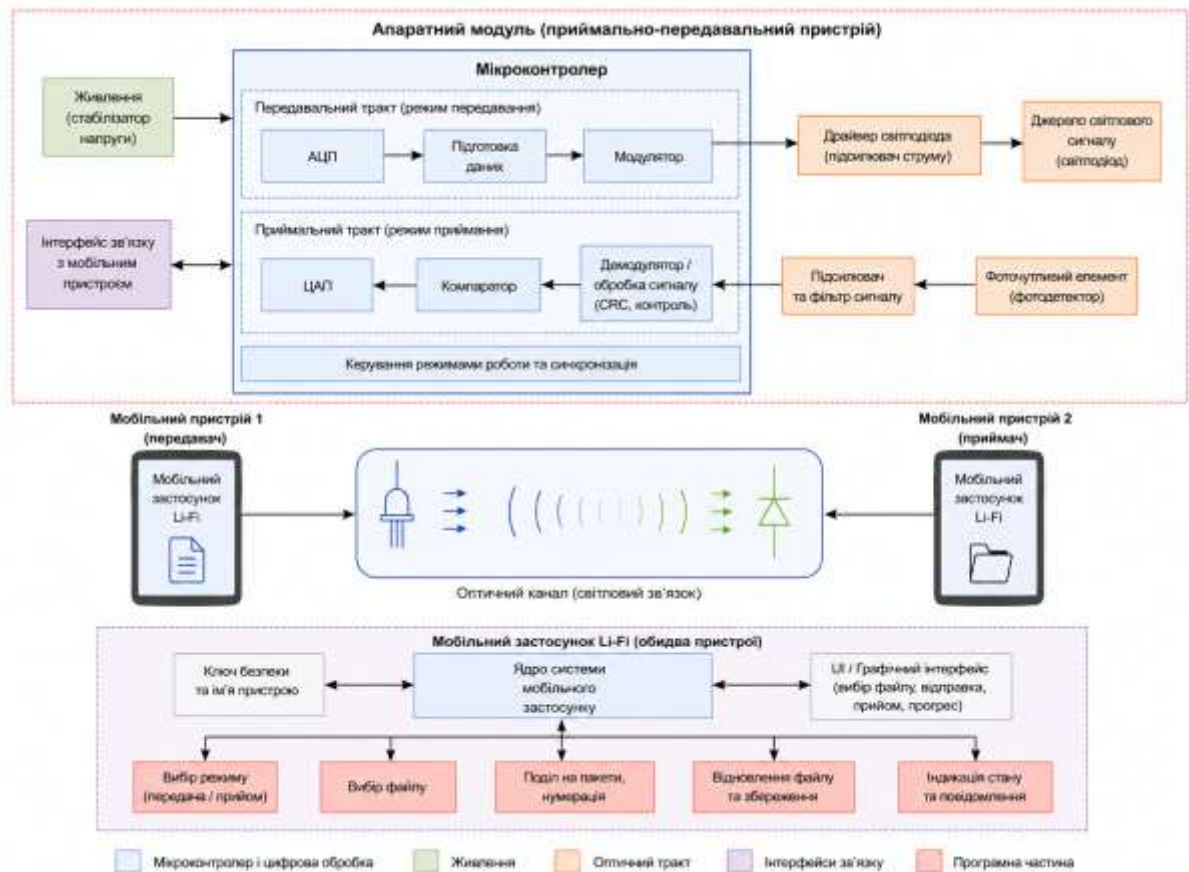


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура комп’ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi

До складу системи входять такі основні функціональні частини: мобільний пристрій передавача, інтерфейс зв’язку з апаратним модулем, мікроконтролер передавального модуля, світлодіодний випромінювач, світловий канал, фоточутливий елемент приймального модуля, мікроконтролер приймального модуля, інтерфейс зв’язку з мобільним пристроєм приймача та мобільний застосунок. Така структура дає змогу розділити систему на апаратну та програмну частини, які взаємодіють між собою під час передавання й приймання файлів.

Передавальна частина системи починає роботу з вибору файлу на мобільному пристрої. Мобільний застосунок зчитує файл, перетворює його в послідовність байтів, формує службову інформацію, виконує підготовку пакетів даних і передає їх на апаратний модуль. Для зв’язку мобільного

пристрою з апаратною частиною використовується інтерфейс TRRS jack 3.5. У межах навчального прототипу такий інтерфейс є достатнім для організації обміну аналоговими сигналами між мобільним пристроєм і мікроконтролерним модулем.

Після отримання сигналу від мобільного пристрою мікроконтролер передавального модуля виконує його обробку та формує керувальні сигнали для світлодіодного випромінювача. Світлодіод змінює інтенсивність світлового потоку відповідно до переданої цифрової послідовності. Таким чином, дані файлу передаються через світловий канал у вигляді послідовності світлових імпульсів.

Світловий канал є фізичним середовищем передавання даних між передавальною та приймальною частинами системи. Його якість залежить від відстані між модулями, кута взаємного розташування світлодіода та фотоприймача, рівня зовнішнього освітлення, чутливості фоточутливого елемента та параметрів модуляції. Для стабільної роботи системи передавальний і приймальний модулі повинні бути розташовані так, щоб світловий потік від передавача потрапляв на фоточутливий елемент приймача.

Приймальна частина системи складається з фоточутливого елемента, мікроконтролера, інтерфейсу зв'язку з мобільним пристроєм і програмної частини, яка відповідає за відновлення файлу. Фоточутливий елемент реагує на зміну інтенсивності світлового потоку та формує відповідний електричний сигнал. Цей сигнал надходить на вхід мікроконтролера, де виконується його аналіз, перетворення в цифрову форму та виділення прийнятих бітів.

У приймальному модулі мікроконтролер виконує функції обробки сигналу, визначення логічних рівнів, синхронізації приймання, формування цифрової послідовності та передавання прийнятих даних на мобільний пристрій. Після цього мобільний застосунок приймає дані, виконує перевірку цілісності, об'єднує окремі пакети й формує файл у початковому вигляді.

Загальна послідовність передавання файлу в системі має такий вигляд:

- користувач вибирає файл на мобільному пристрої передавача;

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- мобільний застосунок перетворює файл у цифрову послідовність;
- дані передаються на мікроконтролерний модуль через jack 3.5;
- мікроконтролер керує світлодіодним випромінювачем; світлові імпульси поширюються через оптичний канал;
- фоточутливий елемент приймає зміну світлового потоку; мікроконтролер приймальної сторони обробляє сигнал;
- мобільний застосунок приймача відновлює файл.

Особливістю проєктованої системи є те, що апаратний модуль виконує роль проміжного перетворювача між мобільним пристроєм і світловим каналом. Мобільний пристрій не взаємодіє зі світловим каналом безпосередньо, а передає дані через апаратний модуль. Це дає змогу використати звичайний мобільний пристрій без вбудованого Li-Fi-приймача або спеціалізованого світлодіодного передавача.

Для забезпечення зручності використання система повинна підтримувати два основні режими роботи: режим передавання та режим приймання. У режимі передавання користувач вибирає файл і запускає процес надсилання. У режимі приймання система очікує світловий сигнал, приймає дані та формує файл на мобільному пристрої. Додатково можуть передбачатися функції налаштування імені пристрою, використання ключа безпеки, перегляду інформації про пристрій та переривання процесу передавання або приймання.

Запропонована структура є основою для подальшого вибору апаратного забезпечення, розроблення функціональної схеми, електричної принципової схеми та програмного забезпечення системи [10].

2.2 Обґрунтування вибору апаратного забезпечення

Вибір апаратного забезпечення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi здійснюється з урахуванням функціонального призначення приймально-

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передавального пристрою. Оскільки система повинна забезпечувати передавання цифрових даних через світловий канал, ключовими елементами апаратної частини є мікроконтролер, джерело світлового сигналу, фоточутливий елемент та елемент стабільного тактування.

Основними вимогами до апаратних компонентів є достатня швидкодія, компактність, доступність, невисока вартість, низьке енергоспоживання та можливість використання в експериментальному зразку [11].

У межах цього підрозділу розглянуто вибір основних елементів системи: мікроконтролера, світлодіода, фоторезистора та кварцового резонатора.

Мікроконтролер є центральним елементом приймально-передавального пристрою. Він забезпечує керування режимами роботи системи, обробку вхідних і вихідних сигналів, формування сигналу передавання, приймання сигналу з фоточутливого елемента та взаємодію з мобільним пристроєм. Для Li-Fi-системи важливо, щоб мікроконтролер мав достатню швидкодію, підтримував роботу з аналоговими та цифровими сигналами, мав вбудовані АЦП і ЦАП, а також забезпечував стабільну часову синхронізацію.

Для вибору мікроконтролера було розглянуто декілька поширених варіантів, які можуть використовуватися у вбудованих системах. Порівняння мікроконтролерів наведено в табл. 2.1.

З таблиці видно, що прості 8-розрядні мікроконтролери ATtiny13 та ATmega48 мають обмежену периферію та не містять вбудованого ЦАП, що ускладнює формування аналогових сигналів. Потужніші мікроконтролери ATSAM E70 та EFM32GG мають достатні технічні можливості, однак є дорогими для навчального прототипу. Мікроконтролер STM32F100 забезпечує раціональне поєднання швидкодії, наявності необхідної периферії, низького енергоспоживання та прийнятної вартості [12-13].

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Порівняння мікроконтролерів для приймально-
передавального пристрою

Мікрокон- тролер	Тактова частота, МГц	Канали ЦАП	Канали АЦП	ПДП	Низьке енерго- споживання	Орієнтовна вартість
ATtiny13	20	–	4	–	так	низька
ATmega48	16	–	8	–	так	низька
ATSAM E70	до 300	2	24	так	ні	висока
PIC16C7	24	–	5	–	ні	середня
XMC1100	32	–	6–12	–	ні	середня
XMC4100	80	2	9	так	ні	середня
STM32F100	24	до 4	10–16	так	так	середня
EFM32GG	48	1	7	так	так	висока

Для реалізації системи обрано мікроконтролер STM32F100RBT6B (рис.2.2). Його перевагою є наявність вбудованих аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів, таймерів та засобів прямого доступу до пам'яті. Це дає змогу використовувати один мікроконтролер як для формування сигналу передавання, так і для обробки сигналу приймання. Основні технічні характеристики вибраного мікроконтролера наведено в табл. 2.2.

Джерело світлового сигналу є основним елементом передавального тракту Li-Fi-системи. Воно повинно швидко змінювати інтенсивність світлового потоку відповідно до цифрової послідовності, сформованої мікроконтролером. Для цієї задачі можуть використовуватися світлодіоди з фосфорним покриттям, RGB-світлодіоди, мікросвітлодіоди або лазерні джерела випромінювання. Для експериментального зразка найбільш доцільним є використання світлодіода з фосфорним покриттям (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняння джерел світлового сигналу для Li-Fi-системи

Джерело світлового сигналу	Переваги	Недоліки	Орієнтовна швидкодія / можливість застосування
Світлодіод з фосфорним покриттям	Доступність, низька вартість, проста схема керування, достатня яскравість	Частина світла розсіюється у шарі фосфора	Доцільний для навчального прототипу
RGB-світлодіод	Можливість використання різних кольірних каналів, вища ефективність	Складніше керування, залежність кольору від температури	Доцільний для складніших систем
Мікро-світлодіод	Висока швидкодія, низьке енергоспоживання	Вища вартість, менша доступність	Доцільний для високошвидкісних систем
RGB-лазер	Дуже висока швидкодія	Висока вартість, складність охолодження, додаткові вимоги безпеки	Недоцільний для навчального прототипу

Такий варіант має низьку вартість, доступний на ринку, не потребує складної системи керування та спеціальних умов експлуатації. RGB-світлодіоди можуть забезпечувати вищу швидкість, однак мають складніші вимоги до живлення та стабілізації кольору. Мікросвітлодіоди і лазерні

джерела можуть забезпечувати ще вищі швидкості, проте є дорожчими та складнішими для використання у навчальному прототипі.

Як джерело світлового сигналу обрано над'яскравий світлодіод TDS-P001L4U15 STAR (рис.2.3). Він має достатній світловий потік для передавання даних на невеликій відстані, простий у підключенні та придатний для використання в компактному приймально-передавальному пристрої. Основні технічні характеристики світлодіода наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики світлодіода TDS-P001L4U15 STAR

Параметр	Значення
Тип	над'яскравий світлодіод холодного світіння
Потужність	1 Вт
Максимальний робочий струм	до 350 мА
Напруга живлення	5 В
Світловий потік	близько 100 лм
Габарити	8×14,5×5,1 мм
Маса	близько 1,6 г
Особливість конструкції	наявність тепловідвідної основи



Рисунок 2.3 – Світлодіод TDS-P001L4U15 STAR

Фоточутливий елемент є основою приймального тракту системи. Його завдання полягає у перетворенні світлових імпульсів у зміну електричного параметра, який може бути оброблений мікроконтролером. Для приймання

світлового сигналу можуть використовуватися фоторезистори, фотодіоди або фототранзистори.

Фотодіоди мають високу швидкодію та добре підходять для швидких оптичних систем, однак потребують точнішого схемотехнічного узгодження. Фототранзистори забезпечують вищу чутливість порівняно з фотодіодами, але можуть мати більший рівень шумів і гірші частотні характеристики. Фоторезистори мають просту схему підключення, низьку вартість і достатню чутливість для експериментальної системи, хоча їх швидкодія є нижчою. Порівняння фоточутливих елементів наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Порівняння фоточутливих елементів приймального тракту

Фоточутливий елемент	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Фоторезистор	Просте підключення, низька вартість, достатня чутливість	Нижча швидкодія, нижча точність	Доцільний для навчального прототипу
Фотодіод	Висока швидкодія, краща придатність для швидкісного приймання	Вища вартість, складніше узгодження сигналу	Доцільний для швидкісних систем
Фототранзистор	Вища чутливість порівняно з фотодіодом	Нестабільність параметрів, шум, гірші частотні характеристики	Менш доцільний для цієї реалізації

Для приймального тракту обрано фоторезистор GL5537 (рис.2.4). Його вибір пояснюється простотою використання, низькою вартістю та достатньою чутливістю для приймання світлових імпульсів у межах експериментального зразка. Основні характеристики фоторезистора наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики фоторезистора GL5537

Параметр	Значення
Тип	фоторезистор
Максимальна напруга	150 В
Максимальна споживана потужність	100 мВт
Робочий температурний діапазон	-30...+70 °С
Спектральний максимум чутливості	близько 540 нм
Опір при освітленні	20–45 кОм
Опір у темряві	близько 2 МОм
Час наростання	близько 20 мс
Час спадання	близько 30 мс
Маса	близько 1 г

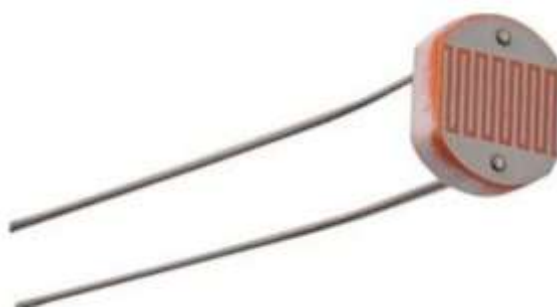


Рисунок 2.4 – Фоторезистор GL5537

Для стабільної роботи мікроконтролера необхідне точне джерело тактового сигналу. Мікроконтролери можуть працювати від внутрішнього RC-генератора або від зовнішнього кварцового резонатора. Внутрішній генератор простіший у використанні, однак має нижчу точність і більшу залежність від температури. Для системи передавання даних через світлові імпульси стабільність частоти є важливою, оскільки від неї залежить правильність формування і розпізнавання часових інтервалів.

Для системи обрано зовнішній кварцовий резонатор HC-49S з частотою 8 МГц. Такий резонатор забезпечує стабільне тактування мікроконтролера та підвищує надійність роботи алгоритмів передавання і приймання даних. Основні характеристики кварцового резонатора наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики кварцового резонатора НС-49S

Параметр	Значення
Тип	кварцовий резонатор
Резонансна частота	8 МГц
Навантажувальна ємність	32 пФ
Робочий температурний діапазон	-20...+70 °С
Довжина корпусу	11,05 мм
Ширина корпусу	4,65 мм
Маса	близько 1 г



Рисунок 2.5 – Кварцовий резонатор НС-49S 8 МГц

Обраний набір елементів забезпечує необхідну функціональність приймально-передавального пристрою, поєднує достатню швидкодію, доступність, компактність і простоту реалізації. Подальше узгодження цих елементів, вибір резисторів, конденсаторів, стабілізаторів напруги та розрахунок параметрів електричних кіл буде виконано під час розроблення електричної принципової схеми системи.

2.3 Розробка електричної принципової схеми

Електрична принципова схема комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розробляється на основі обраної структури приймально-передавального пристрою та вибраної елементної бази. Схема повинна забезпечувати взаємодію апаратного модуля з мобільним пристроєм, формування світлового сигналу, приймання світлових імпульсів, їх перетворення в електричний сигнал, обробку мікроконтролером та стабільне живлення основних вузлів. Електричну принципову схему приймально-передавального пристрою наведено в графічній частині проекту.

Центральним елементом електричної принципової схеми є мікроконтролер STM32F100RBT6B. До нього підключено інтерфейс зв'язку з мобільним пристроєм, передавальний тракт на основі світлодіода, приймальний тракт на основі фоторезистора, кварцовий резонатор та вузли живлення. Мікроконтролер виконує обробку сигналів, керує режимами роботи пристрою, формує сигнал для світлодіодного випромінювача та приймає сигнал від фоточутливого елемента.

Для зв'язку з мобільним пристроєм у схемі використано роз'єм jack 3.5 TRRS. Через цей роз'єм здійснюється обмін сигналами між мобільним застосунком і мікроконтролером. Такий інтерфейс є зручним для експериментального зразка, оскільки дає змогу використовувати аудіоканал мобільного пристрою без складного цифрового інтерфейсу. У схемі передбачені лінії для передавання сигналу від мобільного пристрою до мікроконтролера, передавання відновленого сигналу у зворотному напрямку та спільний провід.

Передавальний тракт побудовано на основі світлодіода D1, транзистора Q1 та резисторів R1 і R2. Світлодіод D1 виконує функцію джерела світлового сигналу. Його світловий потік змінюється відповідно до сигналу, сформованого мікроконтролером, унаслідок чого цифрові дані передаються через оптичний канал у вигляді світлових імпульсів.

Транзистор Q1 використовується як ключовий елемент для керування світлодіодом. Безпосереднє підключення потужного світлодіода до виводу мікроконтролера є недоцільним, оскільки струм світлодіода може

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищувати допустимий струм виходу мікроконтролера. Тому керувальний сигнал із мікроконтролера подається на базу транзистора через резистор R1, а транзистор комутує струм через світлодіод.

Резистор R1 обмежує базовий струм транзистора. Його опір визначається за формулою:

$$R_1 = \frac{U_{MCU} - U_{BE}}{I_B},$$

де R_1 — опір базового резистора, Ом; U_{MCU} — напруга логічного сигналу мікроконтролера, В; U_{BE} — напруга база-емітер транзистора, В; I_B — базовий струм транзистора, А.

Для мікроконтролера з логічним рівнем 3,3 В та орієнтовною напругою база-емітер 0,7 В при вибраному резисторі 1,8 кОм базовий струм становить:

$$I_B = \frac{U_{MCU} - U_{BE}}{R_1},$$

$$I_B = \frac{3,3 - 0,7}{1800} = 0,00144 \text{ А} = 1,44 \text{ мА}.$$

Отримане значення є достатнім для керування транзисторним ключем у режимі комутації світлодіодного навантаження. Номінал R1 прийнято 1,8 кОм.

Резистор R2 використовується для обмеження струму через світлодіод D1. Його опір визначається за формулою:

$$R_2 = \frac{U_{Ж} - U_{LED} - U_{CE}}{I_{LED}},$$

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де R_2 — опір струмообмежувального резистора, Ом; $U_{Ж}$ — напруга живлення світлодіодного кола, В; U_{LED} — пряме падіння напруги на світлодіоді, В; U_{CE} — падіння напруги на відкритому транзисторі, В; I_{LED} — робочий струм світлодіода, А.

Для живлення світлодіодного тракту від 5 В, прямого падіння напруги на світлодіоді близько 3,2 В, падіння напруги на відкритому транзисторі близько 0,2 В і прийнятого номіналу $R_2 = 22$ Ом струм світлодіода становить:

$$I_{LED} = \frac{U_{Ж} - U_{LED} - U_{CE}}{R_2},$$

$$I_{LED} = \frac{5 - 3,2 - 0,2}{22} = 0,073 \text{ А} = 73 \text{ мА}.$$

Такий струм є меншим за максимально допустимий струм світлодіода 350 мА, тому забезпечує безпечніший режим роботи випромінювача, зменшує нагрівання та підвищує надійність передавального тракту. Номінал R_2 прийнято 22 Ом.

Приймальний тракт реалізовано на основі фоторезистора LDR1 та резистора R_3 . Фоторезистор змінює свій опір залежно від інтенсивності світлового потоку. Разом із резистором R_3 він утворює подільник напруги, вихідний сигнал якого змінюється під дією світлових імпульсів. Напруга на виході подільника визначається за формулою:

$$U_{OUT} = U_{SUP} \cdot \frac{R_3}{R_{LDR} + R_3},$$

де U_{OUT} — вихідна напруга подільника, В; U_{SUP} — напруга живлення приймального тракту, В; R_{LDR} — опір фоторезистора, Ом; R_3 — опір резистора подільника, Ом.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для фоторезистора GL5537 опір при освітленні становить приблизно 20–45 кОм, а опір у темряві може досягати близько 2 МОм. При живленні 5 В і резисторі $R_3 = 470$ Ом напруга на виході подільника при освітленні для $R_{LDR}=20$ кОм становить:

$$U_{OUT} = 5 \cdot \frac{470}{20000 + 470} = 0,115 \text{ В.}$$

У темряві для $R_{LDR} = 2000000$ Ом:

$$U_{OUT} = 5 \cdot \frac{470}{2000000 + 470} = 0,00117 \text{ В.}$$

Отже, зміна освітленості приводить до зміни вихідної напруги подільника. Цей сигнал надходить на вхід мікроконтролера та використовується для визначення логічних станів прийнятого оптичного сигналу. Номінал R_3 прийнято 470 Ом.

Для стабільного тактування мікроконтролера використано кварцовий резонатор X1 з частотою 8 МГц. Він підключається до відповідних входів мікроконтролера та забезпечує стабільну частоту роботи системи. Стабільність тактового сигналу важлива для формування і приймання послідовностей імпульсів, оскільки похибка часових інтервалів може призвести до помилок у відновленні даних.

У схемі також використано конденсатори C1 і C2, які працюють у колі кварцового резонатора та забезпечують стабільний запуск і роботу генератора. Ємність таких конденсаторів залежить від навантажувальної ємності кварцового резонатора та паразитних ємностей друкованої плати. Орієнтовно вона визначається за формулою:

$$C_1 = C_2 = 2 \cdot (C_L - C_S).$$

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_1 і C_2 — ємності конденсаторів у колі кварцового резонатора, пФ;
 C_L — навантажувальна ємність кварцового резонатора, пФ; C_S — паразитна ємність монтажу, пФ.

Для кварцового резонатора з навантажувальною ємністю 32 пФ і орієнтовною паразитною ємністю 5 пФ розрахункове значення становить:

$$C_1 = C_2 = 2 \cdot (32 - 5) = 54 \text{ пФ.}$$

Вони забезпечують стабілізацію роботи відповідного вузла та зменшення впливу завад. Остаточний вибір ємності уточнюється за вимогами до конкретного кварцового резонатора та рекомендаціями виробника мікроконтролера.

Для живлення мікроконтролера та оптичного тракту в схемі використано два стабілізатори напруги. Стабілізатор U3 LD39015M33R формує напругу 3,3 В, необхідну для живлення мікроконтролера STM32F100RBT6V. Стабілізатор U2 LDK220M50R формує напругу 5 В, яка використовується для живлення світлодіодного і фотоприймального трактів. Використання окремих рівнів напруги дає змогу узгодити вимоги цифрової та оптичної частин пристрою.

Для стабілізаторів напруги використано фільтрувальні конденсатори C3–C6 ємністю 2,2 мкФ. Вони підключаються до входів і виходів стабілізаторів та забезпечують згладжування пульсацій напруги, зменшення впливу імпульсних завад і стабільність роботи живлення. Для таких задач доцільно використовувати керамічні SMD-конденсатори, оскільки вони мають малі габарити, низький еквівалентний послідовний опір і придатні для компактних електронних пристроїв. Ємність фільтрувального конденсатора можна орієнтовно оцінити за формулою:

$$C = I \cdot \frac{\Delta t}{\Delta U},$$

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C — ємність конденсатора, Ф; I — струм навантаження, А; Δt — інтервал часу між пульсаціями або імпульсами навантаження, с; ΔU — допустима зміна напруги, В.

У схемі прийнято конденсатори С3–С6 ємністю 2,2 мкФ, що є типовим значенням для стабілізаторів живлення малопотужних цифрових і аналогових вузлів. Такі конденсатори встановлюються максимально близько до виводів стабілізаторів для зменшення впливу паразитних індуктивностей доріжок.

Для оцінки енергетичних параметрів розробленої електричної принципової схеми виконується розрахунок максимальної споживаної потужності пристрою. Для більшості елементів схеми потужність визначається за формулою:

$$P = I \cdot U,$$

де P — споживана потужність елемента, Вт; I — сила струму, А; U — напруга живлення, В.

Для конденсаторів потужність можна оцінити через енергію зарядженого конденсатора:

$$P = \frac{W}{t}, \quad W = \frac{C \cdot U^2}{2},$$
$$P = \frac{C \cdot U^2}{2 \cdot t},$$

де W — енергія зарядженого конденсатора, Дж; C — ємність конденсатора, Ф; U — напруга, В; t — час, с.

Максимальна споживана потужність усього пристрою визначається як сума потужностей окремих елементів:

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + \dots + P_n.$$

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами розрахунку максимальні значення потужності елементів становлять: транзистор КТ645Б — 0,5 Вт, фоторезистор GL5537 — 0,1 Вт, світлодіод TDS-P001L4U15 STAR — 1 Вт, резистори SMD 0402 — 0,062 Вт, стабілізатор LD39015M33R — 0,099 мВт, стабілізатор LDK220M50R — близько 0,0069 мВт, кварцовий резонатор HC-49S — 0,001 Вт, конденсатори С3–С6 ємністю 2,2 мкФ — близько 6,875 мкВт, конденсатори С1 та С2 ємністю 54 пФ — близько 176 мкВт..

Сумарна максимальна споживана потужність плати становить приблизно 2,33 Вт. Основні елементи електричної принципової схеми та їх призначення наведено в додатку Б.

2.4 Розробка програмного забезпечення комп'ютеризованої системи

Програмне забезпечення забезпечує взаємодію користувача з апаратною частиною системи, підготовку даних до передавання, організацію процесів передавання та приймання інформації, а також відновлення файлів на приймальній стороні. Основною функцією програмного забезпечення є перетворення файлів у послідовність цифрових даних, їх передавання через оптичний канал зв'язку та відновлення початкової структури файлу після приймання.

Програмна частина реалізується у вигляді мобільного застосунку для операційної системи Android. Для розроблення застосунку використано мову програмування Kotlin [13], яка забезпечує повний доступ до системних ресурсів Android, підтримує сучасні механізми роботи з файлами, аудіопристроями та графічним інтерфейсом користувача. Основні функції програмного забезпечення наведено на діаграмі прецедентів (рис. 2.6).

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

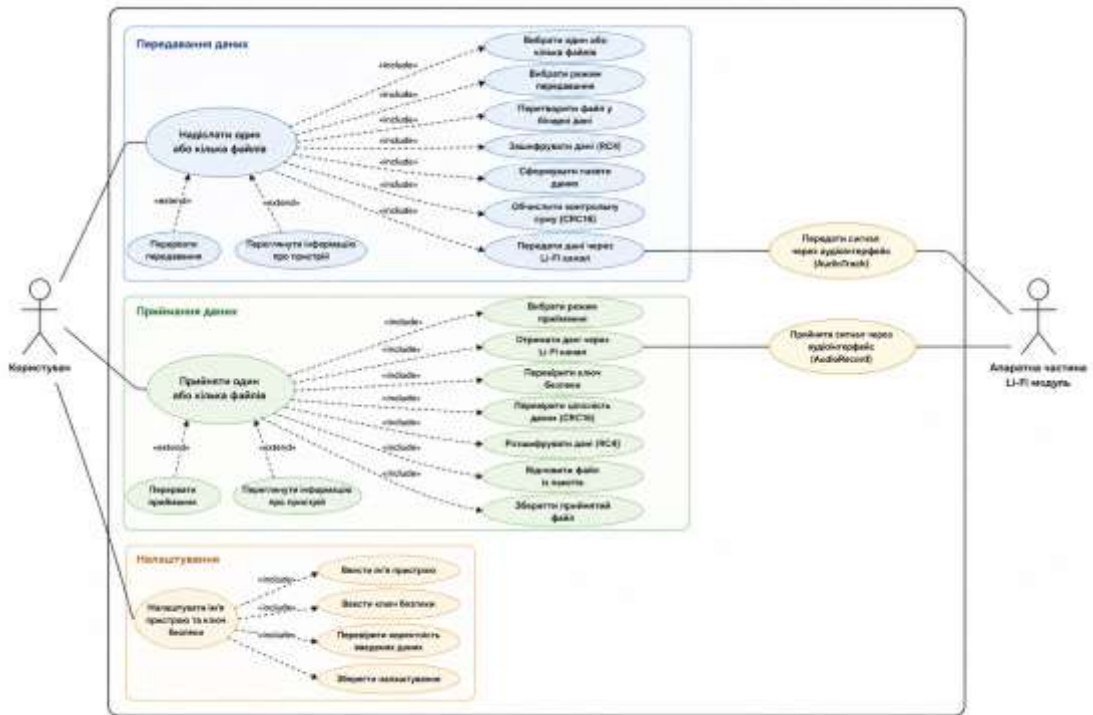


Рисунок 2.6 – Діаграма прецедентів програмної частини Li-Fi-системи

Після запуску застосунку користувач може вибрати режим роботи системи: передавання або приймання файлів. У режимі передавання виконується вибір одного або декількох файлів із пам'яті мобільного пристрою. Після вибору файл зчитується та перетворюється у послідовність байтів, яка надалі використовується для формування потоку даних.

Для забезпечення надійності передавання інформації дані розбиваються на окремі пакети. Кожен пакет містить службову інформацію, номер пакета та контрольну суму CRC16, що дозволяє контролювати цілісність інформації на приймальній стороні. У разі виявлення помилки пакет може бути відхилений під час обробки.

Для захисту передаваних даних необхідно використовувати шифрування. В цій роботі використано алгоритм симетричного шифрування RC4. Перед передаванням сформовані пакети шифруються із застосуванням ключа безпеки, який задається користувачем під час налаштування системи. На приймальній стороні після перевірки контрольної суми виконується зворотна операція дешифрування.

Обмін інформацією між мобільним застосунком і приймально-передавальним пристроєм здійснюється через аудіоінтерфейс мобільного пристрою. Для формування вихідного потоку використовується клас AudioTrack, який забезпечує передачу даних через аудіовихід смартфона. Приймання даних реалізується за допомогою класу AudioRecord, який виконує зчитування сигналу з аудіовходу та передачу його на подальшу обробку.

На приймальній стороні програмне забезпечення здійснює приймання пакетів, перевірку правильності їх структури, контроль CRC16, дешифрування даних та відновлення початкової послідовності байтів. Після отримання всіх пакетів виконується формування та збереження файлу у пам'яті мобільного пристрою.

Окрім функцій передавання та приймання даних, програмне забезпечення забезпечує налаштування імені пристрою та ключа безпеки, перегляд інформації про систему, відображення поточного стану роботи та повідомлень про помилки. Користувач також має можливість перервати процес передавання або приймання даних у будь-який момент.

Для розроблення мобільного застосунку використано середовище Android Studio, яке забезпечує створення графічного інтерфейсу користувача, налагодження програмного коду та тестування роботи застосунку на реальних пристроях і програмних емуляторах.

Програмне забезпечення приймально-передавального пристрою реалізується мовою програмування C для мікроконтролера STM32F100RBT6B. Для розроблення, компіляції та налагодження програмного коду використовується інтегроване середовище розроблення STM32CubeIDE. Програма мікроконтролера забезпечує обробку сигналів, керування світлодіодним випромінювачем, приймання сигналів від фоточутливого елемента, синхронізацію процесів передавання та приймання, а також взаємодію з мобільним застосунком через аудіоінтерфейс.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розробка алгоритму роботи системи

Функціонування комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi базується на взаємодії програмного забезпечення мобільного застосунку та програмного забезпечення приймально-передавального пристрою. Основним завданням алгоритму є підготовка даних до передавання, їх захист, передавання через оптичний канал зв'язку та відновлення файлу на приймальній стороні.

Процес обміну даними складається з двох взаємопов'язаних алгоритмів: алгоритму передавання інформації та алгоритму приймання інформації. Алгоритм роботи передавальної частини системи наведено на рис. 3.1.

Після запуску мобільного застосунку виконується перевірка наявності збережених параметрів пристрою, зокрема імені пристрою та ключа безпеки. Якщо параметри відсутні, користувач вводить їх вручну та зберігає у налаштуваннях застосунку. Після цього користувач обирає режим передавання та файл, який необхідно надіслати.

На наступному етапі виконується зчитування вибраного файлу та формування масиву байтів. Для забезпечення конфіденційності інформації отримані дані шифруються за допомогою алгоритму RC4. Після шифрування інформація розбивається на окремі пакети фіксованої довжини.

Для підвищення надійності передавання до кожного пакета додається контрольна сума CRC16, яка використовується для контролю цілісності інформації на приймальній стороні. Після цього виконується формування службових бітів синхронізації та ООК-кодування даних для подальшого передавання через оптичний канал зв'язку.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Писаревич М.</i>			Практична частина	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевірів</i>		<i>Жаровський Р.</i>					48	17
<i>Реценз.</i>		<i>Дмитроца Л.</i>				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

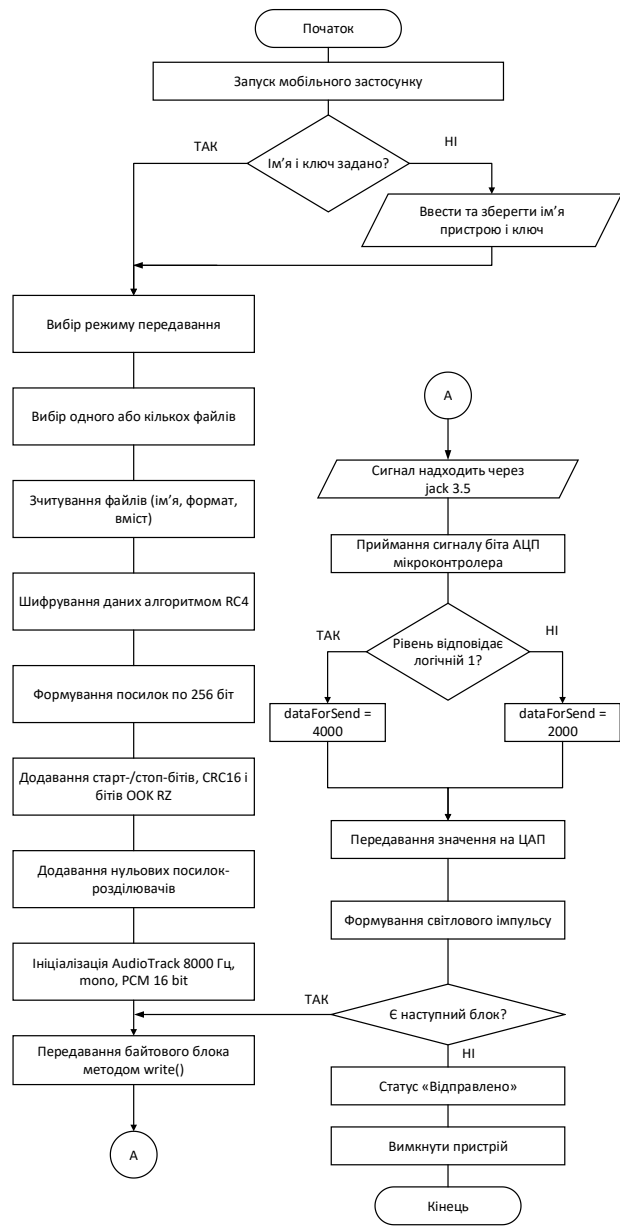


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи передавального модуля Li-Fi-системи

Сформований потік даних передається до аудіопідсистеми мобільного пристрою за допомогою класу AudioTrack. Програмний модуль здійснює послідовне передавання пакетів даних до приймально-передавального пристрою. Після передавання останнього пакета користувачу відображається повідомлення про успішне завершення процедури передавання.

Алгоритм роботи приймальної частини системи наведено на рис. 3.2.

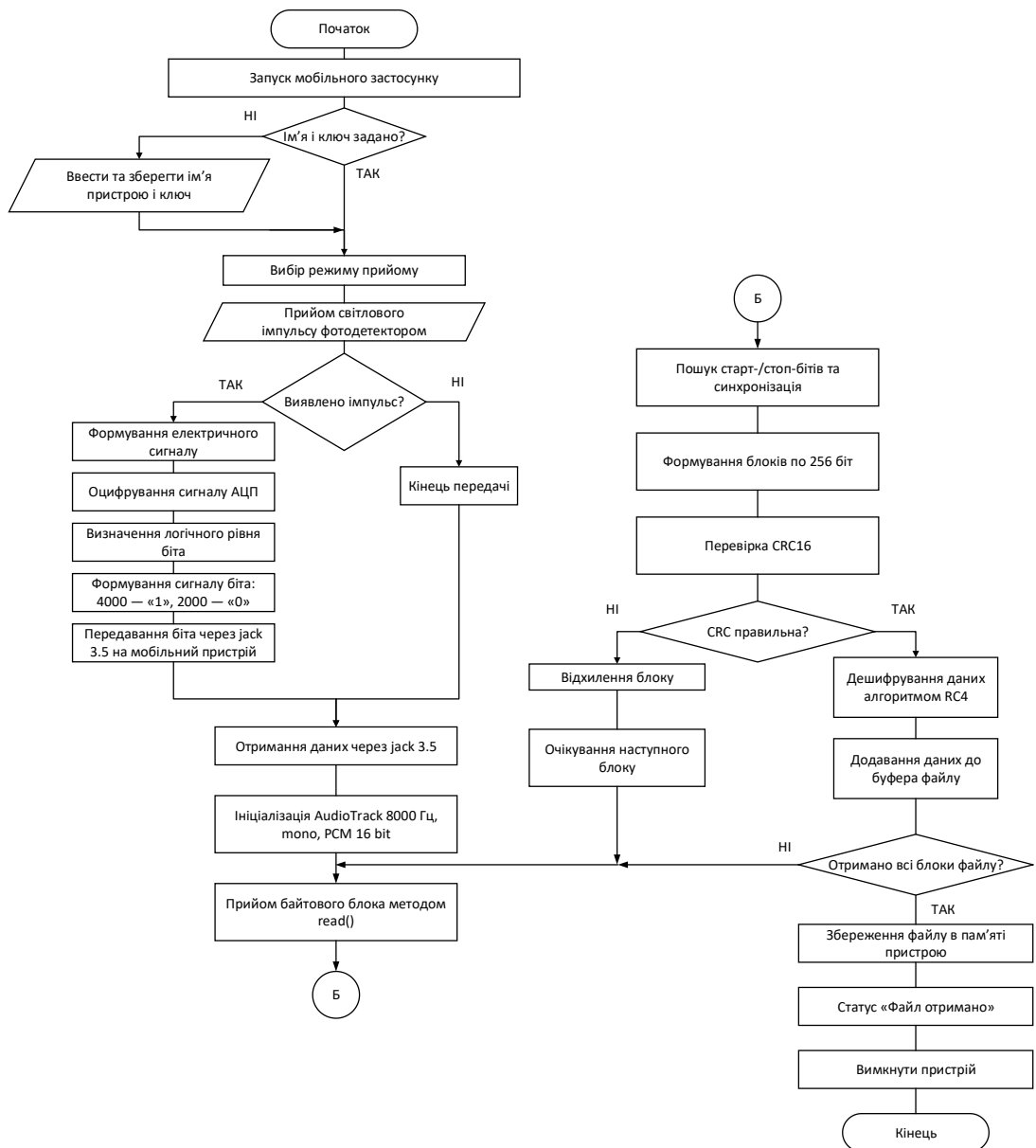


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи приймального модуля Li-Fi-системи

Після запуску застосунку та вибору режиму приймання виконується ініціалізація засобів приймання аудіоданих. Потік інформації надходить до мобільного застосунку та обробляється за допомогою класу AudioRecord.

На етапі приймання програмне забезпечення виконує виділення окремих пакетів даних, пошук службових бітів синхронізації та перевірку правильності структури отриманих посилок. Після цього здійснюється перевірка контрольної суми CRC16. Якщо виявлено помилку передавання, пакет відхиляється та система переходить до очікування наступного пакета.

У разі успішної перевірки CRC16 виконується дешифрування даних за допомогою алгоритму RC4. Отримані дані послідовно додаються до буфера файлу. Після приймання всіх пакетів система виконує відновлення початкової структури файлу та його збереження у пам'яті мобільного пристрою.

Після завершення процесу приймання користувачу відображається повідомлення про успішне отримання файлу. Таким чином забезпечується повний цикл передавання інформації через світловий канал зв'язку з контролем цілісності даних та захистом інформації від несанкціонованого доступу.

Побудовані алгоритми є основою для реалізації програмного забезпечення мобільного застосунку та програмного забезпечення приймально-передавального пристрою, а також визначають послідовність взаємодії всіх програмних модулів системи.

3.2 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi реалізовано у вигляді взаємопов'язаних програмних компонентів, кожен з яких виконує окрему функцію в загальному процесі роботи системи. Такий підхід спрощує розроблення, налагодження та подальшу модернізацію програмної частини, оскільки функції керування інтерфейсом, роботи з файлами, формування пакетів, шифрування, передавання та приймання даних розділені між окремими класами та методами.

Структура програмного забезпечення мобільного застосунку побудована за принципом поділу на окремі екрани роботи. Кожен екран відповідає певному режиму або функціональній частині системи. Головне меню забезпечує перехід до режиму передавання, режиму приймання, налаштувань і довідкової інформації. Окремі екрани використовуються для

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вибору файлів, запуску передавання, приймання даних, збереження параметрів пристрою та відображення повідомлень користувачу.

Діаграму класів програмного забезпечення мобільного застосунку наведено на рис. 3.3.

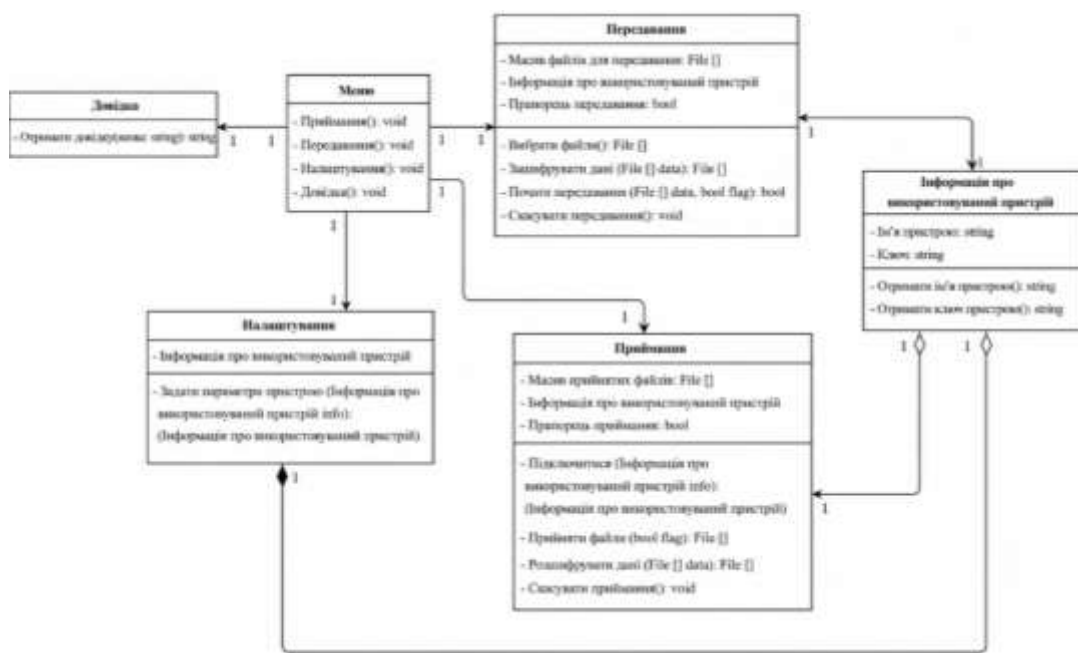


Рисунок 3.3 – Діаграма класів мобільного застосунку Li-Fi-системи

Основним класом мобільного застосунку є MainActivity, який відповідає за головне меню програми. У цьому класі реалізовано створення початкового екрана та перехід до інших режимів роботи. З головного меню користувач може перейти до передавання файлів, приймання даних, налаштувань або довідкової інформації. Таким чином, MainActivity виконує роль центрального навігаційного елемента програмного забезпечення.

Клас MainActivitySend відповідає за роботу системи в режимі передавання. У ньому реалізовано вибір файлів, додавання та видалення файлів зі списку передавання, підготовку даних до надсилання, формування посилки, запуск процесу передавання та відображення поточного стану роботи. Після вибору файлу програма отримує його ім'я, формат і вміст, після чого виконується перетворення даних у байтовий масив. Далі дані

шифруються, розбиваються на посилки та передаються через аудіоінтерфейс мобільного пристрою.

Для формування посилки у програмному забезпеченні використовується метод `packageCreate()`. Він перетворює підготовлені байтові дані у бітову форму, додає службові біти, контрольну суму CRC16 та формує пакети фіксованої довжини. Такий спосіб організації даних дає змогу приймальній стороні правильно розпізнавати межі окремих пакетів і перевіряти їх цілісність.

Для розділення окремих логічних частин передавання використовується метод `splitPackage()`. Він формує спеціальні розділювальні блоки, які дають змогу приймальній стороні визначити завершення передавання одного типу даних і початок наступного. Це важливо, оскільки під час передавання послідовно надсилаються службові дані, ім'я пристрою, ключ безпеки, ім'я файлу, формат файлу та вміст файлу.

Передавання сформованих блоків виконується методом `sendInformation()`. Цей метод відповідає за послідовне перетворення підготовлених бітових даних у байтовий потік і передавання його через аудіопідсистему мобільного пристрою. Під час виконання передавання на екрані відображається поточний стан операції, зокрема повідомлення про підготовку даних, процес передавання, успішне завершення або переривання передавання.

Клас `MainActivityReceive` відповідає за роботу системи в режимі приймання. Він забезпечує запуск приймання даних, перевірку наявності попередніх налаштувань, приймання потоку через аудіоінтерфейс, обробку отриманих даних, перевірку ключа безпеки та формування прийнятого файлу. У цьому класі реалізовано методи, які відповідають за підтвердження передавального пристрою, приймання пакетів, дешифрування даних і створення файлу в пам'яті мобільного пристрою.

Метод `receiveData()` використовується для запуску процесу приймання. Він ініціалізує необхідні програмні засоби, починає зчитування вхідного

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потоків та передає отримані дані на подальшу обробку. Метод `userConfirm()` використовується для перевірки отриманого імені пристрою та ключа безпеки. Якщо ключ передавальної та приймальної сторін не збігається, приймання даних припиняється, а користувач отримує відповідне повідомлення.

Метод `fileCreate()` відповідає за формування файлу з прийнятих даних. Після отримання пакетів виконується перевірка їх цілісності, дешифрування, визначення імені та формату файлу, після чого формується файл у пам'яті мобільного пристрою. Якщо під час приймання виявлено помилки, користувач отримує повідомлення про некоректне приймання або переривання операції.

Клас `MainActivitySetting` реалізує роботу з налаштуваннями системи. У цьому класі користувач задає ім'я пристрою та ключ безпеки, які надалі використовуються під час передавання та приймання файлів. Після введення параметрів виконується їх перевірка. Якщо дані введені коректно, вони зберігаються у внутрішній пам'яті мобільного пристрою та автоматично використовуються під час наступних запусків застосунку.

Клас `MainActivitySpravka` відповідає за відображення довідкової інформації. Він містить опис призначення застосунку, короткі рекомендації щодо його використання та пояснення основних режимів роботи. Наявність довідкового розділу підвищує зручність роботи користувача із системою.

Окремим функціональним компонентом програмного забезпечення є клас `RC4`. Він реалізує алгоритм шифрування та дешифрування даних. Клас містить методи ініціалізації ключа, формування псевдовипадкової послідовності та виконання операції шифрування або дешифрування над масивом байтів. Використання одного алгоритму для шифрування і дешифрування пояснюється особливістю операції XOR, яка застосовується в `RC4`.

Для контролю цілісності даних використовується метод `srcPack()`. Він виконує розрахунок контрольної суми CRC16 для сформованої посилки. На приймальній стороні контрольна сума обчислюється повторно та порівнюється з отриманим значенням. Якщо значення не збігаються, пакет

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вважається пошкодженим і не використовується під час формування файлу. Основні програмні класи та методи, використані в мобільному застосунку, наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні класи та методи мобільного застосунку

Клас / компонент	Основні методи	Призначення
MainActivity	onCreate(), sendActivity(), receiveActivity(), settingActivity(), spravkaActivity()	Створення головного меню та перехід до основних режимів роботи
MainActivity Send	addFile(), removeFile(), sendData(), packageCreate(), splitPackage(), sendInformation()	Вибір файлів, формування посилки і передавання даних
MainActivity Receive	receiveData(), userConfirm(), fileCreate(), showWarning()	Приймання даних, перевірка ключа, відновлення та збереження файлу
MainActivity Setting	onCreate(), saveDeviceSettings(), mainWindowActivity()	Введення, перевірка та збереження імені пристрою і ключа безпеки
MainActivity Spravka	onCreate(), sendMain()	Відображення довідкової інформації та повернення до головного меню
RC4	initParam(), keyRandom(), encode(), decode()	Шифрування та дешифрування даних
CRC16	crcPack()	Розрахунок контрольної суми для перевірки цілісності посилки
AudioTrack	play(), write()	Передавання підготовленого потоку даних через аудіовихід
AudioRecord	startRecording(), read(), stop(), release()	Приймання потоку даних через аудіовхід

Програмне забезпечення приймально-передавального пристрою реалізує обробку сигналів на рівні мікроконтролера. У передавальному режимі воно приймає сигнал від мобільного пристрою, аналізує його та формує сигнал

керування світлодіодним випромінювачем. У приймальному режимі мікроконтролер отримує сигнал від фоточутливого елемента, виконує його оцифрування, визначає логічні рівні та передає відновлені дані на мобільний пристрій.

Основними програмними компонентами мікроконтролера є функції ініціалізації АЦП, налаштування ЦАП, роботи з таймерами та обробки переривань. АЦП використовується для зчитування аналогового сигналу, таймери задають часові інтервали обробки, а ЦАП забезпечує формування сигналу для подальшого передавання на мобільний пристрій або керування оптичним трактом. Основні функції програмного забезпечення мікроконтролера наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні функції програмного забезпечення мікроконтролера

Функція	Призначення
main()	Ініціалізація основних модулів і запуск основного циклу роботи пристрою
ADCInit() / ADCMobileInit()	Налаштування аналого-цифрового перетворювача для приймання сигналів
DACMobileInit() / DAC_DMAInit()	Налаштування цифро-аналогового перетворювача для формування вихідного сигналу
TIM2_IRQHandler() / TIM4_IRQHandler()	Обробка переривань таймера та зчитування даних у задані моменти часу
ADC1_IRQHandler()	Обробка переривання АЦП під час виявлення зміни сигналу
dataForSend	Буфер або змінна для збереження підготовленого значення передавання

Таким чином, структура програмного забезпечення системи побудована за модульним принципом. Мобільний застосунок відповідає за взаємодію з користувачем, роботу з файлами, шифрування, формування пакетів, контроль цілісності та передавання або приймання даних. Програмне забезпечення мікроконтролера забезпечує обробку сигналів, синхронізацію та взаємодію з

оптичним трактом. Такий розподіл функцій забезпечує узгоджену роботу програмної та апаратної частин Li-Fi-системи.

3.3 Складання та налагодження макетного зразка приймально-передавального пристрою

Після завершення розроблення електричної принципової схеми та програмного забезпечення було виконано практичну реалізацію приймально-передавального пристрою. На першому етапі для перевірки працездатності схемотехнічних рішень та програмних алгоритмів здійснювалося складання макетного зразка на безпайковій макетній платі.

Використання макетної плати дало можливість оперативно перевіряти правильність підключення компонентів, вносити зміни до схеми без виготовлення друкованої плати та виконувати налагодження окремих вузлів системи. Під час складання було встановлено мікроконтролер STM32F100RBT6B, світлодіодний випромінювач передавального тракту, фоторезистор приймального тракту, стабілізатори живлення, кварцовий резонатор та елементи узгодження сигналів.

Особливу увагу під час складання макетного зразка було приділено правильному розміщенню світлодіода та фоточутливого елемента. Для забезпечення стабільного приймання сигналів необхідно, щоб світловий потік від передавального світлодіода потрапляв безпосередньо на фотоприймач. Під час налагодження здійснювалося коригування взаємного розташування елементів та перевірка роботи системи при різних відстанях між передавальним і приймальним модулями.

Після завершення монтажу виконувалося програмування мікроконтролера та перевірка роботи окремих функціональних вузлів. На початковому етапі тестувалася робота системи живлення та стабільність тактування мікроконтролера. Далі перевірялося формування сигналів передавальним трактом, робота аналого-цифрового перетворювача

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приймального тракту та коректність взаємодії пристрою з мобільним застосунком через аудіоінтерфейс.

Апаратну частину приймально-передавального пристрою, зібрану на макетній платі, наведено на рис. 3.4.

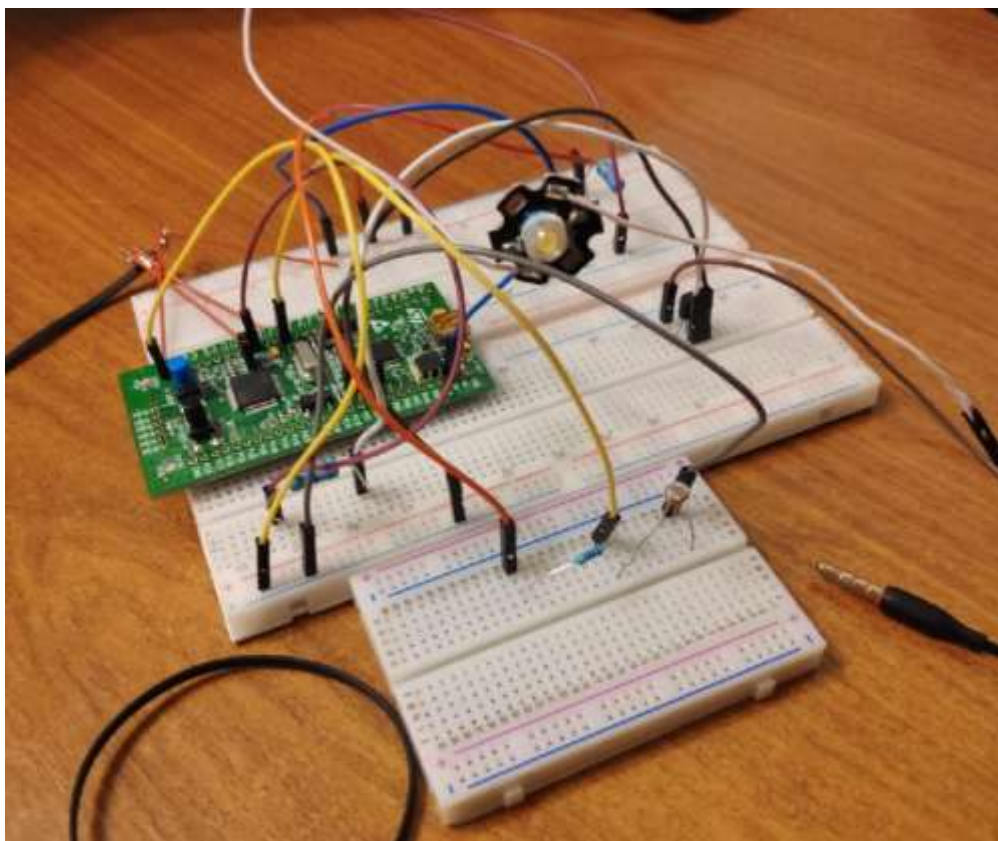


Рисунок 3.4 – Апаратна частина приймально-передавального пристрою, зібрана на макетній платі

Після підтвердження працездатності макетного зразка було виконано розроблення друкованої плати пристрою. Використання друкованої плати дозволить зменшити габарити пристрою, підвищити надійність електричних з'єднань та забезпечити компактне розміщення всіх компонентів.

Під час проектування друкованої плати враховувалися вимоги до мінімізації довжини сигнальних доріжок, зменшення впливу електромагнітних завад та забезпечення стабільної роботи аналогових і цифрових вузлів. Особлива увага приділялася розміщенню елементів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ

Арк.

58

живлення, кварцового резонатора та сигнальних ліній передавального і приймального трактів.

Розроблену друковану плату приймально-передавального пристрою наведено на рис. 3.5.

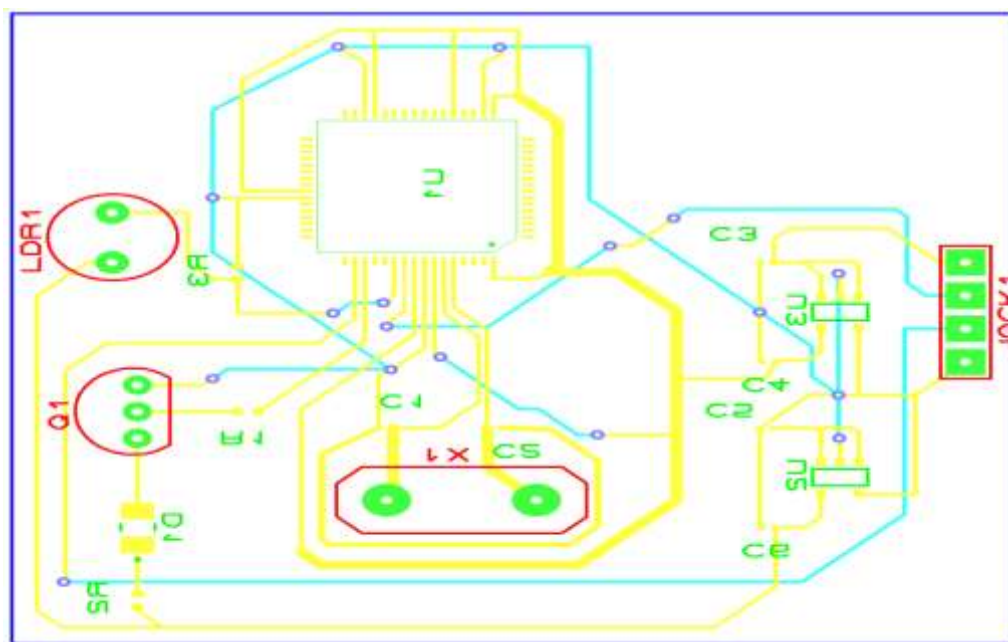


Рисунок 3.5 – Друкована плата приймально-передавального пристрою

Друкована плата розроблена у двошаровому виконанні із застосуванням переважно SMD-компонентів. Використання поверхневого монтажу дозволило зменшити габарити пристрою та підвищити щільність компонування елементів. Під час трасування особлива увага приділялася розміщенню кварцового резонатора та фільтрувальних конденсаторів безпосередньо біля відповідних виводів мікроконтролера і стабілізаторів живлення. Для зменшення впливу електромагнітних завад сигнальні лінії приймального тракту прокладено окремо від ліній живлення світлодіодного випромінювача. На друкованій платі реалізовано окремі шини живлення 3,3 В та 5 В, а також передбачено встановлення роз'єму TRRS jack 3.5 мм для взаємодії з мобільним пристроєм.

У результаті виконаних робіт було отримано працездатний апаратний зразок Li-Fi-системи, який забезпечує передавання цифрових даних між

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

мобільними пристроями через оптичний канал зв'язку та може бути використаний для подальшого тестування програмного забезпечення і дослідження характеристик системи.

3.4 Тестування роботи комп'ютеризованої системи

Після складання та налагодження макетного зразка було проведено тестування розробленої комп'ютеризованої системи передачі файлів через канал Li-Fi. Метою тестування була перевірка працездатності програмного забезпечення мобільного застосунку, коректності формування та передачі даних, а також оцінка зручності використання системи користувачем.

Тестування проводилося на двох мобільних пристроях під керуванням операційної системи Android із підключеними приймально-передавальними модулями Li-Fi. Під час випробувань перевірялися основні функції системи: налаштування параметрів пристрою, вибір файлів для передавання, запуск і зупинка передачі даних, а також приймання файлів на стороні одержувача.

Головне меню (рис. 3.15) забезпечує доступ до основних функцій системи, а екран передачі дозволяє вибирати файли для відправлення та контролювати процес передавання.

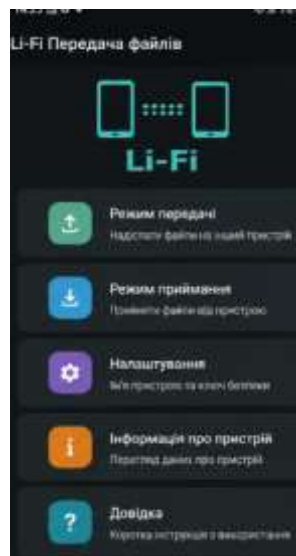


Рисунок 3.15 – Головне меню мобільного застосунку

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після переходу до режиму передачі користувач може додавати один або декілька файлів для надсилання через оптичний канал зв'язку. Перед початком передачі програмне забезпечення виконує підготовку даних, що включає шифрування інформації, формування пакетів передачі та обчислення контрольних сум для перевірки цілісності даних. Інтерфейс застосунку відображає поточний стан процесу передачі, що дозволяє користувачу контролювати виконання операції.

На рис. 3.16 показано приклад роботи застосунку під час передачі файлів. На екрані відображається перелік вибраних файлів та інформація про їх поточний стан. Після завершення процедури передачі система формує повідомлення про успішне виконання операції.



Рисунок 3.16 – Передавання файлів через Li-Fi канал та відображення статусу передачі

Для забезпечення захищеного обміну інформацією передбачено використання імені пристрою та ключа безпеки. Користувач може змінювати ці параметри у вікні налаштувань. Під час введення некоректних даних застосунок автоматично повідомляє про помилку та не дозволяє зберегти параметри, що не відповідають встановленим вимогам.

На рис. 3.17 наведено приклад роботи мобільного застосунку в режимі приймання даних через Li-Fi канал.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перший екран демонструє вибір режиму приймання у головному меню застосунку. Після переходу до цього режиму користувач активує функцію приймання даних від передавального пристрою.

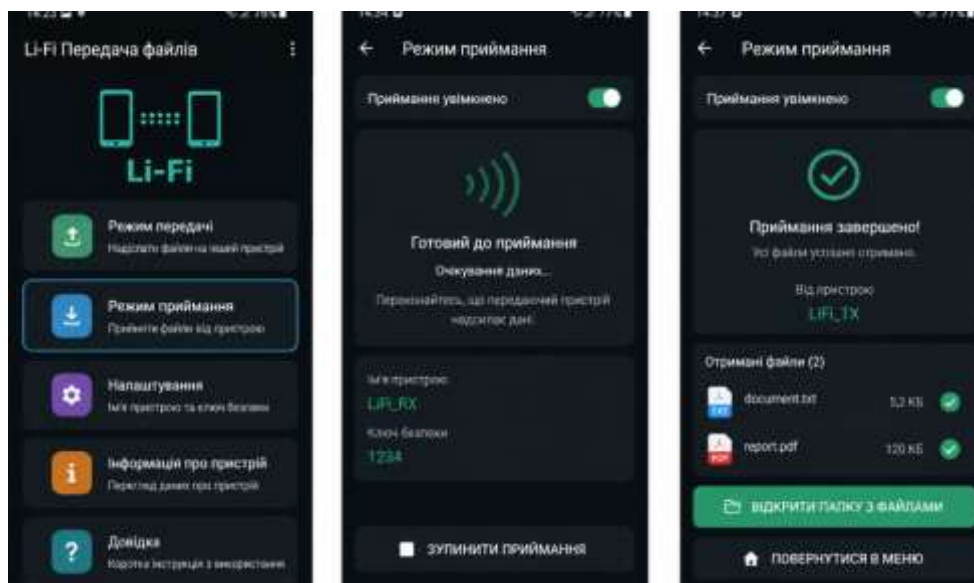


Рисунок 3.17 – Режим приймання файлів та відображення процесу отримання даних через Li-Fi канал

Другий екран відображає стан готовності приймального пристрою до роботи. На цьому етапі система переходить у режим очікування вхідного сигналу та відображає параметри підключення, зокрема ім'я пристрою та ключ безпеки.

Третій екран відображає завершення процесу приймання. Після успішного отримання всіх пакетів даних застосунок виконує перевірку цілісності інформації, відновлює структуру файлів та формує повідомлення про успішне завершення передачі. Отримані файли відображаються у списку.

Отримані файли успішно відкривалися штатними засобами операційної системи Android, що підтверджує коректність роботи алгоритмів кодування, передачі та декодування інформації.

На рис. 3.18 наведено приклад налаштування параметрів мобільного застосунку Li-Fi-системи. Для встановлення з'єднання між передавальним і приймальним пристроями користувач задає ім'я пристрою та ключ безпеки.

Імена пристроїв можуть бути різними, оскільки вони використовуються лише для ідентифікації учасників обміну даними. Водночас ключ безпеки повинен бути однаковим на обох пристроях, оскільки він застосовується для шифрування та дешифрування передаваних даних.

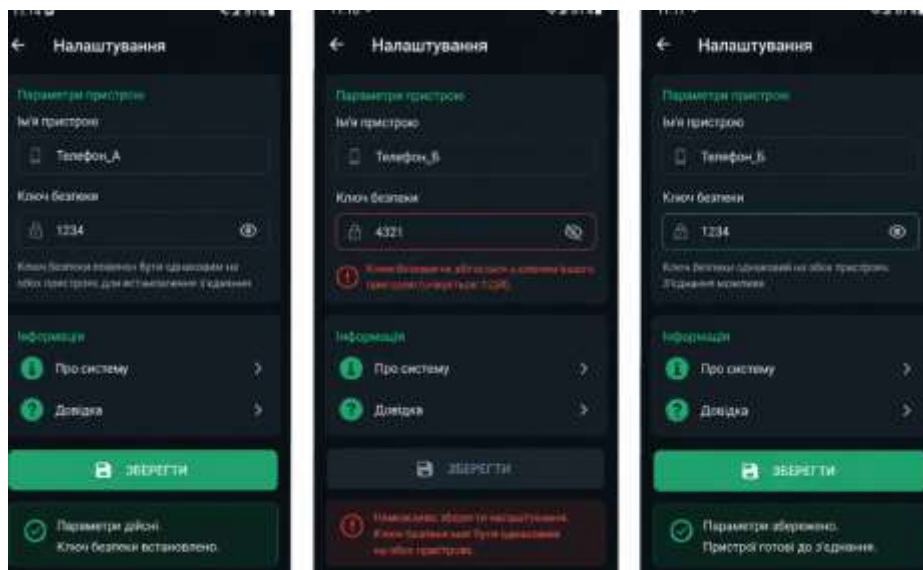


Рисунок 3.18 – Налаштування параметрів системи та контроль коректності введення даних

На першому екрані показано коректно налаштований передавальний пристрій із іменем «Телефон_А» та ключем безпеки «1234». Другий екран демонструє ситуацію, коли на приймальному пристрої встановлено інший ключ безпеки («4321»), унаслідок чого застосунок формує повідомлення про помилку та блокує можливість встановлення з'єднання.

На третьому екрані показано виправлення налаштувань, коли ключ безпеки приймального пристрою змінено на значення «1234», що відповідає ключу передавального пристрою. Після цього параметри успішно зберігаються і система готова до обміну даними.

Результати функціонального тестування системи наведено в табл. 3.4.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 – Результати функціонального тестування системи

Функція системи	Очікуваний результат	Результат тестування
Додавання файлів	Відображення вибраних файлів у списку передачі	Виконано успішно
Передача файлів	Формування та відправлення пакетів даних	Виконано успішно
Приймання файлів	Відновлення переданих файлів	Виконано успішно
Переривання передачі	Зупинка процесу передачі	Виконано успішно
Налаштування імені пристрою	Збереження введених параметрів	Виконано успішно
Перевірка ключа безпеки	Контроль доступу до передачі	Виконано успішно
Відображення довідки	Виведення довідкової інформації	Виконано успішно

Проведене тестування підтвердило працездатність розробленої комп'ютеризованої системи передачі файлів через Li-Fi. Усі основні функції мобільного застосунку та апаратної частини працюють коректно, забезпечуючи передачу даних між мобільними пристроями з використанням світлового каналу зв'язку.

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Допомога при теплових і сонячних ударах

У сучасних умовах людина може тривалий час перебувати під впливом підвищеної температури навколишнього середовища як під час виробничої діяльності, так і в побуті. Особливо небезпечними є спекотні погодні умови, робота у приміщеннях із недостатньою вентиляцією, перебування під прямими сонячними променями та значні фізичні навантаження. У таких випадках виникає ризик перегрівання організму, що може призвести до розвитку теплового або сонячного удару. Своєчасне розпізнавання симптомів та правильне надання домедичної допомоги мають важливе значення для збереження здоров'я та життя потерпілого [14].

Тепловий удар є важким патологічним станом, що виникає внаслідок загального перегрівання організму та порушення процесів терморегуляції. Основною причиною його виникнення є тривала дія високої температури навколишнього середовища у поєднанні з недостатнім відведенням тепла від організму. Тепловий удар може виникати під час роботи в гарячих цехах, закритих приміщеннях без належної вентиляції, у транспортних засобах, що перебувають під сонцем, а також під час інтенсивної фізичної праці в умовах високої температури повітря.

Сонячний удар є різновидом теплового удару та виникає внаслідок тривалого впливу прямих сонячних променів на голову людини. Особливо небезпечним є перебування під сонцем без головного убору в спекотну погоду. У результаті відбувається перегрівання головного мозку та порушення діяльності центральної нервової системи.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Писаревич М.</i>			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці		
<i>Перевірив</i>		<i>Жаровський Р.</i>					
<i>Консульт.</i>		<i>Сенчишин В</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
						65	6
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		

Основними симптомами теплового та сонячного ударів є загальна слабкість, головний біль, запаморочення, нудота, прискорене серцебиття, підвищення температури тіла, почервоніння шкіри, посилене потовиділення або його відсутність. У тяжких випадках можуть спостерігатися порушення координації рухів, судоми, втрата свідомості, розлади дихання та серцевої діяльності. Температура тіла потерпілого може перевищувати 40 °С, що створює безпосередню загрозу життю людини [14].

При виявленні ознак теплового або сонячного удару необхідно негайно припинити дію несприятливих факторів. Потерпілого слід перемістити у прохолодне затінене місце або добре провітрюване приміщення. Якщо людина перебуває у непритомному стані, необхідно покласти її на бік для запобігання потраплянню блювотних мас у дихальні шляхи.

Важливим заходом допомоги є охолодження організму. Для цього необхідно розстебнути або зняти зайвий одяг, забезпечити доступ свіжого повітря та розпочати поступове охолодження тіла. На голову, ший, пахвові ділянки та область паху можна прикласти змочені холодною водою рушники або інші охолоджувальні компреси. Допускається обтирання тіла прохолодною водою та створення додаткового руху повітря за допомогою вентилятора або інших підручних засобів.

Якщо потерпілий перебуває при свідомості, йому необхідно давати прохолодну воду невеликими порціями. Для відновлення водно-сольового балансу бажано використовувати мінеральну воду або спеціальні регідратаційні розчини. Не рекомендується вживання алкогольних напоїв, міцної кави або енергетичних напоїв, оскільки вони можуть погіршити стан людини.

Особливу увагу слід приділяти контролю життєво важливих функцій потерпілого. Необхідно перевіряти наявність свідомості, дихання та пульсу. У разі їх відсутності потрібно негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію та викликати екстрену медичну допомогу. Навіть якщо стан людини покращився після надання першої допомоги, рекомендується звернутися до медичних

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівників для подальшого обстеження та оцінки можливих наслідків перегрівання [15].

Для запобігання виникненню теплових і сонячних ударів необхідно дотримуватися профілактичних заходів. У спекотний період року слід обмежувати перебування під прямими сонячними променями в найбільш жаркі години доби, використовувати легкий одяг світлих кольорів, носити головний убір та забезпечувати достатнє споживання питної води. Під час виконання фізичної роботи необхідно робити регулярні перерви для відпочинку в прохолодному місці та контролювати стан свого здоров'я.

Отже, тепловий і сонячний удари є небезпечними станами, які можуть призвести до тяжких наслідків для здоров'я людини. Знання основних симптомів перегрівання організму та навичок надання домедичної допомоги дає змогу своєчасно надати допомогу потерпілому, знизити ризик розвитку ускладнень та зберегти життя людини.

4.2 Загальні вимоги безпеки з охорони праці для користувачів ПК

Робота з персональним комп'ютером належить до найбільш поширених видів діяльності в сучасному інформаційному суспільстві. Використання комп'ютерної техніки супроводжує процеси проектування, програмування, оброблення інформації, розроблення програмного забезпечення та виконання науково-дослідних робіт. Під час виконання кваліфікаційної роботи з розроблення комп'ютеризованої системи передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi значна частина часу витрачається на роботу з програмним забезпеченням Android Studio, STM32CubeIDE, системами автоматизованого проектування електронних схем та підготовку технічної документації. Тому важливим є дотримання вимог охорони праці під час роботи з персональним комп'ютером [16, 17].

До роботи з персональним комп'ютером допускаються особи, які пройшли відповідний інструктаж з охорони праці та ознайомлені з правилами

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпечної експлуатації електрообладнання. Перед початком роботи необхідно переконатися у справності комп'ютера, периферійного обладнання, мережевих кабелів, блоків живлення та засобів комутації. Не допускається використання обладнання з пошкодженою ізоляцією, тріщинами корпусу або ознаками перегрівання.

Робоче місце користувача повинно відповідати ергономічним вимогам. Робочий стіл має забезпечувати достатню площу для розміщення монітора, клавіатури, маніпулятора типу «миша», документації та допоміжного обладнання. Робоче крісло повинно бути стійким, мати регулювання висоти сидіння та нахилу спинки, що дозволяє підтримувати правильне положення тіла під час роботи.

Монітор рекомендується розташовувати на відстані 50–70 см від очей користувача. Верхня межа екрана повинна знаходитися приблизно на рівні очей або дещо нижче. Клавіатура повинна розміщуватися таким чином, щоб забезпечувалося природне положення кистей рук, а передпліччя були розташовані горизонтально. Таке розташування обладнання сприяє зменшенню навантаження на шийний відділ хребта, плечовий пояс та кисті рук [16].

Особливу увагу необхідно приділяти параметрам мікроклімату робочого приміщення. Температура повітря повинна підтримуватися в межах від +18 °С до +24 °С, відносна вологість повітря – від 40 % до 60 %, а швидкість руху повітря не повинна перевищувати нормативних значень. Недотримання цих вимог може спричинити швидку втому, погіршення самопочуття та зниження продуктивності праці.

Важливим фактором безпечної роботи є правильна організація освітлення. Відповідно до вимог санітарних норм робоче місце користувача ПК повинно мати достатнє природне або штучне освітлення. Освітленість робочої поверхні повинна становити 300–500 лк. Монітори необхідно розташовувати таким чином, щоб уникнути появи відблисків на екрані та потрапляння прямих сонячних променів у поле зору користувача [18].

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час роботи за комп'ютером необхідно дотримуватися раціонального режиму праці та відпочинку. Тривала безперервна робота призводить до зорової втоми, погіршення концентрації уваги та виникнення статичного навантаження на м'язи спини і шиї. Для зменшення негативного впливу рекомендується через кожні 45–60 хвилин роботи робити короткі перерви тривалістю 5–10 хвилин. Під час перерв доцільно виконувати вправи для очей та елементи виробничої гімнастики.

Для профілактики перевтоми органів зору рекомендується періодично переводити погляд із екрана монітора на віддалені предмети, виконувати кругові рухи очима та частіше моргати. Такі вправи покращують кровообіг і зменшують напруження очних м'язів. Для профілактики захворювань опорно-рухового апарату рекомендується виконувати легкі вправи для м'язів шиї, плечового пояса та спини.

Під час експлуатації комп'ютерної техніки необхідно суворо дотримуватися правил електробезпеки. Забороняється торкатися струмопровідних частин обладнання, виконувати ремонт або підключення пристроїв під напругою, а також використовувати несправні подовжувачі чи мережеві адаптери. Особливої уваги потребують роботи, пов'язані з налагодженням експериментальних електронних пристроїв, макетних плат та джерел живлення, які використовуються під час виконання кваліфікаційної роботи.

У разі виникнення несправностей, появи запаху горілої ізоляції, диму, перегрівання обладнання або сторонніх звуків необхідно негайно припинити роботу та відключити обладнання від електромережі. Про виявлені несправності слід повідомити відповідальну особу та не використовувати обладнання до усунення причин несправності.

Після завершення роботи необхідно правильно завершити роботу програмного забезпечення, вимкнути комп'ютер і периферійне обладнання, відключити живлення експериментальних макетів та привести робоче місце до

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

належного стану. Документацію, носії інформації та інструменти необхідно розмістити у відведених місцях.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час роботи з персональним комп'ютером забезпечує безпечні умови праці, сприяє збереженню здоров'я користувача, підвищує ефективність роботи та зменшує ризик виникнення аварійних ситуацій під час розроблення програмно-апаратних комп'ютеризованих систем.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						70
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi. У процесі виконання роботи отримано такі результати:

1) Проведено аналіз сучасних способів передавання файлів між мобільними пристроями. Встановлено, що більшість існуючих рішень використовують радіочастотний канал зв'язку та мають обмеження, пов'язані з електромагнітними завадами, необхідністю доступу до мережевої інфраструктури або недостатнім рівнем локалізації сигналу.

2) Досліджено принцип роботи технології Li-Fi та особливості використання світлового каналу для передавання цифрових даних. Визначено основні переваги технології, серед яких відсутність навантаження на радіочастотний спектр, локалізація області поширення сигналу та можливість використання в середовищах з обмеженнями на застосування радіозв'язку.

3) Аналіз існуючих комерційних Li-Fi-рішень показав, що більшість із них орієнтована на організацію мережевого доступу через світловий канал та потребує спеціалізованої інфраструктури, що обмежує їх використання для прямого обміну файлами між мобільними пристроями.

4) Розроблено узагальнену структуру комп'ютеризованої системи передачі файлів, яка включає два мобільні пристрої, два приймально-передавальні модулі та оптичний канал зв'язку.

5) Обґрунтовано вибір апаратного забезпечення системи. Для реалізації приймально-передавального пристрою використано мікроконтролер STM32F100RBT6B, світлодіод TDS-P001L4U15 STAR як джерело світлового сигналу, фоторезистор GL5537 як приймач оптичного випромінювання та кварцовий резонатор HC-49S із частотою 8 МГц для забезпечення стабільного тактування.

6) Розроблено електричну принципову схему приймально-передавального пристрою, яка містить вузли живлення 3,3 В та 5 В,

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передавальний тракт на основі світлодіода та транзисторного ключа, приймальний тракт на основі фоторезистора, інтерфейс взаємодії з мобільним пристроєм.

7) Виконано розроблення програмного забезпечення мобільного застосунку для операційної системи Android. Реалізовано режими передавання та приймання файлів, налаштування параметрів пристрою, формування пакетів даних, контроль цілісності інформації та відображення стану роботи системи.

8) Для забезпечення надійності та захисту передавання реалізовано механізм пакетної передачі даних із використанням контрольної суми CRC16 та алгоритму симетричного шифрування RC4.

9) Розроблено алгоритми роботи передавального та приймального модулів системи.

10) Зібрано та налагоджено експериментальний макетний зразок приймально-передавального пристрою, а також розроблено друковану плату для подальшої практичної реалізації системи.

11) Проведено функціональне тестування розробленої системи. Результати випробувань підтвердили коректну роботу всіх основних функцій: налаштування параметрів пристрою, вибору файлів, передачі та приймання даних, контролю ключа безпеки, відновлення переданих файлів і відображення інформації користувачу. Отримані файли успішно відновлювалися та відкривалися штатними засобами операційної системи Android.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Розроблена комп'ютеризована система підтвердила можливість передавання файлів між мобільними пристроями через світловий канал зв'язку з використанням технології Li-Fi та може бути використана як основа для подальших досліджень і вдосконалення оптичних систем бездротового обміну даними.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						72
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. Pathak P.H., Feng X., Hu P., Mohapatra P. Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2015. Vol. 17, No. 4. P. 2047–2077.
3. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів: навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
4. Рожик А.М., Жаровський Р.О. Методи та програмно-апаратні засоби ідентифікації працівників з метою визначення робочого часу та доступу до приміщення. Збірник тез доповідей науково-технічної конференції. Тернопіль : ТНТУ, 2025. С. 45.
5. Ковтун Н., Жаровський Р. Алгоритмічне забезпечення систем виявлення вторгнень. Матеріали XI науково-технічної конференції ТНТУ імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі системи та технології». Тернопіль : ТНТУ, 2023. С. 156.
6. Ковтун Н., Жаровський Р. Аналіз засобів протидії вторгненням і атакам на комп'ютерні системи. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». Тернопіль : ТНТУ, 2023. С. 453–454.
7. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
8. Буров Є.В., Митник М.М., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник. Львів : Новий Світ–2000, 2021. 584 с.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Микитишин А.Г., Стухляк П.Д. Основи телекомунікаційних технологій : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. 256 с.

10. Комарницький М.Я., Кравець Р.Я. Вбудовані комп'ютерні системи : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. 328 с.

11. STMicroelectronics. STM32F100x8/STM32F100xB Datasheet. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f100rb.pdf> (дата звернення: 15.06.2026).

12. STMicroelectronics. STM32F100xx Reference Manual RM0041. URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/cd00246267.pdf (дата звернення: 15.06.2026).

13. Android Developers. Kotlin for Android Developers. URL: <https://developer.android.com/kotlin> (дата звернення: 15.06.2026).

14. Запорожець О. І., Халімовський М. О., Приходько В. В. Безпека життєдіяльності : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 448 с.

15. Ткачишин В. С. Домедична допомога при невідкладних станах : навчальний посібник. Київ : Медицина, 2021. 224 с.

16. Жидецький В. Ц. Охорона праці користувачів комп'ютерів : підручник. Львів : Афіша, 2020. 176 с.

17. Березуцький В. В., Васьковець Л. А., Вершиніна Н. П. Основи охорони праці : навчальний посібник. Харків : Факт, 2020. 480 с.

18. ДСанПіН 3.3.2-007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. Київ : МОЗ України, 1998.

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ФАЙЛІВ МІЖ МОБІЛЬНИМИ
ПРИСТРОЯМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ LI-FI

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 СІс-41

_____ к.т.н., доц. Жаровський Р.О.

_____ Писаревич М. Г.

“ 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'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.271.00.00

1.2 Виконавець

Студент групи СІс-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Писаревич М. Г.

1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету № 4/9-189 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

Проектована комп'ютеризована система призначена для передачі файлів між мобільними пристроями з використанням бездротового оптичного каналу зв'язку на основі технології Li-Fi.

Система повинна забезпечувати вибір файлів на мобільному пристрої, їх підготовку до передачі, шифрування, формування пакетів даних, передавання через світловий канал зв'язку, приймання, перевірку цілісності та відновлення файлів на приймальному пристрої.

2.2 Мета створення системи

Метою створення комп'ютеризованої системи є розроблення програмно-апаратного комплексу для передачі файлів між мобільними

пристроями через світловий канал зв'язку з використанням технології Li-Fi, що забезпечує захист інформації, контроль цілісності даних та можливість автономного обміну файлами.

2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом є процес передачі цифрових файлів між мобільними пристроями за допомогою оптичного каналу зв'язку.

Система використовує мобільні пристрої під керуванням операційної системи Android та спеціалізовані приймально-передавальні модулі, які забезпечують перетворення електричних сигналів у світлові імпульси та зворотне відновлення цифрової інформації.

3 Вимоги до системи

3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна забезпечувати передачу та приймання файлів між мобільними пристроями через Li-Fi-канал зв'язку з контролем цілісності та захистом передаваних даних.

3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До складу системи повинні входити:

- мобільний застосунок Android;
- мікроконтролер;
- світлодіодний передавальний модуль;
- фотоприймальний модуль на основі фоторезистора;
- кварцовий резонатор;
- стабілізатори живлення;
- програмні модулі шифрування та контролю цілісності даних;

– друкована плата приймально-передавального пристрою.

3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи Передавання інформації між мобільним пристроєм та апаратним модулем повинно здійснюватися через аудіоінтерфейс TRRS jack 3.5 мм.

Передавання інформації між приймальним та передавальним модулями повинно здійснюватися через оптичний канал зв'язку шляхом модуляції світлового потоку світлодіода.

Обмін інформацією між програмними компонентами повинен здійснюватися через внутрішні програмні інтерфейси операційної системи Android.

3.1.3 Вимоги до режимів функціонування системи

Система повинна підтримувати такі режими роботи:

- режим передачі файлів;
- режим приймання файлів;
- режим налаштування параметрів;
- режим перевірки ключа безпеки;
- режим контролю цілісності даних;
- режим відображення довідкової інформації.

У разі виникнення помилок передачі або невідповідності ключів безпеки система повинна повідомляти користувача про неможливість встановлення з'єднання.

3.1.4 Вимоги по діагностуванню системи

Система повинна контролювати:

- роботу передавального світлодіодного тракту;
- роботу фотоприймального тракту;
- правильність формування пакетів даних;
- коректність контрольної суми;

- правильність дешифрування даних.

У разі виникнення помилок система повинна відображати відповідні повідомлення користувачу..

3.1.5 Перспективи розвитку, проектування системи

Передбачається можливість:

- підвищення швидкості передачі даних;
- використання фотодіодів замість фоторезисторів;
- реалізації двостороннього Li-Fi-зв'язку;
- інтеграції з мобільними пристроями через USB Type-C;
- розширення підтримуваних форматів файлів.

3.2 Показники призначення

3.2.1 Вимоги до надійності

Система повинна забезпечувати працездатність:

- при тривалій безперервній роботі;
- при коливаннях напруги живлення в допустимих межах;
- при зміні зовнішньої освітленості;
- при короткочасних перериваннях передачі.

Для підвищення надійності повинні використовуватися:

- контрольні суми CRC16;
- службові біти синхронізації;
- перевірка ключа безпеки;
- фільтрація та обробка прийнятого сигналу.

3.3 Вимоги до безпеки

Зовнішні елементи пристрою, що перебувають під напругою, повинні бути захищені від випадкового дотику.

Система електроживлення повинна забезпечувати захист від коротких замикань та перевантажень.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати чинним нормативним документам щодо електронних пристроїв малої потужності.

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

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

- температура повітря в межах від +10°C до +35°C;
- відносна 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 передаваних даних за допомогою алгоритму RC4.

Доступ до приймання файлів повинен здійснюватися лише за умови збігу ключів безпеки передавального та приймального пристроїв.

Система повинна забезпечувати перевірку цілісності отриманої інформації за допомогою CRC16.

3.4.1 Вимоги по стандартизації і уніфікації

Система повинна відповідати вимогам ергономіки та зручності користування.

Програмне забезпечення повинно бути реалізоване з використанням стандартних засобів Android Studio та STM32CubeIDE.

Електрична принципова схема, друкована плата та конструкторська документація повинні бути оформлені відповідно до вимог ЄСКД, ЕСПД та чинних ДСТУ.

4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальну записку;
- структурну схему системи;
- блок-схеми алгоритмів роботи;
- схему електричну принципову;
- макет реалізованої системи;
- результати тестування.

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

5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання КРБ

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «Проектна частинв»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «Практична частина»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	25.06

6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

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

Додаток Б
Перелік елементів

Позн.	Найменування	К-ть	Примітка
	<u>Мікроконтролер</u>		
U1	STM32F100RBT6B	1	
JACK1	Аудіороз'єм jack 3.5 TRRS	1	
D1	TDS-P001L4U15 STAR	1	Світлодіод
Q1	КТ645Б	1	Транзистор
X1	HC-49S, 8 МГц	1	Кварцовий резонатор
	<u>Резистори</u>		
R1	МЛТ-0,125Вт 1,8 кОм (+/-10%)	1	
R2	МЛТ-0,125 22 Ом 0,125 Вт	1	
R3	МЛТ-2 470 Ом (+/-5%)	1	
LDR1	GL5537	1	Фоторезистор
	<u>Конденсатори</u>		
C1, C2	GRM1555C1H560JA01D	2	56 пФ
C3–C6	GRM155C80E225ME15D	4	2,2 мкФ
	<u>Стабілізатори напруги</u>		
U2	LDK220M50R	1	5 В
U3	LD39015M33R	1	3,3 В

					КС КРБ 123.271.00.00 ПЕ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Писаревич М.			Комп'ютеризована система передачі файлів між мобільними пристроями з використанням технології Li-Fi	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевірів		Жаровський Р.					1	1
Реценз.		Дмитроца Л.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІс-41		
Н. Контр.		Тиш Є.В.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						
					Перелік елементів			