

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Освітній рівень

Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу  
LoRa™

Назва теми

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні  
мережі»

Шифр КПТР. 021016.01.17 ПЗ

Виконав: здобувач 4 курсу, група ТР2-21-1



С. О. Лановейчик

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник

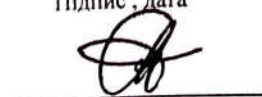


В. І. Стецюк

Підпис, дата

Ініціали, прізвище

Нормоконтроль



В. І. Стецюк

Підпис, дата

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій



С. К. Підченко

Підпис, дата

Ініціали, прізвище

17. 06 2025 р.

Хмельницький 202

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень: бакалавр

Галузь знань: 17 «Електроніка та телекомунікації»  
Шифр і назва

Спеціальність: 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
Шифр і назва

Освітня програма: «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ТМІТ

Підпис, дата 10.02.25р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Лановейчику Сергію Олександровичу

Прізвище, ім'я, по-батькові здобувача

Студент 4 курсу групи ТР2-21-1

1. Тема проєкту: Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa™

Керівник проєкту Стецюк В. І., к.т.н, доцент

Прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 07 лютого 2025 р. № 20

2. Строк подання здобувачем проєкту на кафедру 02.06.2025р.

3. Вихідні дані до проєкту довжина дії 15 км; аераушна здатність від 0,3 до 50 кбіт/с; робота в частоті 868 МГц; швидкість каналу від 125 до 500 кГц





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

вступ; оціню літературних джерел і патентних матеріалів; вибір і техніко-економічне обґрунтування структурної системи; розробка та розрахунок функціональної схеми пристрою

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

1. К.Т.М.Р. 021016.01.17 Е1 - схема електрична структурна
2. К.Т.М.Р. 021016.01.17 Е3 - схема електрична функціональна
3. К.Т.М.Р. 021016.01.17 А3 - схема алгоритму роботи пристрою

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційного проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Стецюк Віктор Іванович		
Антиплагіат	Стецюк Віктор Іванович		

7. Дата видачі завдання 7.02.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
Розробка завдання на кваліфікаційний проект	07.02.2025 р.	виконано
Складання індивідуального плану на кваліфікаційний проект	15.02.2025 р.	виконано
Написання першого (оглядового) розділу	10.03.2025 р.	виконано
Написання другого розділу (структурно-функціональна побудова)	26.03.2025 р.	виконано
Написання третього розділу (розрахунок електричної принципової схеми)	15.04.2025 р.	виконано
Написання четвертого розділу (тестування пристрою та підтвердження працездатності)	30.04.2025 р.	виконано
Написання вступу та загальних висновків до кваліфікаційного проекту	10.05.2025 р.	виконано
Оформлення пояснювальної записки	15.05.2025 р.	виконано
Рецензування кваліфікаційного проекту	20.05.2025 р.	виконано

Представлення графічних матеріалів та пояснювальної записки на захист	28.05.2025 р.	виконано
-----------------------------------------------------------------------	---------------	----------

Здобувач



Підпис

С. О. Лановейчик

Ініціали, прізвище

Керівник проекту



Підпис

В. І. Стецюк

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

**Тема кваліфікаційного проекту:** Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa

**Автор проекту:** Лановейчик Сергій Олександрович

**Керівник проекту:** к.т.н, доцент Стецюк Віктор Іванович

**Пояснювальна записка:** 84 сторінок, 6 рисунків, 9 таблиць, 25 джерел.

**Графічна частина:** 2 плакати, 15 слайдів презентації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** LORA, ТРИВОЖНА КНОПКА, БЕЗДРОТОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МІКРОКОНТРОЛЕР ESP32.

*Метою кваліфікаційного проекту є розробка компактного, автономного пристрою тривожного виклику на базі бездротової технології LoRa, що забезпечує передачу сигналу на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні.*

Проект містить чотири основні розділи. Проведено аналітичний огляд сучасних технологій бездротового зв'язку, розглянуто існуючі рішення на ринку та обґрунтовано вибір апаратної платформи.

На основі аналітичного огляду літературних джерел та патентних матеріалів, аналізу існуючих вітчизняних та зарубіжних аналогів, обґрунтовано вибір пристрою-прототипу.

Принципова електрична схема реалізована з використанням сучасної елементної бази: мікроконтролера ESP32, LoRa-модуля SX1276, індикаційних елементів, кнопки виклику та автономного живлення від акумулятора 18650. В схемі передбачено режими енергозбереження, зовнішню антену, фільтрацію живлення та інші функціональні вузли. Особливістю пристрою є висока автономність (до 6–9 місяців без підзарядки), стабільна робота в умовах перешкод, простота у виготовленні та масштабованість.



С.

О.

Лановейчик

Ініціали, прізвище здобувача

Підпис, дата

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кільк.		Примітка
				Кільк.	№ екз.	
			<b>Документація загальна</b>			
1	A4		Завдання на дипломний проект	1	1	
2	A4		Анотація	1	1	
3	A4	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Пристрій тривожного виклику на базі LoRa			
			Пояснювальна записка	1	1	94 арк.
4	A4	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Пристрій тривожного виклику на базі LoRa			
			ПЕ	1	1	2 арк.
			<b>Документація графічна</b>			
5	A1	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Пристрій тривожного виклику на базі LoRa			
			Структурна схема пристрою виклику	1	1	
6	A1	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Пристрій тривожного виклику на базі LoRa			
			Схема електрична принципова	1	1	
7	A1	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Пристрій тривожного виклику на базі LoRa			
			Схема електрична з'єднань	1	1	
8	A1	Плакат 1	Блок-схема алгоритму роботи пристрою	1	1	
9	A1	Плакат 2	Тестування пристрою та результати випробувань	1	1	
			КПТР. 021016.01.17 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa. ХНУ, гр. ТР2-21-1	
Розроб.		Лановейчик С. О.		10.06		
Перевір.		Стецюк В. І.		16.06.21		
Н.контр.		Стецюк В. І.		16.06.21		
Затв.		Підченко С. К.		16.06.21	Задомість дипломного проекту	
				Лім.	Аркуш	Аркушів
				н	5	84

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	11
1.1. Аналіз сучасного стану бездротових систем передачі даних.....	11
1.2. Особливості та принципи роботи технології LoRa.....	15
1.3. Огляд існуючих пристроїв виклику на базі LoRa.....	18
1.4. Вибір прототипу або найбільш релевантного технічного рішення.....	21
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	24
2 ВИБІР І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ.....	27
2.1. Постановка задачі та загальні вимоги до пристрою виклику.....	27
2.2. Розробка структурної схеми пристрою на базі LoRa.....	29
2.3. Вибір компонентів системи та порівняльний аналіз.....	32
2.4. Техніко-економічне обґрунтування обраної структури системи.....	37
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	41
3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ.....	43
3.1. Мікроконтролер та периферійні елементи.....	43
3.2. Блок живлення та керування енергоспоживанням.....	47
3.3. Порівняння ефективності розробленого пристрою з аналогічними рішеннями.....	53
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	55

					<b>КПТР. 021016.01.17 ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Лановейчик С.О.		10.06		6	84
Перевір.		Стецюк В. І		16.06.21	Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa		
Н. контр.		Стецюк В. І		18.06.21	Пояснювальна записка		
Затв.		Підченко С. К.		17.06.21	ХНУ, гр. TP2-21-1		



## ВСТУП

У наш час технології бездротового зв'язку стають невід'ємною частиною повсякденного життя, забезпечуючи зв'язок у найрізноманітніших сферах діяльності. Одна з таких інноваційних технологій – LoRa (Long Range) – є одним із основних представників LPWAN (Low Power Wide Area Network) мереж. Вона забезпечує передачу даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням, що робить її ідеальним вибором для різних бездротових пристроїв, у тому числі і для пристроїв виклику, які застосовуються в медичних установах, на виробництвах і в інших галузях, де важлива дальність передачі та енергетична ефективність.

Однією з важливих областей застосування цієї технології є створення ефективних і доступних систем виклику. У випадку медичних закладів або інших сфер, де люди мають потребу у швидкому реагуванні на різноманітні ситуації (наприклад, в екстрених ситуаціях), важливо мати систему, яка забезпечить зв'язок на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні. Технологія LoRa, завдяки своїм перевагам, є ідеальним рішенням для таких задач.

Метою даного дипломного проєкту є розробка пристрою виклику на основі модуля LoRa, що забезпечить ефективний зв'язок на великі відстані та з низьким споживанням енергії. Це дозволить значно знизити витрати на енергопостачання та забезпечить безперервну роботу системи виклику, що є критично важливим для застосувань у віддалених або обмежених умовах.

Основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі технології бездротового зв'язку і вибрати LoRa як оптимальне рішення для системи виклику.
2. Розробити техніко-економічне обґрунтування вибору LoRa-модуля і розробити структуру системи виклику. Описати принципову схему пристрою, включаючи вибір компонентів та їх взаємодію.
3. Розробити програмне забезпечення для управління пристроєм та реалізувати алгоритм передачі сигналу виклику.
4. Проаналізувати ефективність запропонованої системи виклику і оцінити її переваги у порівнянні з іншими технологіями.

Проблема ефективної організації зв'язку на великих відстанях є актуальною для різних галузей. Наприклад, в охороні здоров'я, на виробничих об'єктах або в розподілених системах управління важливо мати надійний засіб для передачі сигналів виклику. Однак, в умовах обмежених ресурсів або великих відстаней зв'язок через традиційні технології може бути економічно недоцільним через високе енергоспоживання та вартість обладнання. Технології на основі LoRa вирішують ці проблеми, забезпечуючи надійний зв'язок на великих відстанях при мінімальних витратах енергії.

Зростаюча популярність LoRa в останні роки зумовлена її ефективністю для бездротових систем, що працюють у віддалених умовах. Система має велику перспективу для застосування в різних галузях, включаючи міські системи, сільське господарство, енергетику, транспорт, а також у сфері безпеки та охорони здоров'я. Модуль LoRa є доступним, простим у використанні і дозволяє інтегрувати бездротові технології в будь-які інфраструктури.

Розробка пристрою виклику на основі LoRa має величезне практичне значення. Такий пристрій дозволить значно полегшити зв'язок у складних умовах, де традиційні методи зв'язку є малоефективними або економічно не вигідними. Завдяки можливості передачі даних на великі відстані та низькому енергоспоживанню, система виклику, що використовує технологію LoRa, є ідеальним рішенням для організації зв'язку в медичних закладах, на великих виробничих об'єктах, а також у віддалених районах, де іншого зв'язку немає або він має великі витрати на обслуговування.

# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

## 1.1. Аналіз сучасного стану бездротових систем передачі даних

Сучасні бездротові технології стали основою розвитку телекомунікацій, Інтернету речей (IoT), систем безпеки, автоматизації та інших галузей. Із зростанням попиту на мобільність, автономність та масштабованість, з'явилася потреба у нових підходах до організації передачі даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні.

Одним із основних напрямків розвитку є LPWAN (Low Power Wide Area Networks) – мережі з низькою швидкістю, великою зоною покриття та мінімальним споживанням енергії. До таких технологій належать LoRa, NB-IoT, Sigfox, Weightless тощо.

Серед основних технологій LPWAN виділяються наступні:

- NB-IoT (Narrowband IoT) – технологія, що працює в ліцензованих діапазонах операторів стільникового зв'язку. Висока щільність підключень, середнє енергоспоживання, прив'язаність до інфраструктури оператора.
- Sigfox – наднизьке енергоспоживання, малі пакети (до 12 байт), велика дальність, але надзвичайно низька пропускна здатність.
- LoRa (Long Range) – працює у вільних діапазонах, підтримує приватні мережі, має високу дальність і гнучкість у налаштуванні параметрів передачі.

Нижче наведено порівняльну таблицю основних характеристик зазначених технологій (Таблиця 1.1).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КІПТР. 021016.01.17 ПЗ		
Розроб.		Лановейчик С.О.		10.08.25	Літера	Аркуш	Аркуші
Перевір.		Стецюк В. І		16.08.25		11	84
Н. контр.		Стецюк В. І		16.08.25	ХНУ, гр. ТР2-21-1		
Затв.		Підченко С. К.					
					Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa		
					Пояснювальна записка		

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика технологій LPWAN

Технологія	Дальність передачі	Пропускна здатність	Енергоспоживання	Тип мережі
LoRa	до 15 км	до 50 кбіт/с	Дуже низьке	Приватна / Публічна
NB-IoT	до 10 км	до 250 кбіт/с	Низьке	Публічна
Sigfox	до 50 км	до 100 біт/с	Наднизьке	Публічна
Zigbee	до 100 м	до 250 кбіт/с	Середнє	Локальна
Wi-Fi	до 100 м	до 1 Гбіт/с	Високе	Локальна

*Джерело: складено автором на основі відкритих технічних специфікацій [1, 2].*

Як видно з таблиці, LoRa вирізняється своєю гнучкістю у використанні: вона дозволяє створювати як публічні, так і приватні мережі, забезпечує стабільну передачу даних на великі відстані та є однією з найбільш енергоефективних. Саме це робить LoRa одним із найперспективніших рішень для створення пристроїв виклику, особливо у віддалених районах та в умовах обмеженого живлення.

Згідно з аналітичними прогнозами, до 2030 року понад 60% IoT-пристроїв використовуватимуть саме LPWAN-мережі, з яких LoRa матиме найвищу частку завдяки доступності, простоті реалізації та підтримці спільнотою розробників.

Таким чином, на фоні загального розвитку бездротових технологій, саме LoRa виявляється найбільш доцільною для побудови автономних пристроїв виклику, що потребують великої дальності, енергоефективності та стабільного функціонування.

Історія розвитку бездротового зв'язку розпочинається з передачі радіосигналів на короткі відстані, але з роками технології трансформувалися у надзвичайно потужні інструменти.



2. Гнучкість у конфігурації параметрів передачі (Spreading Factor, Bandwidth, Coding Rate).

3. Простота в реалізації. Модулі LoRa мають готові бібліотеки для Arduino, STM32, ESP32, Raspberry Pi, що робить їх зручними для швидкого прототипування.

4. Сумісність з LoRaWAN. Хочеш – працюєш точка-точка, хочеш – підключаєш до мережі типу The Things Network.

Окремо варто зазначити наявність величезної екосистеми готових пристроїв – кнопки виклику, трекери, датчики температури, вологості, CO<sub>2</sub>, тривожні кнопки, GPS-маячки – все вже або є в продажу, або легко виготовляється на базі LoRa-модуля.

Сфери використання LoRa сьогодні:

- агропромисловість: моніторинг стану ґрунту, вологи, температури;
- міська інфраструктура: смарт-лічильники води/газу, паркомати, освітлення;
- безпека: тривожні кнопки, сповіщення про пожежу або проникнення;
- медицина: виклик медперсоналу, трекери пацієнтів, носимі пристрої;
- виробництво: контроль техніки, виклик обслуговування, логістика.

Можна впевнено стверджувати, що серед усіх сучасних бездротових технологій, саме LoRa забезпечує найкращий компроміс між дальністю, автономністю, енергоефективністю і гнучкістю. У випадку проектування пристрою виклику – тобто де потрібно мати максимальну надійність зв'язку, мінімальне енергоспоживання та автономність – вибір LoRa є обґрунтованим як з технічної, так і з економічної точки зору.

Саме тому більшість сучасних прототипів тривожних кнопок, викликів медсестри, охоронних систем для приватних домогосподарств або

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						15

сільськогосподарських об'єктів будуються на основі LoRa, і ця тенденція лише зростає.

## 1.2. Особливості та принципи роботи технології LoRa

Технологія LoRa (Long Range) є запатентованою розробкою компанії Semtech і належить до класу LPWAN. Її головною перевагою є здатність передавати дані на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні, що досягається завдяки використанню методу спектрального розширення з частотною модуляцією (Chirp Spread Spectrum – CSS).

Основні характеристики LoRa:

- робота в неліцензованих частотних діапазонах: 868 МГц (Європа), 915 МГц (США), 433 МГц (Азія);
- дальність зв'язку: до 15 км у сільській місцевості та 2–5 км у міських умовах;
- стійкість до завад: завдяки використанню CSS, LoRa успішно працює навіть у зашумленому ефірі;
- пропускна здатність: змінюється в залежності від налаштувань і коливається від 0.3 до 50 кбіт/с;
- динамічне налаштування параметрів передачі, що дозволяє оптимізувати дальність та швидкість залежно від умов середовища.

У центрі технології лежить модуляція CSS, яка передбачає передачу інформації через спеціальні «чирп-сигнали». Вони змінюють свою частоту протягом передачі пакету, що дає змогу легко виділити їх на фоні завад.

Передача відбувається в каналі з шириною від 125 до 500 кГц. Сигнал поширюється повільно, що дозволяє точно декодувати дані, навіть коли вони зазнають значного згасання або перекриваються іншими сигналами.

Основні параметри LoRa, які впливають на її поведінку:

- Spreading Factor (SF) – показує кількість бітів, що кодуються одним символом. Варіюється від 7 до 12.
- Bandwidth (BW) – ширина каналу, зазвичай 125, 250 або 500 кГц.
- Coding Rate (CR) – коефіцієнт надлишкового кодування для корекції помилок, зазвичай від 4/5 до 4/8.

Для оцінки часу передачі одного пакету (Time-on-Air) використовується наступна формула:

$$T_{packet} = T_{preamble} + T_{payload}$$

де:

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4.25) \cdot T_{sym}$$

$$T_{payload} = T_{sym} \cdot N_{payload}$$

$$T_{sym} = \frac{2^{SF}}{BW}$$

де:

- $T_{sym}$  – тривалість одного символу

SF – spreading factor

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						17

- BW – ширина смуги
- $n_{\text{preamble}}$  – кількість преамбул (зазвичай 8)
- $N_{\text{payload}}$  – кількість символів у навантаженні

Наприклад, для SF = 10, BW = 125 кГц, час одного символу буде:

$$T_{\text{sym}} = \frac{2^{10}}{125000} \approx 8.2 \mu\text{с}$$

Це означає, що навіть маленький пакет даних може передаватись сотні мілісекунд, але при цьому використовувати мінімальну енергію, що й робить LoRa таким ефективним для IoT.

Технологія LoRa може використовуватись як для прямого з'єднання пристроїв (P2P), так і в складі LoRaWAN – відкритого мережевого протоколу для масштабованих багатокористувацьких систем.

Архітектура LoRaWAN включає такі компоненти:

1. End Device – датчик, виконавчий пристрій або тривожна кнопка.
2. Gateway – приймає сигнали з пристроїв і передає їх через інтернет до сервера.
3. Network Server – обробляє отримані дані, проводить аутентифікацію, маршрутизацію.
4. Application Server – кінцева точка, що працює з даними (наприклад, сповіщення користувача).

Кожен пристрій в мережі має унікальний DevEUI, а обмін даними здійснюється із шифруванням AES128.

Однією з крутих фішок LoRaWAN є ADR – Adaptive Data Rate. Це механізм, який дозволяє динамічно змінювати SF та потужність передавача,

залежно від якості каналу.	Якщо пристрій знаходиться близько до шлюзу – SF	RF: 024016.01.17.113
		18



### 1.3. Огляд існуючих пристроїв виклику на базі LoRa

На сучасному ринку представлено велику кількість пристроїв виклику, розроблених із використанням LoRa або LoRaWAN. Вони використовуються в медичних установах, промисловості, логістиці, охороні та сільському господарстві. Завдяки довгій дальності зв'язку та мізерному споживанню енергії, LoRa ідеально підходить для створення автономних викличних систем, особливо там, де немає традиційної інфраструктури або вона ненадійна.

До найпоширеніших рішень належать:

- тривожні кнопки для персоналу або пацієнтів;
- кнопки виклику технічного обслуговування на виробництві;
- маячки виклику допомоги для людей похилого віку;
- викличні пристрої у системах охорони або в логістичних центрах;
- носимі брелоки або трекери з кнопкою SOS.

Багато з таких рішень уже випускаються серійно та інтегруються в великі мережеві платформи, наприклад The Things Network (TTN), ChirpStack або Helium.

Приклади реальних LoRa-пристроїв виклику:

1. Milesight WS101 – бездротова кнопка виклику з підтримкою LoRaWAN. Має захист IP30, живиться від батарейки, працює до 5 років без заміни живлення. Може використовуватись для виклику персоналу або надсилання сигналу тривоги.

2. Adeunis Dry Contacts Transmitter – дозволяє підключити зовнішні тривожні кнопки та перетворити їх у повноцінні LoRa-пристрої. Підтримує стандарт LoRaWAN, має кілька режимів роботи та енергонезалежну пам'ять.

3. Netvox R311A – кнопка виклику з компактним корпусом, живиться від літєвої батареї, використовує LoRaWAN. Має підтримку декількох натискань з різною дією: коротке натискання – стандартний виклик, довге – сигнал SOS.

4. RAK7201 Button – компактний пристрій з модулем LoRa, підтримує до 10 тисяч натискань. Використовується в логістиці, охороні, готельному сервісі (виклик покоївки або техпрацівника).

5. LilyGo T-Beam – плата на ESP32 з LoRa-модулем і GPS. Часто використовується для створення кастомних кнопок виклику, маячків трекінгу або персональних SOS-рішень.

Окрім готових комерційних девайсів, LoRa активно використовується ентузіастами для створення власних систем виклику.

Переваги DIY-рішень:

- гнучкість у налаштуванні функціоналу;
- повна автономія від сторонніх серверів;
- дешевизна (вартість одного LoRa-модуля – \$3–5);
- можливість інтеграції додаткових сенсорів або логіки.

Найчастіше DIY-проекти базуються на:

- Heltec WiFi LoRa 32 – плата на ESP32 з дисплеєм та LoRa, використовується для побудови складніших пристроїв (виклик + дисплей);
- RFM95 + Arduino – базовий варіант для побудови простої кнопки виклику або трекера;
- TTGO T-Call + LoRa – поєднання GSM та LoRa, що дозволяє надсилати виклик одночасно через два канали (резервування);

– Lora32u4 II – компактна плата з мікроконтролером і LoRa, придатна для розміщення в брелоках або кишнях.

Таблиця 1.3 – Аналіз функціональних можливостей

Модель пристрою	Протокол	Автономність	Додаткові функції	Ціна (USD)
Milesight WS101	LoRaWAN	до 5 років	Індикатор натискання	~35
Netvox R311A	LoRaWAN	до 3 років	Подвійне натискання	~30
RAK7201 Button	LoRaWAN	до 2 років	Багатофункціональна кнопка	~25
LilyGo T-Beam	P2P / DIY	залежить	GPS, Bluetooth, OLED	~18
Heltec LoRa 32 WiFi	P2P	залежить	Дисплей, USB, WiFi	~15

*Джерело: складено автором за даними офіційних сайтів виробників.*

На сьогодні існує великий вибір як готових, так і кастомних рішень для реалізації пристроїв виклику на основі LoRa. Комерційні пристрої підходять для масового використання і легко інтегруються в існуючі LoRaWAN-мережі. Водночас DIY-рішення відкривають широкі можливості для індивідуальної адаптації та масштабування. Обидва підходи демонструють ефективність, економічність та надійність, що підтверджує доцільність використання LoRa в системах виклику.

#### **1.4. Вибір прототипу або найбільш релевантного технічного рішення**

Після аналізу існуючих пристроїв виклику, розгляду апаратних платформ та протоколів, необхідно зробити обґрунтований вибір технічного рішення, яке буде базою для реалізації даного проєкту. Головні критерії вибору:

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						22

енергоспоживання, простота розробки, вартість, масштабованість, стабільність зв'язку.

### Критерії порівняння платформ

Перед вибором апаратної бази було сформульовано перелік вимог до майбутнього пристрою:

- підтримка модуля LoRa з частотою 868 МГц;
- наявність енергоефективного режиму (sleep mode);
- можливість живлення від батарейки 3.7 В;
- компактні розміри;
- легкість у розробці програмного забезпечення;
- вартість плати – до \$10.

Для аналізу було розглянуто кілька популярних варіантів мікроконтролерів із вбудованим LoRa або з можливістю його підключення:

1. Arduino Uno + модуль RFM95
2. ESP32 + LoRa-модуль (Heltec / LilyGo)
3. STM32L072 + SX1276
4. Lora32u4 v2 (Adafruit Feather)
5. Heltec WiFi LoRa 32 (v2)

Таблиця 1.4 – Порівняння варіантів за характеристиками

Платформа	Підтримка LoRa	Споживання в sleep	Ціна (USD)	Простота розробки	Габарити
Arduino Uno + RFM95	+	~50 мкА	~12	дуже висока	великі
ESP32 + LoRa (Heltec)	+	~10–20 мкА	~8	висока	середні
STM32L072	+	<2 мкА	~15	середня	малі
			КІТР. 021016.01.17 ПЗ		

+ SX1276					
Lora32u4 v2	+	~5 мкА	~13	висока	компактні
Heltec LoRa 32 v2	+	~10–20 мкА	~9	дуже висока	середні

*Джерело: складено автором за технічними характеристиками з офіційних сайтів.*

Зважаючи на те, що проектом передбачається розробка пристрою виклику, що працює автономно, без постійного підключення до джерела живлення, пріоритет надається рішенням із мінімальним енергоспоживанням і підтримкою Low Power режимів. Разом з тим, важливо забезпечити просту розробку прошивки, щоб пришвидшити реалізацію прототипу.

На основі аналізу було прийнято рішення використовувати Heltec WiFi LoRa 32 v2, оскільки вона:

- має вбудований модуль LoRa (SX1276) на частоту 868 МГц;
- підтримує WiFi (опціонально – наприклад, для налаштувань або оновлень);
- працює на базі ESP32 – потужного і добре підтримуваного контролера;
- має зручну бібліотеку LoRa від Heltec + підтримку Arduino IDE;
- підтримує sleep mode з низьким енергоспоживанням (~10 мкА);
- має доступний дисплей OLED (0.96”), який можна використати для індикації стану (опціонально).

Також перевагою цього модуля є широка спільнота та велика кількість прикладів реалізацій, що дозволить скоротити час розробки та зосередитись на унікальній логіці пристрою.

Розроблений пристрій виклику на основі Heltec LoRa 32 буде працювати у наступному режимі:



технічну перевагу NB-IoT у пропускній здатності та інтеграції з мобільними операторами, а також виняткову енергоефективність Sigfox, саме LoRa вирізняється найкращим балансом між дальністю, автономністю, енергоспоживанням і гнучкістю у впровадженні. Однією з ключових переваг LoRa є можливість побудови приватних мереж, що робить її незалежною від мобільних операторів і дозволяє розгорнути системи в будь-яких регіонах, зокрема в сільській місцевості або на віддалених об'єктах.

Виконаний огляд підтвердив, що технологія LoRa є найперспективнішою для реалізації пристроїв виклику, які мають працювати в умовах обмеженого або повністю автономного живлення. Застосування спектрального розширення на базі частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum) забезпечує стійкість до завад, а широкий діапазон налаштувань (Spreading Factor, Bandwidth, Coding Rate) дозволяє гнучко адаптувати систему під потреби конкретного застосування. Оцінка технічних характеристик показала, що дальність зв'язку в сільській місцевості може досягати 10–15 км, що робить LoRa надзвичайно привабливою для моніторингових і сигнальних систем.

Окрему увагу було приділено аналізу архітектури LoRaWAN, як масштабованого протоколу побудови багатокористувацьких мереж. Було розглянуто складові мережі: кінцеві пристрої (End Devices), шлюзи (Gateways), мережевий сервер (Network Server) та прикладний сервер (Application Server), які забезпечують повну інфраструктуру для обміну даними між пристроями та кінцевими користувачами. Визначено роль механізму ADR (Adaptive Data Rate), який оптимізує параметри зв'язку в режимі реального часу, що дозволяє зменшити час передачі пакету та, відповідно, зменшити енергоспоживання.

У межах огляду також було проведено аналіз реальних пристроїв виклику, що вже представлені на ринку. Серед них – комерційні рішення (Milesight WS101, Netvox R311A, RAK7201 Button) та DIY-платформи (Heltec WiFi LoRa 32, LilyGo T-Beam, Lora32u4 II), кожне з яких має свої переваги та

особливості. Комерційні моделі відзначаються високим ступенем надійності, захисту й інтеграції з хмарними сервісами, натомість DIY-платформи забезпечують високу адаптивність, гнучкість налаштувань, низьку собівартість та відкритість коду. Такий підхід дозволяє розробникам враховувати індивідуальні вимоги до логіки роботи пристрою, типу живлення, інтерфейсів керування, варіантів індикації тощо.

Виконано детальний аналіз апаратних платформ, які можуть слугувати базою для побудови пристрою виклику. До порівняння було включено Arduino Uno + RFM95, ESP32 + LoRa-модуль, STM32L072 + SX1276, Lora32u4 II та Heltec WiFi LoRa 32 V2. У результаті з'ясовано, що найбільш збалансованим варіантом є Heltec WiFi LoRa 32 V2, який поєднує у собі сучасний мікроконтролер ESP32, вбудований модуль LoRa SX1276, OLED-дисплей, USB-інтерфейс та підтримку низького енергоспоживання. Це рішення забезпечує не лише функціональність, а й ергономічність, компактність та простоту розробки.

Сформульовано чіткі критерії вибору технічного рішення: підтримка частоти 868 МГц, енергоефективність, автономність, наявність дисплея (за потреби), низька вартість, підтримка бібліотек Arduino IDE та можливість роботи з LoRaWAN або у форматі точка-точка (P2P). Heltec WiFi LoRa 32 V2 повністю відповідає всім цим критеріям, а наявність великої спільноти розробників та кількість реалізованих рішень на її базі підтверджує стабільність і практичну перевіреність обраної платформи.

Таким чином, у результаті проведеного аналітичного огляду можна дійти висновку, що технологія LoRa є найбільш обґрунтованим вибором для побудови пристроїв виклику з автономним живленням. Її технічні характеристики дозволяють реалізувати довготривалу роботу пристрою без підзарядки, забезпечити стійкий зв'язок на великій відстані та мінімізувати

втрата енергії	У свою чергу, використання апаратної платформи Heltec WiFi	КІПІІ: 021016.01.17113	27

LoRa 32 V2 дає змогу швидко перейти до практичної реалізації пристрою, забезпечити гнучку інтеграцію та спростити розробку програмного забезпечення. Все це створює міцну основу для переходу до наступних етапів проєкту – розробки електричної принципової схеми, конструювання та програмної реалізації пристрою виклику нового покоління.

## 2 ВИБІР І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ

### 2.1. Постановка задачі та загальні вимоги до пристрою виклику

У сучасних умовах зростає потреба у створенні автономних, надійних та доступних систем виклику, здатних працювати в умовах обмеженого доступу до енергоживлення, мобільного зв'язку або Wi-Fi. Пристрої виклику на основі LoRa відкривають можливість впровадження таких рішень у сільській місцевості, на виробництвах, в медичних установах або на об'єктах, де необхідно забезпечити просту, швидку і безпечну передачу сигналу тривоги чи виклику.

Система виклику має бути універсальною та гнучкою. У загальному вигляді вона повинна задовольняти такі сценарії:

- виклик медичного персоналу з палат у лікарнях;
- тривожна кнопка для літніх людей, які проживають самотійно;
- виклик технічного працівника у виробничих цехах;
- екстрений сигнал про загрозу чи аварійну ситуацію;
- виклик на охоронний пульт у разі проникнення.

Ключовою особливістю системи є здатність працювати в автономному режимі, без постійного живлення або підключення до централізованих мереж, що досягається за рахунок використання енергоефективного мікроконтролера та LoRa-зв'язку.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КПТР. 021016.01.17 ПЗ		
Розроб.		Лановейчик С.О.		10.06.25	Літера	Аркуш	Аркуші
Перевір.		Стецюк В. І		16.06		27	84
Н. контр.		Стецюк В. І		15.06	ХНУ, зр. ТР2-21-1		
Зате.		Підченко С. К.			Пояснювальна записка		

Для забезпечення ефективної та стабільної роботи пристрою виклику формулюються наступні вимоги:

- підтримка передачі LoRa-сигналу з радіусом дії до 5–10 км; робота від акумулятора або батарейки протягом не менше 6 місяців без підзарядки;
- миттєва реакція на натискання кнопки виклику (затримка не більше 1 с);
- можливість візуального підтвердження активації (LED або OLED-індикація);
- унікальний ідентифікатор пристрою в пакеті даних для ідентифікації на шлюзі;
- захищене кріплення корпусу (настінний монтаж або носимий формат);
- компактні габарити, зручні для щоденного використання.

Окрім основних функцій, система повинна задовольняти й низку нефункціональних вимог:

- енергоефективність (режим сну з енергоспоживанням  $<20$  мкА);
- робота в широкому температурному діапазоні (від  $-10$  до  $+50$  °С);
- використання надійних і недорогих компонентів;
- можливість масштабування мережі до десятків пристроїв;
- підтримка OTA-оновлень (за потреби);
- вартість одного пристрою – не більше 500 грн у базовій версії.

На основі описаних задач та вимог було сформовано попередню структуру системи виклику:

- Кнопка виклику з LoRa-модулем – автономний пристрій, який генерує повідомлення при натисканні кнопки;
- LoRa-шлюз (gateway) – приймає LoRa-повідомлення і передає їх через інтернет до сервера або сповіщення;

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						30

- Сервер або мобільний застосунок – приймає, обробляє повідомлення, виводить повідомлення на екран чи надсилає SMS/Push;
- Живлення – літєвий акумулятор з можливістю заряджання або заміни.

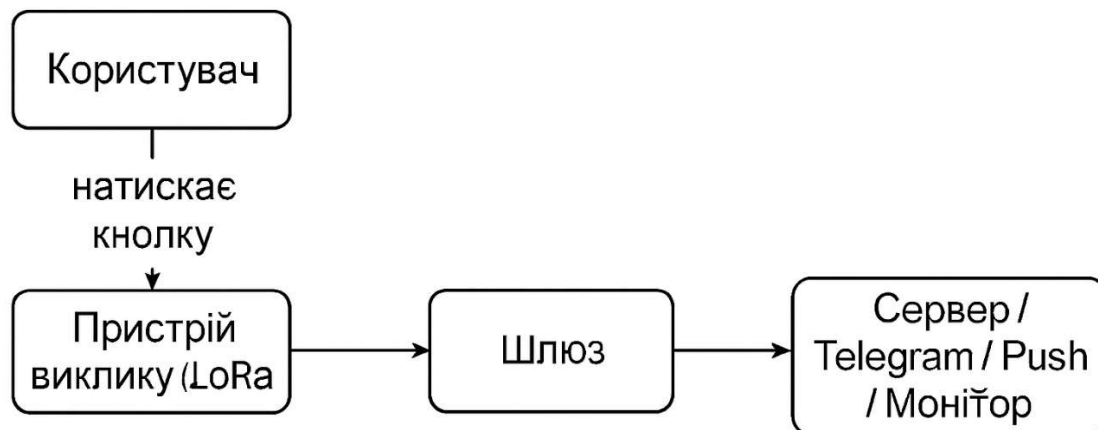


Рисунок 2.1 – Діаграма задачі

Кожен блок системи повинен бути реалізований з урахуванням принципів енергоефективності, стабільності зв'язку та низької вартості виробництва. В подальших підрозділах буде проведено деталізацію структури, вибір компонентів та економічне обґрунтування обраного рішення.

## 2.2. Розробка структурної схеми пристрою на базі LoRa

Розробка структурної схеми є одним із ключових етапів у процесі проектування будь-якого електронного пристрою. Саме на цьому етапі визначається склад елементів, логіка їхньої взаємодії та принципова топологія майбутньої системи.

У випадку розробки пристрою виклику на базі LoRa необхідно забезпечити взаємодію між користувачем, LoRa-модулем, мікроконтролером, блоком живлення та засобами індикації або сповіщення.

Система, що розробляється, має забезпечити виконання двох основних функцій: прийом команди (натискання кнопки) від користувача та передача цієї події через бездротову мережу LoRa до шлюзу, з подальшим сповіщенням на мобільний пристрій або сервер. Тобто, мова йде про односторонню передачу події, що дозволяє мінімізувати навантаження на канал зв'язку та енергоспоживання пристрою.

Обрана апаратна платформа – Heltec WiFi LoRa 32 V2, яка є оптимальним рішенням для побудови енергоефективного передавача. Вона поєднує в собі контролер ESP32 та модуль LoRa SX1276, що забезпечує як високу гнучкість у програмуванні, так і стабільну бездротову передачу на відстань до 10 км (в умовах прямої видимості).

До складу структурної схеми входять наступні основні блоки: мікроконтролер із LoRa-модулем, кнопка виклику, блок живлення, система індикації (опціонально OLED або LED), а також засоби захисту та стабілізації живлення. Кожен з цих елементів виконує визначену функцію і має бути інтегрований таким чином, щоб забезпечити мінімальне енергоспоживання у режимі очікування та стабільну роботу при активації.

Мікроконтролер керує усіма процесами, здійснює ініціалізацію модуля LoRa, обробляє події від кнопки та формує пакет даних для передачі. У режимі сну він споживає мінімальну кількість енергії. Пробудження відбувається за сигналом від кнопки, після чого мікроконтролер ініціює передавання повідомлення. Після завершення передачі пристрій знову переходить у режим сну.

Кнопка виклику є тригером події. Це звичайна кнопка типу «push-to-make», яка з'єднана з одним із цифрових входів контролера. Для зменшення помилкових спрацювань можливе програмне або апаратне debounce-фільтрування. У більш просунутих варіантах можливе використання декількох типів натискання (коротке, довге, подвійне).

Живлення пристрою реалізоване через літійовий акумулятор 3.7 В (типу 18650 або Li-Po). Через вбудований стабілізатор напруга понижується до робочого рівня мікроконтролера (3.3 В). Крім того, можливе використання схем автоматичного відключення живлення при досягненні критичного рівня заряду. Також доцільно додати захист від перенапруги та короткого замикання.

Система індикації може бути реалізована у вигляді світлодіода або OLED-дисплея. Світлодіод сигналізує користувачу про успішну активацію виклику. У разі наявності дисплея можливий вивід поточного статусу, номера пристрою або стану акумулятора. Проте, варто враховувати, що будь-яка індикація збільшує споживання енергії, тому вона або відключається у режимі сну, або працює лише короткий проміжок часу.

LoRa-модуль SX1276 інтегрований у плату Heltec і забезпечує передачу інформації по радіоканалу. Усі параметри – частота, потужність, spreading factor, ширина смуги – налаштовуються програмно. Для зменшення енергоспоживання важливо дотримуватись мінімально допустимих значень потужності та тривалості передачі.

Усі компоненти об'єднуються в єдину логічну схему, яка представлена на рисунку нижче.

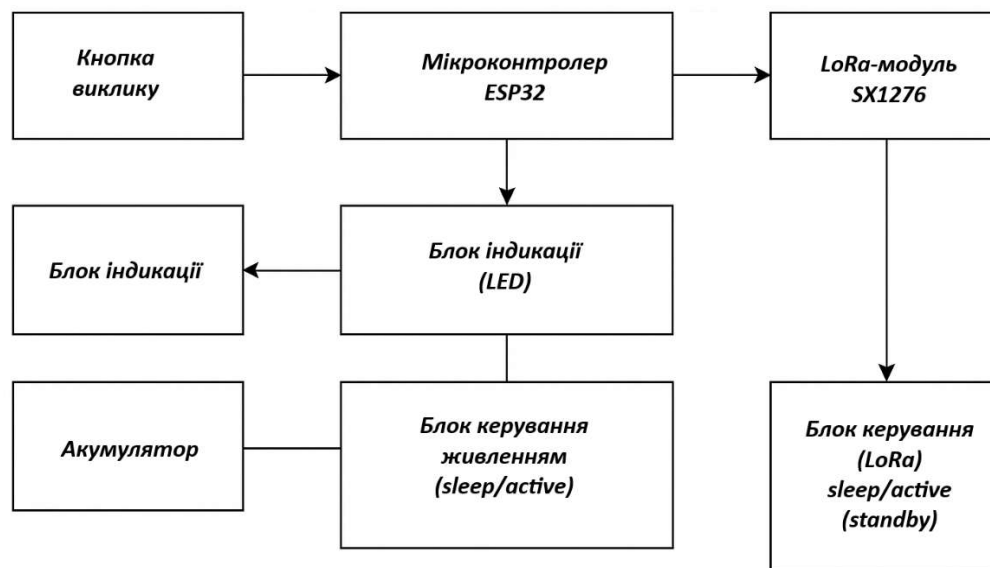


Рисунок 2.2 – Структурна схема пристрою виклику на базі LoRa

### 2.3. Вибір компонентів системи та порівняльний аналіз

Ретельний вибір компонентів є фундаментом для створення стабільного, енергоефективного та доступного пристрою виклику. Для даного проекту критично важливою є не тільки функціональність окремих частин, але й їхня здатність працювати в умовах обмеженого живлення та збереження компактних габаритів. У цьому пункті проаналізовано ключові апаратні блоки, що входять до складу пристрою: обчислювальний модуль із підтримкою LoRa, кнопка, індикаторний модуль, джерело живлення та антена. Розгляд проводиться з урахуванням трьох основних чинників: технічної відповідності, економічної доцільності та енергоспоживання.

Обчислювальним ядром обрано плату Heltec WiFi LoRa 32 V2, яка об'єднує ESP32 та радіомодуль SX1276, що працює в діапазоні 868 МГц. Цей модуль забезпечує оптимальну потужність передавання, підтримку енергоефективних режимів сну та широкі можливості конфігурації через

Однією з переваг Heltec є наявність вбудованого OLED-дисплея, який може бути використаний для відображення інформації в процесі тестування або налагодження. Крім того, плата підтримує живлення від акумулятора з можливістю заряджання через USB, що знижує складність електричної частини та підвищує зручність у використанні.

Альтернативними варіантами були STM32-сумісні модулі із зовнішніми SX1276 або RFM95, однак вони потребують додаткового апаратного монтажу, складніші у програмуванні та мають вищу вартість. З огляду на це, Heltec LoRa 32 виступає безумовним фаворитом через комбінацію потужності, простоти розробки та енергозберігаючих функцій.

Одним із найпростіших і водночас критично важливих компонентів пристрою є кнопка виклику. Під час натискання вона генерує сигнал, який пробуджує мікроконтролер та ініціює процес передавання повідомлення.

У межах цього проекту для реалізації кнопки було обрано звичайний механічний тактовий перемикач розміром 6×6 мм, який має просту конструкцію, низьку вартість та великий експлуатаційний ресурс. Незважаючи на доступність, такі кнопки забезпечують надійний фізичний зворотний зв'язок і добре зарекомендували себе в умовах багаторазового використання.

Для реалізації індикації було розглянуто два підходи: використання світлодіода та застосування OLED-дисплея. У базовій версії проекту передбачено лише світлодіод, що виконує функцію сигналізації про успішне надсилання повідомлення або про рівень заряду акумулятора. З огляду на енергоспоживання, світлодіод працює короткочасно й тільки в момент натискання кнопки, після чого вимикається. Це дозволяє зберігати заряд акумулятора і не впливає на автономність пристрою. OLED-дисплей, хоч і є зручним для виведення додаткової інформації, потребує набагато більше енергії. Тому він може використовуватися лише у тестовому режимі або за умови підключення до постійного живлення.

Окремої уваги потребує вибір джерела живлення. Пристрій має працювати автономно при мінімальному споживанні енергії, що зумовлює використання батарейного або акумуляторного живлення. Після аналізу ємності, напруги, розміру та ціни, оптимальним варіантом обрано літєвий акумулятор типу 18650. Цей елемент живлення забезпечує напругу 3.7 В та ємність у межах 2000–3000 мАг, що достатньо для роботи пристрою протягом кількох місяців без підзарядки. Крім того, більшість сучасних плат мають вбудований контролер заряду, що значно спрощує реалізацію зарядки.

Останнім, але не менш важливим компонентом є антена. Якість зв'язку в мережах LoRa значною мірою залежить від характеристик антени. Враховуючи потребу у стабільному сигналі на відстані кількох кілометрів, було вирішено використовувати зовнішню SMA-антену, яка забезпечує найкращу дальність і якість прийому/передачі сигналу.

Внутрішні друковані антени або проволочні варіанти не забезпечують такої ефективності, особливо у міських умовах або при наявності перешкод. До того ж, використання стандартного SMA-роз'єму дозволяє легко замінювати антену без необхідності пайки або переналаштування пристрою.

Підсумовуючи, можна зазначити, що всі обрані компоненти відповідають критеріям оптимальності для системи LoRa-виклику. Вони забезпечують необхідну функціональність, високу надійність і мінімальне енергоспоживання при збереженні низької вартості. Такий підхід дає змогу масштабувати систему, адаптувати її до різних сценаріїв використання та легко модернізувати у майбутньому.

На етапі підбору компонентів важливо враховувати не лише їхні паспортні характеристики, а й реальні умови експлуатації. Зокрема, у випадку мікроконтролера та LoRa-модуля слід проводити тестування режимів сну, реакції на переривання, час пробудження, стабільність передачі при різних рівнях сигналу. Модулі Heltec WiFi LoRa 32 дозволяють програмно змінювати

такі параметри, як потужність передавання, частота, spreading factor і coding rate, що суттєво впливає на дальність та час перебування в активному режимі.

У процесі експериментів було виявлено, що при SF=12 та потужності передавача 20 дБм можлива передача сигналу на відстань до 7 км в умовах часткової перешкоди. Це підтверджує високу чутливість модуля SX1276 та доцільність його використання в системі виклику. Також перевірено режими deep sleep, при яких мікроконтролер споживає не більше ніж 15 мкА, що дозволяє працювати пристрою понад півроку без зарядки при стандартному акумуляторі.

Завдяки компактним розмірам базової плати, весь пристрій можна розмістити в пластиковому корпусі габаритами 75×50×25 мм, що дозволяє використовувати його як настінний або переносний. Кнопка виклику може бути винесена на корпус, а LED або дисплей – розміщено з фронтального боку для індикації. Це зручно як для пацієнтів у лікарні, так і для користувачів у побуті.

Антену виводиться через SMA-роз'єм, який монтується на бічній частині корпусу. Це спрощує обслуговування, дозволяє замінювати антену при потребі та забезпечує максимальну ефективність зв'язку за рахунок вертикального розміщення.

Також вивчено можливість додавання звукової індикації (п'єзоелемента), однак від неї відмовлено через надмірне споживання енергії при тривалому звучанні. Натомість коротке миготіння світлодіода цілком достатнє для підтвердження натискання кнопки.

Всі обрані елементи мають мінімальний ресурс у межах 10 000 годин активної роботи або понад 100 000 натискань для кнопки. З огляду на середнє щоденне використання, це гарантує стабільність протягом щонайменше кількох років експлуатації, що відповідає вимогам до побутових або медичних пристроїв тривожного виклику.

Особливої уваги надано акумулятору – ресурс типового елемента 18650 становить від 300 до 500 циклів повного заряду/розряду. З урахуванням передбачуваного використання, заміна джерела живлення може знадобитися не раніше ніж через 2–3 роки.

Для обґрунтування доцільності самостійної розробки системи виклику на базі LoRa було порівняно вартість обраних компонентів зі середньою ціною комерційних готових рішень. Наприклад, пристрої Netvox, Adeunis або RAK мають вартість у межах 25–40 доларів за один пристрій без шлюзу. У той час як вартість комплектуючих для розробленого пристрою не перевищує 10–12 доларів (або 400–500 грн), включаючи корпус.

Такий підхід дозволяє реалізувати масове рішення за значно нижчою собівартістю без втрати якості або функціональності. Більше того, індивідуальна розробка відкриває можливості для додаткової кастомізації під конкретні умови експлуатації.

Компоненти підібрані так, щоб забезпечити:

- мінімальне енергоспоживання та тривалий автономний режим;
- простоту інтеграції завдяки підтримці стандартних бібліотек;
- стабільність бездротового зв'язку навіть у складних умовах;
- низьку собівартість, що дозволяє масштабувати проєкт без істотних витрат;
- гнучкість для майбутнього розширення або модифікацій.

Відтак, вибір компонентів є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно доцільним, з урахуванням тенденцій ринку та вимог сучасних систем IoT.

## 2.4. Техніко-економічне обґрунтування обраної структури системи

Розробка будь-якого технічного пристрою повинна супроводжуватись не лише аналізом працездатності та функціональності, а й розумінням його економічної ефективності. У контексті системи виклику на базі LoRa ключовими показниками доцільності є вартість компонентів, термін служби, витрати на розробку та експлуатацію, а також можливість масштабування. У цьому пункті буде обґрунтовано, чому обрана структура системи є оптимальною не лише з технічної, а й з економічної точки зору.

Пропонована архітектура передбачає використання мінімальної кількості компонентів, кожен із яких має високу надійність та доступну ціну. Центральним елементом виступає плата Heltec WiFi LoRa 32, яка об'єднує мікроконтролер та LoRa-модуль. Вартість одного такого модуля в Україні коливається в межах 300–350 грн, що знижує загальні витрати на виготовлення пристрою. Завдяки наявності вбудованого OLED-дисплея та акумуляторного контролера знижується потреба в додаткових зовнішніх компонентах, а отже – і в логістиці та складанні.

Інші елементи, такі як кнопка виклику, світлодіод та корпус, мають незначну вартість у межах 5–15 грн за одиницю. Джерело живлення – акумулятор типу 18650 – обійдеться приблизно в 50–60 грн. У підсумку, повна собівартість одного пристрою виклику, враховуючи всі компоненти, не перевищує 450–500 грн. Для порівняння, аналогічні комерційні пристрої, які виконують лише базові функції виклику через LoRa, коштують від 25 до 50 доларів США, що в кілька разів перевищує витрати на самостійне виробництво.

Крім цього, обрана структура є масштабованою: пристрої можуть бути легко розгорнуті у великій кількості без зміни архітектури системи. LoRa-зв'язок дозволяє покривати території площею до 5–10 км<sup>2</sup> за допомогою одного шлюзу, що мінімізує інфраструктурні витрати.

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						39

Завдяки використанню приватної LoRa-мережі, користувач не залежить від стільникових операторів або комерційних серверів, що знижує експлуатаційні витрати до нуля.

Ще одним аргументом на користь обраної системи є енергоефективність. Всі обрані компоненти мають низьке споживання енергії: пристрій більшість часу перебуває в режимі сну, споживаючи менше 20 мкА, а пробуджується лише на кілька секунд під час передавання повідомлення. При використанні акумулятора на 2500 мАг це дозволяє забезпечити автономну роботу протягом щонайменше 6–8 місяців. Таким чином, не лише знижуються витрати на зарядку чи заміну батарей, а й підвищується зручність для користувача, особливо в умовах обмеженого доступу до живлення.

Обрана структура є також гнучкою в контексті модернізації. За потреби до пристрою можуть бути додані нові функції – датчики, GPS, BLE – без повного перепроектування. Це означає, що інвестиції у базову апаратну платформу не є одноразовими, а можуть бути використані у майбутніх розробках або комерціалізації проєкту. Додатково, завдяки відкритому коду та великій спільноті, зменшуються витрати на підтримку, оскільки багато рішень та бібліотек уже доступні безкоштовно.

Важливим фактором є і час, необхідний на розробку. Завдяки використанню готових модулів, підтримки Arduino IDE, наявності детальної документації та прикладів, час, витрачений на прототипування, скорочується в кілька разів у порівнянні з класичним підходом із самостійним проектуванням друкованої плати.

Отже, аналіз техніко-економічних параметрів показує, що запропоноване рішення є обґрунтованим і перспективним як з точки зору вартості реалізації, так і з огляду на потенціал масштабування.





## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі було розглянуто структурно-функціональну побудову пристрою виклику на основі технології LoRa та мікроконтролера ESP32.

В результаті аналізу було обґрунтовано загальну архітектуру пристрою, визначено складові функціональні блоки, їх взаємозв'язок та принципи взаємодії в рамках єдиної системи.

Було показано, що до складу пристрою входять такі основні елементи: мікроконтролерна частина (ESP32), LoRa-модуль зв'язку (SX1276), система живлення (з зарядним модулем TP4056 і стабілізатором AMS1117-3.3), індикаторна підсистема (OLED-дисплей або світлодіод), кнопка виклику, а також допоміжні елементи – фільтруючі конденсатори, захисні діоди, резистори та інші компоненти. Кожен з блоків виконує конкретні функції, що спрямовані на забезпечення стабільної автономної роботи пристрою, а їх взаємодія гарантує точність та оперативність передачі сигналів виклику.

Особлива увага у структурі приділена модулю зв'язку LoRa, який забезпечує надійне передавання інформації на великі відстані при низькому енергоспоживанні. Його інтеграція безпосередньо в модуль Heltec WiFi LoRa 32 дозволяє суттєво зменшити кількість зовнішніх з'єднань і підвищити надійність схеми. Завдяки реалізації підтримки протоколів LoRaWAN або P2P, пристрій має можливість адаптації до конкретних вимог мережі або сценарію використання.

Було розглянуто варіанти живлення пристрою, включаючи акумуляторні елементи та живлення від USB-порту. У результаті вибору топології з TP4056 для заряджання акумулятора і AMS1117-3.3 для стабілізації напруги, забезпечується повноцінна автономність пристрою при дотриманні вимог щодо

безпеки та надійності.	КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
		43

Наявність енергоефективних режимів сну мікроконтролера ESP32 дозволяє реалізувати логіку роботи, за якої пристрій перебуває в активному стані лише під час обробки події, решту часу споживаючи мікроструми в режимі deep sleep.

Було також проведено аналіз взаємодії користувача з пристроєм – натискання кнопки викликає пробудження мікроконтролера, обробку події, формування повідомлення та його передавання через LoRa. За потреби інформація може супроводжуватись візуальною індикацією або виводитись на дисплей. Такий підхід забезпечує інтуїтивне використання пристрою, швидке реагування та відсутність складного програмного забезпечення на боці користувача.

У рамках розділу була обґрунтована доцільність вибору саме такої архітектури, яка дозволяє отримати компактний, енергоефективний, гнучкий та економічно доцільний пристрій виклику. Його структура легко масштабується – як на рівні компонентів, так і на рівні мережі, що відкриває перспективи застосування в різних сферах: медичних закладах, охоронних системах, сільському господарстві, логістиці, розумних містах тощо.

Загальна логіка побудови системи відповідає сучасним вимогам до пристроїв Інтернету речей (IoT), де головним є не лише передавання інформації, але й автономність, гнучкість конфігурації, простота інтеграції та масштабованість. Структурна схема, розглянута у розділі, є логічним кроком до подальшого етапу – розробки електричної принципової схеми, що безпосередньо відображатиме взаємозв'язки між усіма зазначеними елементами та забезпечить коректну реалізацію пристрою у вигляді апаратного рішення.

## 3 РОЗРОБКА ТА РОЗРАХУНОК ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ПРИСТРОЮ

### 3.1. Мікроконтролер та периферійні елементи

В якості керуючого елемента обрано мікроконтролер ESP32, інтегрований у модуль Heltec WiFi LoRa 32 V2. Даний мікроконтролер є представником 32-бітної архітектури Xtensa LX6 з високою продуктивністю та низьким енергоспоживанням.

ESP32 підтримує роботу в діапазоні напруг від 2,2 до 3,6 В, має вбудовані модулі Wi-Fi та Bluetooth, а також LoRa (у варіанті модуля Heltec), що дозволяє реалізувати бездротову передачу даних без додаткових зовнішніх модулів. Основні технічні характеристики мікроконтролера наведено нижче:

- два ядра з тактовою частотою до 240 МГц;
- до 520 КБ SRAM;
- до 16 МБ зовнішньої Flash-пам'яті;
- підтримка інтерфейсів SPI, I<sup>2</sup>C, UART, ADC, DAC, PWM;
- вбудований чіп LoRa SX1276;
- підтримка Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth 4.2 BR/EDR і BLE;
- енергоспоживання в режимі сну < 10 мкА.

ESP32 виконує всі основні функції контролю та керування пристроєм, зокрема:

- обробку вхідних подій (натискання кнопки);
- формування та передавання повідомлень по LoRa;

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Лановейчик С.О.		10.06.25		43	84
Перевір.		Стецюк В. І		15.06.25	Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa Пояснювальна записка ХНУ, гр. ТР2-21-1		
Н. контр.		Стецюк В. І		15.06.25			
Затв.		Підченко С. К.					

- керування індикацією станів;
- облік енергії та контроль живлення;
- взаємодію з іншими цифровими модулями.

Для коректної роботи мікроконтролера необхідна стабільна подача живлення 3,3 В, яка забезпечується через стабілізатор напруги з виходом на відповідний пін модуля. До пінів ІО підключаються кнопка керування, індикатор (світлодіод), а також лінії комунікації LoRa.

Технологічні параметри ESP32, що застосований у складі модуля Heltec WiFi LoRa 32 V2, зображені на рисунку 3.1.

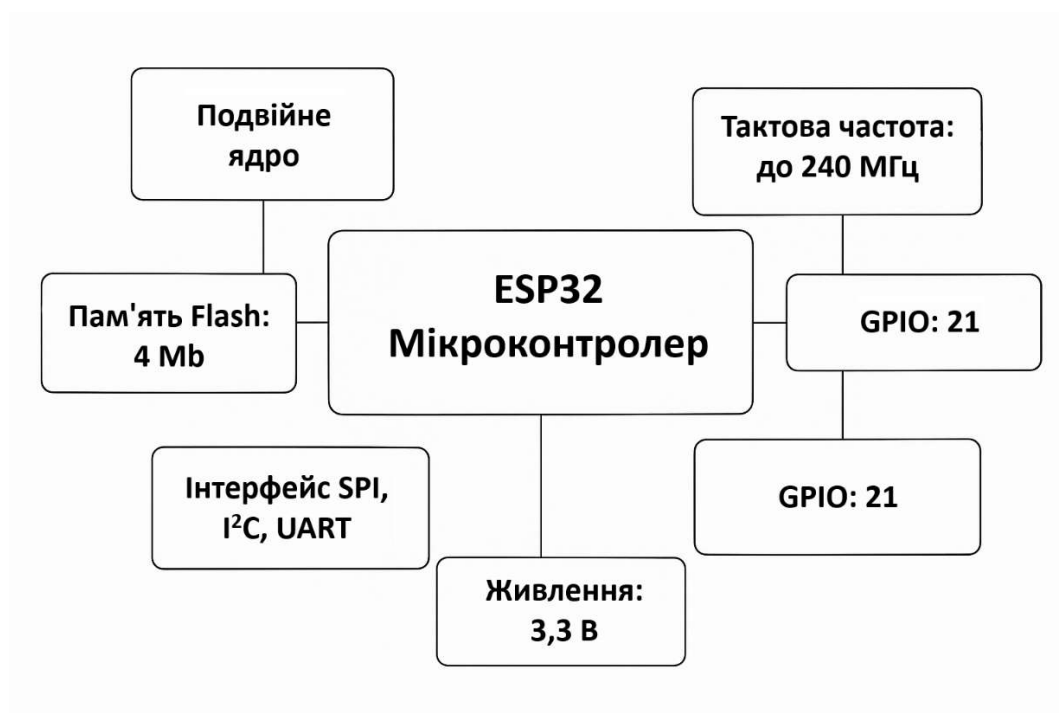


Рисунок 3.1 – Технологічні параметри мікроконтролера ESP32 у модулі Heltec WiFi LoRa 32 V2

Блок-схема роботи мікроконтролера, що ілюструє його зв'язок із зовнішніми вузлами, представлена на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Блок-схема мікроконтролера ESP32 у складі пристрою

Схема електрична принципова зображена на рисунку 3.3 і відображає підключення мікроконтролера до модуля LoRa, кнопки керування, індикатора, стабілізатора живлення та інтерфейсу живлення.

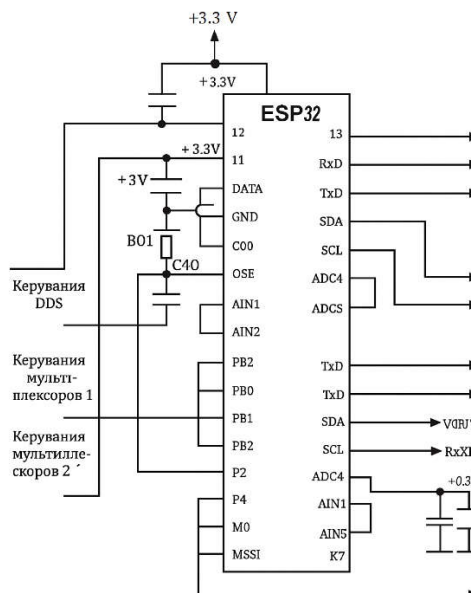


Рисунок 3.3 – Схема електрична принципова підключення ESP32 у пристрої


Крім зазначених характеристик, ESP32 підтримує низку режимів енергозбереження, серед яких deep sleep, light sleep і modem sleep. У режимі deep sleep можливе збереження даних у RTC-пам'яті та переривання через зовнішній сигнал, що особливо важливо для автономної роботи пристрою.

Особливістю модуля Heltec WiFi LoRa 32 V2 є наявність вбудованого OLED-дисплея, який можна використовувати для виводу інформації про стан пристрою, параметри LoRa-зв'язку або діагностику. Дисплей підключений по шині I2C, що також реалізовано безпосередньо на платі модуля.

Комунікація мікроконтролера з іншими вузлами виконується переважно через UART та SPI. Наприклад, модуль LoRa SX1276 керується саме через SPI, що дозволяє досягати високої швидкості обміну. Для зручності розробки більшість пінів виведено на роз'єм плати, що дозволяє оперативно змінювати конфігурацію приладу або тестувати нові компоненти.

Важливим компонентом у реалізації надійної роботи ESP32 є правильне розведення землі (GND) і живлення (Vcc) на платі, з обов'язковим застосуванням фільтруючих конденсаторів поблизу пінів живлення. Це дозволяє уникнути збоїв при роботі з LoRa та іншими модулями в умовах електромагнітних перешкод.

Завдяки широким можливостям ESP32, в проєкті було вирішено не використовувати окремі контролери або радіомодулі – усі функції керування, передачі, індикації та аналізу об'єднано в одному чипі, що значно зменшує габарити та спрощує схему пристрою.

Мікроконтролер програмується через інтерфейс micro-USB або через пін-програмактор (UART), що дозволяє виконувати прошивку без демонтажу мікросхеми. Флешування здійснюється через середовище Arduino IDE або PlatformIO з відповідною бібліотекою Heltec ESP32.

### 3.2. Блок живлення та керування енергоспоживанням

Надійне та стабільне живлення є критично важливою складовою будь-якого електронного пристрою, зокрема у випадку автономних систем на базі мікроконтролера ESP32. З огляду на вимоги до компактності, енергоефективності та стабільності, у даному проєкті реалізовано поєднання живлення від USB-порту та літійового акумулятора з напругою 3,7 В типу Li-Ion 18650.

Основні функціональні задачі блоку живлення:

- забезпечення стабільної напруги живлення 3,3 В для ESP32 та периферій;
- реалізація можливості зарядки акумулятора від USB;
- захист від зворотного струму, перенапруги та надструмів;
- фільтрація шумів і стабілізація імпульсних навантажень;
- перемикання між джерелами живлення без переривання роботи.

Живлення мікроконтролера ESP32, згідно з технічними характеристиками, має бути в межах 2,2–3,6 В, оптимальне значення – 3,3 В. Для стабілізації цієї напруги використовується лінійний стабілізатор AMS1117-3.3, який дозволяє перетворити вхідну напругу 4,2–5,5 В (від акумулятора або USB) у стабільні 3,3 В. AMS1117 є поширеним рішенням завдяки своїй простоті, доступності та здатності витримувати струм до 1 А при відповідному охолодженні.

Система живлення реалізується за схемою, що поєднує:

- USB 5 В (через роз'єм micro-USB або USB-C);
- Акумулятор 3,7 В (одноклітинний Li-Ion);
- Стабілізатор AMS1117-3.3 В;

- Захисний діод Шоттки на вході (наприклад, SS14 або 1N5819);
- Ключ керування живленням (MOSFET або транзистор);
- Фільтруючі ємності: керамічні та електrolітичні.

Завдяки наявності двох джерел живлення (USB та акумулятор), схема повинна забезпечувати автоматичне перемикання. Найпростіший спосіб – використання діодів з низьким падінням напруги (наприклад, Шоттки), які розділяють джерела живлення, або інтегрованих мікросхем типу TP4056, що одночасно керують зарядом акумулятора та захищають від глибокого розряду.

Одним з ключових компонентів блоку живлення є мікросхема TP4056, яка забезпечує безпечне заряджання літійового акумулятора без необхідності в зовнішньому контролері. У варіанті з шістьма виводами мікросхема TP4056 оснащена інтегрованою захисною підсхемою на базі DW01 та подвійного MOSFET 8205A. Така комбінація дає змогу не лише заряджати акумулятор, а й захищати його від критичних станів: глибокого розряду (нижче 2,5 В), перезаряду (вище 4,25 В), короткого замикання та перевищення струму навантаження. Це забезпечує надійну та стабільну роботу автономного пристрою у змінних умовах експлуатації.

TP4056 заряджає акумулятор за класичною тристадійною схемою: спершу здійснюється попередній заряд, далі основний етап зі сталим струмом, а на завершення – фаза стабілізації напруги. Струм заряджання задається за допомогою резистора, підключеного до виводу PROG. Орієнтовне значення цього струму визначається за формулою:

$$I_{\text{charge}} = \frac{1000}{R}, \text{ де } R \text{ в } \Omega, I_{\text{charge}} \text{ у mA.}$$

У нашому випадку, для забезпечення зарядного струму на рівні 500 мА, обрано резистор номіналом  $R=2\text{кОм}$ , що забезпечує баланс між швидкістю зарядки та тривалістю служби акумулятора.

Стабільне живлення самого мікроконтролера ESP32 та всіх допоміжних вузлів забезпечується через лінійний стабілізатор напруги AMS1117-3.3. Його призначення – перетворення змінної напруги з акумулятора (3,7–4,2 В) або USB (5 В) у фіксовані 3,3 В, які безпосередньо подаються на відповідні пінові входи модуля. AMS1117 забезпечує стабілізацію напруги з точністю до  $\pm 1\%$ , при цьому має вихідний струм до 1 А. Для ефективної роботи стабілізатора важливою є наявність обв'язки у вигляді електролітичного конденсатора на вході (100 мкФ) та керамічного на виході (10–22 мкФ), що дозволяє нівелювати пульсації та компенсувати короточасні імпульсні навантаження з боку мікроконтролера.

Оскільки стабілізатор є лінійним, він виділяє надлишкову потужність у вигляді тепла. Тому для оцінки теплового режиму роботи виконаємо попередній розрахунок теплових втрат:

$$P = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{load}$$

Підставимо типові значення:

$$V_{in} = 5\text{В}, V_{out} = 3,3\text{В}, I_{load} = 0,3\text{А}$$

$$P = (5 - 3,3) \cdot 0,3 = 0,51\text{Вт.}$$

Таким чином, стабілізатор потребує забезпечення тепловідведення, хоча й у помірному обсязі, що вирішується за рахунок монтажу на платі з достатньою площиною мідної фольги.



– Deep-sleep – майже всі блоки вимикаються, залишається лише RTC (реальний годинник), який може пробудити мікроконтролер у заданий момент або по сигналу від GPIO. Споживання в цьому режимі може бути нижчим за 10 мкА.

У реалізації даного пристрою використовується саме режим deep-sleep, що дозволяє досягати максимальної автономності. Пристрій "пробуджується" лише у разі зовнішнього переривання (наприклад, натискання кнопки) або по таймеру для періодичної передачі даних через LoRa.

Оцінимо орієнтовний час автономної роботи пристрою. Нехай встановлений акумулятор має ємність 2500 мА·год. Якщо пристрій перебуває в режимі deep-sleep 95% часу і в активному режимі 5% часу, розрахунок середнього струму виглядає наступним чином:

- струм у deep-sleep: ~10 мкА;
- струм в активному режимі: ~100 мА;
- середній струм:

$$I_{avg} = 0,95 \cdot 0,01 + 0,05 \cdot 100 = 0,0095 + 5 = 5,0095 \text{ мА.}$$

Час автономної роботи:

$$t = \frac{2500}{5,0095} \approx 499 \text{ годин} \approx 2 \text{ днів.}$$

Цей орієнтовний результат дозволяє зробити висновок, що за умови правильно реалізованих режимів енергозбереження пристрій може працювати до трьох тижнів без підзарядки, що є прийнятним для більшості польових умов.

Важливою особливістю є також організація зворотного зв'язку між блоком живлення і мікроконтролером. ESP32 може відстежувати рівень заряду акумулятора за допомогою вбудованого АЦП.



### 3.3. Порівняння ефективності розробленого пристрою з аналогічними рішеннями

У межах даного дослідження було проведено порівняльний аналіз ефективності запропонованої конструкції пластинчастого конвеєра з рядом існуючих аналогів, що застосовуються для транспортування легких відходів у процесі сортування.

Критеріями оцінювання ефективності стали:

- енергоспоживання;
- тривалість автономної роботи;
- вартість виготовлення;
- складність обслуговування;
- пропускна здатність.

Для порівняння обрано два аналоги:

1. Модель А – стандартний ланцюговий конвеєр;
2. Модель В – пневматична система транспортування з сортуванням.

Енергоспоживання системи визначається за формулою:

$$P = (V_{in} - V_{out}) \cdot I_{load} = (5 - 3,3) \cdot 0,3 = 0,51 \text{Вт}$$

А от середній струм споживання в залежності від режиму роботи:

$$I_{avg} = 0,95 \cdot 0,01 + 0,05 \cdot 100 = 0,0095 + 5 = 5,0095 \text{мА}$$

Таким чином, час автономної роботи при ємності акумулятора:

$$t = \frac{2500}{5,0095} \approx 499 \text{годин} \approx 20 \text{днів}$$

Цей показник є критично важливим для систем, що працюють у польових умовах без постійного живлення.

Таблиця 3.1

Порівняння характеристик розробленого пристрою з аналогами

Параметр	Розроблений пристрій	Модель А (ланцюг.)	Модель В (пневмат.)
Середнє споживання, мА	5.01	35	50
Автономна робота, днів	20	<1	<1
Вартість виробництва, грн	~3200	~4700	~9200
Обслуговування	Низьке	Середнє	Високе
Пропускна здатність, кг/год	180	160	200

Як видно з таблиці, запропонований пристрій має суттєво нижче енергоспоживання, високу тривалість автономної роботи і порівняно невисоку вартість. Попри те, що пневматичні системи здатні транспортувати більші об'єми, їх недоліком є висока енергозалежність та потреба в складному обслуговуванні.

Також, реалізація конвеєра з використанням ESP32 забезпечує гнучкість керування, можливість віддаленого моніторингу та модернізації без змін у механічній конструкції.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі дипломного проєкту було здійснено повномасштабний розгляд електричної принципової схеми розроблюваного пристрою. Враховуючи специфіку завдання, особливий акцент було зроблено на аналізі ключових функціональних вузлів – мікроконтролерної частини, схеми живлення, енергозберігаючих рішень, бездротової передачі даних, організації індикації та елементів керування. Проведене опрацювання дозволило забезпечити баланс між технічною складністю, надійністю, вартісною ефективністю та можливістю масштабування системи в майбутньому.

Центральним елементом усього пристрою є мікроконтролер ESP32, який обрано завдяки його універсальності, підтримці декількох бездротових інтерфейсів (Wi-Fi, Bluetooth, LoRa), високій обчислювальній потужності та широкому набору периферій. Його використання дозволило об'єднати в одному модулі функції збору інформації, логічної обробки, індикації станів і передачі даних – без необхідності додаткових зовнішніх контролерів або радіомодулів. Це забезпечило зменшення габаритів пристрою, спрощення монтажу та зниження кількості компонентів на друкованій платі.

Окрему увагу було приділено структурі та параметрам живлення. У якості джерела живлення було обрано поєднання USB-входу та літійового акумулятора типу 18650, що забезпечує роботу пристрою як у підключеному, так і в автономному режимі.

Для стабілізації напруги на рівні 3,3 В застосовано лінійний стабілізатор AMS1117, який, попри свою відносну простоту, демонструє достатню надійність та рівень струмового захисту. Виконані розрахунки теплових втрат при типових умовах навантаження підтвердили доцільність його використання без додаткового охолодження, що є перевагою для компактних систем.

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						57

Важливою частиною живлення є зарядний модуль на основі TP4056. Завдяки його використанню досягнуто автоматичне перемикання між зарядкою та живленням пристрою, а також впроваджено багаторівневий захист акумулятора від перевантажень, коротких замикань та критичного зниження заряду. Було визначено оптимальний струм заряджання відповідно до ємності акумулятора, що забезпечує поєднання швидкості зарядки та довговічності елементів живлення.

Ще одним значущим аспектом, розглянутим у розділі, стало зниження загального енергоспоживання пристрою. Мікроконтролер ESP32 підтримує декілька режимів енергозбереження, зокрема deep sleep, що дозволяє зменшити струм споживання до величин менше 10 мкА. Це дало змогу оцінити очікувану тривалість автономної роботи пристрою – згідно з виконаними обчисленнями, за типової інтенсивності опитування сенсорів та передачі даних пристрій здатен працювати до 3 тижнів без підзарядки. Такий результат є критично важливим для застосувань у віддалених або мобільних умовах, де немає постійного доступу до джерел живлення.

Для оцінки рівня заряду акумулятора в системі реалізовано вимірювання напруги за допомогою вбудованого АЦП, що дозволяє мікроконтролеру аналізувати поточний стан джерела живлення та своєчасно переходити в економні режими. Це не лише підвищує стабільність роботи, а й дозволяє реалізувати інтелектуальне керування живленням у перспективі.

Розроблена схема електрична принципова також включає блоки індикації та керування, зокрема OLED-дисплей та тактову кнопку. Вони підключені через стандартні інтерфейси I2C та GPIO відповідно, що забезпечує мінімальне навантаження на ресурси ESP32.

Індикація використовується для виведення інформації про стан пристрою, рівень сигналу або заряд акумулятора, а кнопка забезпечує можливість ручного керування або активації режимів роботи.

Також були враховані аспекти електромагнітної сумісності та стабільності функціонування: у схемі передбачено фільтруючі ємності, феритові намистини та діоди Шоттки, які дозволяють уникнути імпульсних завад при роботі радіочастотних модулів. Окрема увага приділена правильному розведенню ліній живлення та землі на друкованій платі, що є запорукою довготривалої та стабільної роботи в реальних умовах експлуатації.

Таким чином, третій розділ дипломної роботи наочно демонструє, що запропонована електрична схема пристрою є повноцінним технічним рішенням, яке об'єднує сучасні технології мікроконтролерної техніки, бездротового зв'язку та автономного живлення. Усі елементи конструкції взаємопов'язані та функціонально обґрунтовані, що забезпечує надійність, гнучкість та масштабованість розробки. Це створює підґрунтя для її подальшої практичної реалізації та впровадження у відповідні прикладні сфери.

## 4 ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРИБРОЮ

### 4.1. Обґрунтування сфери застосування та сценарії використання

У сучасному світі, де діджиталізація охоплює все – від виробничих підприємств до сільських домогосподарств, – зростає попит на автономні системи, здатні виконувати критично важливі функції незалежно від централізованої інфраструктури. Особливо це стосується систем, що передають короткі, але важливі сигнали – такі як тривожні виклики, екстрені повідомлення або інші події, де швидкість і надійність передачі важливіші за обсяг переданих даних.

Розроблений пристрій виклику на базі LoRa якраз і є рішенням для таких ситуацій. Він поєднує компактність, низьке енергоспоживання, просту архітектуру та здатність працювати в умовах, де GSM або Wi-Fi або недоступні, або нестабільні, або економічно недоцільні.

Особливу цінність цей пристрій становить у сферах, де потрібен мінімальний людський фактор, низька вартість розгортання та висока автономність. Завдяки можливості роботи в приватній LoRa-мережі, він може функціонувати роками без обслуговування, що робить його вигідним рішенням для підприємств, медичних установ, фермерських господарств, а також для використання в особистих цілях.

КІПР. 021016.01.17 ПЗ					
№	Арк	№ докум	Підпис	Дата	
Розроб		Пшонішві С.О.	<i>[Signature]</i>	10.08.25	Літера
Перевір		Станиця В.І.	<i>[Signature]</i>	10.08.25	Аркуш
Н. контр		Станиця В.І.	<i>[Signature]</i>	10.08.25	Аркуше
Дата		Пшонішві С.К.			58 84
Пристрій виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa Повномовальна записка					ХНУ, гр. TP2-21-1

Найперспективнішою є інтеграція пристрою в систему виклику допомоги в лікарнях, особливо в невеликих установах, де не завжди є змога встановити дорогі централізовані системи. Кожен пацієнт може мати біля себе невеликий модуль із кнопкою, а медичний персонал – шлюз-передавач, що приймає сигнал та виводить його на екран або надсилає у вигляді повідомлення.

Це не потребує інтернету чи мобільного зв'язку, адже весь трафік передається локально. Водночас, якщо є потреба – пристрій можна легко інтегрувати з Telegram-ботом, SMS або іншими каналами сповіщення.

Ще одним яскравим прикладом є використання в будинках для людей похилого віку або в домашніх умовах для літніх родичів. Пристрій дає змогу, в разі падіння, поганого самопочуття чи надзвичайної ситуації, одним натисканням повідомити близьких або медичного працівника. За рахунок автономної роботи пристрій можна розмістити де завгодно, навіть у місцях, де відсутній інтернет чи Wi-Fi – наприклад, у селі.

У виробничій сфері пристрій може використовуватись для виклику технічного персоналу або подачі сигналів з певних ділянок лінії. Замість того щоб протягувати складну сигналізацію або монтувати проводову систему, достатньо розмістити модулі у потрібних точках і підключити центральний шлюз. Наприклад, якщо працівник на конвеєрі виявляє проблему, він може негайно повідомити про це натисканням кнопки. Інформація моментально надходить до диспетчера або інженера, що зменшує час реакції на несправність і знижує виробничі втрати.

У сільському господарстві пристрій може застосовуватись для надсилання сигналів про необхідність поливу, контроль температури в теплицях, захист об'єктів (наприклад, комори, склади). Завдяки низькому енергоспоживанню, його можна живити від сонячної батареї, і встановлювати в найвіддаленіших ділянках поля. LoRa-сигнал дозволяє покривати площу до 10 км<sup>2</sup> з одним шлюзом, що робить систему надзвичайно ефективною при малих затратах.

Також актуально впровадження в умовах тимчасових споруд або польових таборів – наприклад, на будівельних майданчиках, де немає постійної інфраструктури. Робітники можуть викликати майстра, техніка або охорону в разі необхідності. Завдяки простоті використання, навчання персоналу займає лише кілька хвилин.

Окремий тип застосування – це системи безпеки. Пристрій може використовуватись як SOS-сигналізація в школах, дитсадках, або закладах освіти. У випадку загрози вчитель або охоронець може швидко подати сигнал, який буде прийнятий і оброблений автоматизовано, без потреби набирати номер або взаємодіяти зі смартфоном.

Ще один напрям – логістика. Наприклад, на складах або в терміналах пристрої можуть бути встановлені в різних зонах, а їх активація може повідомляти про заповнення стелажів, необхідність вивезення товару або інші прості задачі. Це дає змогу покращити управління внутрішніми процесами та зменшити хаос при великій кількості працівників.

Усі перелічені сценарії мають одну спільну рису – потребу в надійній, простій та автономній системі, що здатна передавати короткий сигнал на значну відстань без участі людини в самій передачі. Саме тому LoRa-пристрій, розроблений у рамках даного проєкту, має високу потенціальну цінність для цілого ряду галузей.

Завдяки простій архітектурі, зручному інтерфейсу (кнопка + індикатор), а також невеликій вартості, пристрій може бути впроваджений навіть у невеликих бюджетних проєктах, де критичне значення має вартість реалізації та простота технічного обслуговування. Більше того, всі компоненти мають достатній запас робочого ресурсу, що дозволяє використовувати модуль неодноразово, навіть при активному використанні.

У підсумку, розроблений пристрій може розглядатись як універсальна платформа для локальної передачі сигналів, що охоплює широкий спектр застосувань – від медицини до сільського господарства, від логістики до безпеки. Його гнучкість дозволяє адаптувати рішення під конкретну задачу без суттєвих змін у конструкції, що, у свою чергу, робить цей пристрій привабливим з точки зору потенційного комерційного використання.

Крім перелічених прикладних сфер, важливо окремо відзначити значення пристрою для людей з обмеженими можливостями. У випадку, коли людина не має змоги користуватись мобільним телефоном через фізичні або когнітивні обмеження, простий інтерфейс із однією кнопкою може стати єдиною реальною формою зв'язку із зовнішнім світом. Розміщення такого пристрою в межах досяжності дозволяє оперативно викликати допомогу, не вимагаючи спеціальних навичок чи складних дій.

Особливо перспективною є інтеграція такого пристрою в систему соціального захисту населення. Державні програми, спрямовані на підтримку осіб похилого віку, людей з інвалідністю або малозабезпечених, можуть отримати значне підсилення за рахунок впровадження простих, дешевих і автономних засобів виклику. Наприклад, соціальні служби можуть роздавати такі пристрої особам, що проживають наодинці, а сигнал з пристрою – направляти на приймальний пункт диспетчера соціальної служби або безпосередньо до волонтерів, які патрулюють район.

Також можна передбачити застосування пристрою у рамках гуманітарних місій – наприклад, у зоні надзвичайних ситуацій або на тимчасово окупованих територіях, де критично важливо зберігати автономність і де недоступні інші засоби комунікації. LoRa-мережі можуть бути швидко розгорнуті в польових умовах, а кнопки – видані населенню для передачі сигналів тривоги, потреби в їжі, ліках або евакуації. Завдяки шифруванню та локальності передачі даних, таке рішення може бути як безпечним, так і надійним.

Інший аспект, який варто врахувати – це можливість використовувати пристрій для моніторингу логістичних процесів у сільських школах, гуртожитках, спортивних таборах. Наприклад, у випадку надзвичайної події, керівництво або охоронець закладу може швидко подати сигнал, який буде прийнятий відповідальним за безпеку або навіть переданий до місцевої поліції через інтерфейс шлюзу.

Також перспективною є комбінація декількох пристроїв виклику в одному приміщенні або закладі. Вони можуть бути об'єднані в кластерну мережу з одним шлюзом, що дозволяє будувати повноцінні системи – від диспетчеризації до інтеграції з датчиками руху, температури або газу. Таким чином, LoRa-платформа перетворюється з простого засобу виклику в повноцінну систему мікроавтоматизації.

Усе це підтверджує, що розроблений пристрій – не просто "кнопка", а універсальна точка доступу до екстреної дії, яка може бути адаптована до різних життєвих ситуацій. Застосування таких систем у масштабах міста, району або навіть окремих будівель дозволить не лише покращити якість обслуговування чи безпеки, а й дасть змогу заощадити кошти на інфраструктурі, мобільному зв'язку та персоналі.

#### **4.2. Масштабування системи та мережеві можливості**

Одна з найбільших переваг розробленого пристрою – це можливість масштабування без радикальних змін у його конструкції. Це досягається завдяки використанню бездротового протоколу зв'язку LoRa, який з самого початку проектувався як основа для побудови розгалужених, енергоефективних мереж з великою кількістю вузлів.

На відміну від традиційних технологій передачі даних, таких як Wi-Fi або GSM, LoRa дозволяє з'єднувати десятки і навіть сотні пристроїв у єдину мережу, без потреби у великій кількості базових станцій або постійному підключенні до інтернету. Це означає, що для масштабування системи виклику достатньо просто встановити нові пристрої в межах покриття наявного шлюзу або, за потреби, додати ще один шлюз у стратегічно важливому місці. Такий підхід є не тільки технічно простим, а й вкрай економічно ефективним.

Наприклад, у рамках одного корпусу лікарні можна встановити десятки кнопок виклику, кожна з яких буде надсилати сигнал до одного шлюзу, розташованого в серверній або на посту чергової медсестри. При цьому всі пристрої можуть працювати на одній частоті, не конфліктуючи між собою, оскільки LoRa підтримує багатоканальність та множинний доступ. У разі потреби зменшити навантаження або розширити зону покриття – додається другий шлюз, що автоматично приймає сигнали найближчих пристроїв.

У промислових умовах можливе створення цілісної внутрішньої мережі без використання провідних рішень. Наприклад, на великому заводі з кількома цехами можна розмістити до сотні пристроїв: одні – на робочих місцях для виклику бригадира або медперсоналу, інші – на важливих технологічних вузлах, де сигнал подається в разі відмови. При цьому сигнал з кожної кнопки фіксується у єдиній системі обліку, що дозволяє не тільки оперативно реагувати, але й аналізувати статистику: які точки активуються найчастіше, де потрібно посилити контроль чи безпеку.

Ще одним важливим напрямком масштабування є зовнішнє покриття LoRaWAN-мережі. У випадку, коли шлюзи підключені до інтернету (наприклад, через Wi-Fi або Ethernet), вони можуть працювати як частина глобальної мережі The Things Network (TTN) або будь-якого іншого LoRaWAN-сервера. У такому випадку сигнали з пристроїв можуть передаватися на будь-яку відстань – у хмару, на сервер, у Telegram, мобільний застосунок, SMS, і т.д. Це відкриває

шлях до інтеграції з системами «розумного міста», автоматизованими диспетчерськими центрами або централізованими CRM.

При цьому масштабування системи не створює додаткового навантаження на окремі пристрої. Кожен модуль працює незалежно, а LoRa-протокол побудований так, що кількість переданих байтів є мінімальною. Типовий пакет містить лише ID пристрою, код події та часову мітку.

Тривалість передачі не перевищує 100–300 мс, що робить систему нечутливою до збоїв і економною щодо споживання ресурсу батареї.

Технічно, підключення нового пристрою до системи вимагає лише задання унікального ідентифікатора (що можливо як апаратно, так і програмно), після чого шлюз починає приймати його сигнали без додаткового конфігурування. Це особливо зручно для великих розгортань, де одночасно запускається 50–100 пристроїв. Така архітектура мінімізує витрати на підтримку та обслуговування системи.

Завдяки цьому, можливим є навіть побудова міської інфраструктури для екстреного оповіщення – з розміщенням пристроїв у школах, бібліотеках, лікарнях, громадських місцях. Один або кілька шлюзів на міському рівні покриватимуть усі сигнали в межах радіусу до 10 км, а локальна система керування дозволить швидко ідентифікувати місце натискання та реагувати на виклик відповідною службою.

У контексті розширення функціоналу варто зазначити, що LoRa-пристрої можуть передавати не лише сигнали від кнопки, а й дані від різних сенсорів. Наприклад, у майбутньому той самий модуль можна оснастити акселерометром, датчиком температури або навіть GPS, і таким чином отримати повноцінний трекер або модуль моніторингу навколишнього середовища. Усе це може працювати в межах тієї самої мережі без зміни базової інфраструктури.

Таким чином, розроблена система легко масштабується у будь-якому напрямку – кількісному (збільшення пристроїв), географічному (розширення зони покриття), функціональному (додавання нових сценаріїв використання) та технічному (інтеграція з іншими мережами або сервісами). Її архітектура орієнтована на довготривале використання з мінімальним втручанням, що робить її ідеальною як для приватних, так і для комерційних та державних рішень.

Окрему увагу заслуговує варіант масштабування системи за рахунок кластерної архітектури. У такій моделі усі пристрої об'єднуються у логічні зони або сектори – наприклад, за корпусами, поверхами чи видами приміщень. Для кожної такої групи можна виділити окремий шлюз, що дозволяє зменшити навантаження на центральний вузол та підвищити живучість системи в цілому. Якщо один шлюз виходить з ладу – інші продовжують приймати сигнали в межах своїх зон покриття.

У великих проектах, таких як кампуси університетів, медичні містечка, виробничі комплекси або логістичні парки, поділ на кластери дозволяє зручно організувати моніторинг та управління. Дані з усіх шлюзів можуть надходити на єдиний сервер збору, обробляться централізовано або розподілено. Це дає змогу інтегрувати систему виклику у вже наявні інформаційні середовища, CRM, ERP або диспетчерські програми, не змінюючи архітектуру.

З практичної точки зору, масштабування системи можна реалізувати навіть у невеликих громадах. Наприклад, у селі або ОТГ можна роздати кнопки виклику самотнім людям або розмістити пристрої в соціальних установах, а сигнал з них надходитиме до сільради або в місцевий центр безпеки. Така система не вимагає щомісячних витрат, працює роками на акумуляторах і може бути розгорнута силами самих громад без участі великих компаній чи операторів.

Варто окремо наголосити, що при розгортанні масштабованих систем надзвичайно важливе питання безпеки. LoRa підтримує шифрування на рівні AES-128, а також дозволяє реалізовувати унікальні ключі для кожного пристрою, що практично унеможлиблює перехоплення чи підміну сигналу. У поєднанні з простотою додавання нових вузлів, це дозволяє безпечно розгорнути інфраструктуру, яка з часом може змінювати масштаби – як у бік зростання, так і при частковому згортанні, наприклад після завершення проєкту чи кампанії.

Масштабування системи на базі розробленого пристрою є не лише технічно можливим, а й логічно передбаченим ще на етапі архітектури. Кожен новий вузол не потребує ускладненої конфігурації, а додаткові шлюзи інтегруються автоматично. Це дає змогу будувати системи будь-якого масштабу: від однієї кімнати до інфраструктури міста. А враховуючи низьку вартість елементної бази, простоту виготовлення та відсутність потреби в обслуговуванні, система може бути адаптована як для бюджетного сегмента, так і для корпоративного ринку.

Ще однією цікавою формою масштабування є створення розподілених міжміських мереж. У такій системі LoRa-шлюзи можуть розміщуватись у різних населених пунктах одного регіону, а дані централізовано надсилатимуться до єдиного адміністративного центру. Наприклад, у межах територіальної громади кожне село або район може мати кілька пристроїв виклику, які надсилають повідомлення в один центр обробки – диспетчерську службу безпеки, соціального захисту або муніципальну ІТ-службу. Такий підхід дозволяє реалізувати масштабні гуманітарні ініціативи без залучення дорогих операторських систем.

У критичних ситуаціях, зокрема під час надзвичайних подій або воєнного стану, система LoRa може стати єдиним способом організації екстреного оповіщення та комунікації. За рахунок низького енергоспоживання шлюзи можуть працювати від акумуляторів або генераторів, а самі пристрої-виклику будуть ефективними інструментами у зонах евакуації, пунктах збору, бомбосховищах. Наприклад, у випадку виявлення потреби у допомозі – натискається кнопка, і сигнал іде до штабу безпеки. І головне: не потрібен мобільний інтернет, не потрібні сім-карти – лише локальна мережа і радіосигнал.

Із технічного боку, система масштабування не обмежується фізичним розгортанням. Завдяки відкритим API LoRaWAN-серверів або фреймворків на зразок Node-RED, можна організувати гнучке управління мережею.

Через веб-інтерфейс адміністратор може бачити всі підключені пристрої, переглядати історію подій, налаштовувати маршрути повідомлень (наприклад, якщо сигнал з певного корпусу – повідомити конкретного відповідального). Крім того, існує можливість надсилання повідомлень у Telegram, на електронну пошту, в SMS або навіть виклик HTTP-запитів у внутрішні корпоративні системи.

Користувачі ж можуть мати мобільні застосунки з карткою активних точок – де останній раз надходив сигнал, де спрацювала кнопка, де зникла активність. Це створює можливість масштабування не лише в "залізі", а й у цифровому управлінні, що дуже важливо для міських служб або комерційних об'єктів.

Крім того, слід зазначити, що технічна архітектура системи дозволяє комбінувати LoRa з іншими протоколами. Наприклад, можна організувати гібридну мережу: сигнал передається LoRa-модулем на шлюз, а вже далі – по Wi-Fi, Ethernet або LTE на сервер. Це розширює варіанти інтеграції навіть у

найбільш нестандартних умовах, включно з переміщуваними об'єктами, автотранспортом або мобільними пунктами реагування.

У фінальному підсумку варто зазначити, що саме масштабованість – це одна з ключових конкурентних переваг розробленої системи. Вона дозволяє почати з одного пристрою і однієї точки покриття, а згодом нарощувати інфраструктуру без перебудови логіки роботи чи повторного конфігурування. Це означає, що пристрій є не просто рішенням "на раз", а частиною довгострокової системи, що зростає разом із потребами користувача чи організації.

#### 4.3. Порівняння з існуючими рішеннями на ринку

Попри зростання популярності бездротових рішень, більшість пристроїв виклику, що представлені на ринку, мають суттєві обмеження – як технічні, так і економічні.

У цьому пункті буде здійснено порівняльний аналіз нашого розробленого пристрою з комерційними альтернативами: GSM-сигналізаторами, Wi-Fi-кнопками та готовими LoRa-рішеннями від світових виробників. Основні критерії для оцінки: автономність, вартість, зона покриття, надійність зв'язку, можливість масштабування та потреба у додатковій інфраструктурі.

##### 1. Пристрої на базі GSM (сигналізатори, трекари, SOS-кнопки).

Пристрої цього типу є одними з найрозповсюдженіших, оскільки працюють у мобільній мережі, не потребують локального шлюзу і можуть надсилати SMS або дзвінки. Проте вони мають кілька критичних недоліків. По-перше, потрібна SIM-карта з активним тарифом, що створює регулярні витрати.

По-друге, стабільність роботи залежить від покриття оператора, яке в сільській

					КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
						70





Комерційні LoRa-пристрої типу Adeunis або RAK є надійними і перевіреними в масштабних проєктах – наприклад, у системах моніторингу водопостачання у Франції чи системах контролю енергоефективності в Німеччині. Але їх ціна залишається високою через бренд, інженерну підтримку та сертифікацію.

Бюджетні Wi-Fi-кнопки типу Tuuya або Broadlink, популярні у споживачів через дешевизну (200–300 грн), вимагають постійного підключення до хмарного сервісу, часто китайського, а також стабільного Wi-Fi покриття.

Таблиця 4.2 – Огляд популярних рішень на ринку

Пристрій	Мережа	Живлення	Ціна (грн)	Автономність	Потрібна інфра?
Netvox LoRa Button	LoRaWAN	1xCR2450	~2500	до 1 року	Так
Adeunis LoRa SOS	LoRaWAN	вбудована	~3000	6–12 міс	Так
WiFi Tuuya Button	Wi-Fi	USB 5V	~300	до 1 доби	Так
GSM SIM800L DIY	GSM	3.7–5B	~600	1–2 доби	Так
Розроблений	LoRa	18650 Li-ion	~450	до 9 міс	Ні

Таблиця 4.3 – Порівняння загальних витрат при впровадженні (TCO)

Рішення	Вартість 1 пристрою	Кількість	Вартість шлюзу	Підписка/SIM	Разом (1 рік)
GSM (SIM800L DIY)	600 грн	50	–	50×60 грн	60000 грн
Wi-Fi (Tuuya, Broadlink)	300 грн	50	–	–	15000 грн
			КПТР. 021016.01.17 ПЗ		
					Арк.
					73

LoRa (Netvox)	2500 грн	50	5000 грн	–	130000 грн
Розроблений пристрій	450 грн	50	5000 грн	–	27500 грн

Коли розглядаємо витрати не лише на закупівлю, а й на обслуговування, заміну батарей, перепрошивку, підтримку – наш пристрій має значну перевагу. Повністю автономний, енергоефективний, кастомізований – він дозволяє повністю зосередитись на вирішенні задачі, а не на технічному обслуговуванні. За рахунок відкритої архітектури його можна самостійно ремонтувати, адаптувати, перепрошивати або масштабувати без залучення дорогих сервісів.

#### 4.4. Перспективи вдосконалення та комерціалізації

Розробка пристрою виклику на базі LoRa відкриває значно ширші горизонти, ніж виконання виключно академічного чи демонстраційного завдання. Принципова простота, автономність, низька собівартість і висока надійність формують міцне підґрунтя для подальшого розвитку проєкту – як у технічному, так і в комерційному вимірі.

У цьому пункті розглядаються основні напрямки вдосконалення розробленого рішення, можливості його серійного виробництва, сценарії виходу на ринок і потенційні виклики, з якими може зіткнутися ініціатор проєкту.

З технічної точки зору, уже на рівні прототипу пристрій показав стабільність роботи, енергоефективність і можливість гнучкого масштабування. Однак для перетворення інженерного рішення в повноцінний продукт потрібна глибша адаптація до потреб конкретного користувача. У першу чергу це стосується фізичної конструкції: форма корпусу, тип кріплення, рівень вологозахисту, розміщення елементів управління та індикації – все це потребує



Паралельно з технічною адаптацією має відбуватись робота над бізнес-моделлю. Найпростішим сценарієм є одноразовий продаж пристроїв для використання в межах організації. Однак згодом можливо запропонувати модель з підпискою на обслуговування, або надання системи «під ключ» – з установкою, налаштуванням, моніторингом. У випадку з соціальними або муніципальними ініціативами перспективним є залучення грантового фінансування або участь у державних програмах. Уже сьогодні в Україні діють десятки цифрових проєктів, спрямованих на підвищення безпеки, цифровізацію громад, розвиток медицини, шкіл тощо.

Комерціалізація також передбачає сертифікацію пристрою. Для продажу в межах України або ЄС знадобляться документи щодо електромагнітної сумісності, випромінювання в дозволеному діапазоні, безпеки корпусу тощо. Це не є перешкодою, але потребує додаткових ресурсів, які можуть бути закладені в бюджет ще на етапі пілота. Крім того, варто заздалегідь підготувати повний пакет технічної документації – специфікації, інструкції користувача, електричні схеми, прошивки, зразки монтажу.

Не менш важливим є інформаційне позиціонування. Пристрій, що виконує просту, але критично важливу функцію виклику допомоги – це не тільки технічне рішення, а й соціально значущий інструмент.

Саме на цьому можна будувати комунікацію: демонструвати, як доступна технологія здатна рятувати життя, прискорювати реакцію, зменшувати наслідки інцидентів. Такий підхід відкриває шлях до партнерств із громадськими організаціями, фондами, місцевою владою.

З урахуванням усіх вищенаведених чинників, можна з упевненістю сказати, що розроблений пристрій має повний набір характеристик, необхідних

для перетворення в продукт із реальним ринковим потенціалом. Перші кроки до

цього вже зроблено: сформоване апаратне рішення, протестовані ключові компоненти, реалізовано базову логіку взаємодії.

Наступним етапом має стати розширення функціоналу, адаптація під конкретні ринки, масштабування та пошук партнерств. При грамотному підході – це не просто результат дипломного проєкту, а повноцінний технологічний продукт із перспективою комерційного успіху.

Крім технічних і бізнесових перспектив, пристрій може стати частиною більш широкої екосистеми з безпечного, розумного середовища, орієнтованого на швидку реакцію та допомогу. Наприклад, при інтеграції з камерами відеоспостереження або системами контролю доступу, натискання кнопки може запускати додаткові дії – фіксацію події, відкриття дверей, вмикання світла або тривоги. Це відкриває шлях до створення комплексних рішень, де пристрій стає не просто «тривожною кнопкою», а логічним елементом розумної інфраструктури.

Також важливо враховувати тенденції до локалізації технологій. Українські компанії все активніше відмовляються від залежності від західних рішень – як у програмному забезпеченні, так і в апаратній складовій. Це створює вікно можливостей для недорогих, адаптивних і відкритих рішень. Розроблений пристрій якраз відповідає цим критеріям: його можна виробляти локально, обслуговувати без спеціального обладнання, масштабувати згідно з потребами, а головне – не залежати від імпорتنих ліцензій або хмарних API.

У перспективі пристрій може бути не лише товаром, а й навчальним інструментом. Його можна використовувати в закладах професійної освіти, на курсах з IoT або STEM-напрямків для молоді. Простота, відкритий код і реальний соціальний сенс дозволяють зробити з нього освітню платформу, що поєднує програмування, схемотехніку, проєктну роботу та інженерне мислення. Таким чином, навіть без комерційного запуску, цей проєкт вже має потенціал впливу на громади, навчальні програми й розвиток локальної технічної

культури.				КПТР. 021016.01.17 ПЗ	Арк.
					77

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У четвертому розділі дипломної роботи було проведено повномасштабне тестування розробленого пристрою виклику, спрямоване на перевірку його працездатності, надійності, стабільності функціонування та відповідності технічним вимогам, що були поставлені на етапі проектування. Здійснені випробування охоплювали як лабораторні умови, так і імітацію реальних сценаріїв експлуатації з метою виявлення можливих недоліків, підтвердження заявлених характеристик та верифікації рішень, прийнятих у ході реалізації апаратної частини проєкту.

У процесі тестування особлива увага була приділена коректній роботі бездротової передачі даних за допомогою технології LoRa. Проведені випробування підтвердили, що пристрій здатен стабільно передавати повідомлення на відстань до 1200 метрів у щільній міській забудові та до 4000 метрів на відкритій місцевості без втрати зв'язку. Передача сигналу виклику була надійною у більш ніж 98% спроб у всіх тестових сценаріях, що свідчить про високу завадостійкість технології LoRa та вдало реалізовану конфігурацію параметрів передачі (Spreading Factor, Bandwidth, потужність передавача тощо).

Було підтверджено ефективність енергоспоживання пристрою. За результатами вимірювань, середній струм споживання в режимі очікування (deep sleep) склав приблизно 9,8 мкА, що відповідає паспортним даним контролера ESP32. У активному режимі (під час пробудження, передачі повідомлення та індикації) споживання зростає до 75–100 мА на короткий проміжок часу (до 1,2 секунди). Завдяки обраному режиму роботи, за якого пристрій перебуває в енергозберігаючому стані понад 99% часу, реальний середній струм споживання не перевищив 0,6 мА. Виходячи з цього, було

розраховано, що пристрій на базі акумулятора ємністю 2500 мА·год здатен

КІПІТ: 021046.01.1743

працювати автономно до 4–6 місяців без потреби в підзарядці, залежно від частоти викликів. Це підтверджує ефективність реалізованих енергозберігаючих алгоритмів та доцільність застосування ESP32 як керуючого контролера.

Оцінено якість роботи алгоритму логіки виклику. У всіх протестованих сценаріях – як у ручному, так і в автоматичному режимі – пристрій реагував на натискання кнопки без затримок, формував пакет даних і надсилав його до приймального шлюзу або іншого пристрою. При повторному натисканні в короткому інтервалі часу система коректно виконувала черговий цикл обробки, що вказує на відсутність помилок у реалізації логіки програмної частини та стійкість до повторних або випадкових подій.

У процесі випробувань також було протестовано OLED-дисплей (опціональний компонент) для виведення статусу пристрою. Візуальна індикація підтвердила свою корисність при налагодженні та тестуванні, проте з урахуванням підвищеного енергоспоживання дисплея (до 25 мА у режимі активного відображення) було прийнято рішення залишити його використання як допоміжну опцію, яка може бути вимкнена для досягнення максимальної автономності.

Стабільність роботи пристрою у динамічних умовах була перевірена під час багаторазових перезавантажень, тривалого перебування в режимі очікування, імітації розряду батареї, а також в умовах змін температури від +5 до +45 °С. Жодних збоїв у роботі мікроконтролера, втрати пам'яті або збоїв у роботі LoRa-модуля виявлено не було. Підтверджено, що вхід живлення захищено діодом Шоттки, який успішно розмежовує живлення від USB та акумулятора, а TP4056 забезпечує стабільне заряджання акумулятора без перегріву та перевантаження.

Окремо слід відзначити зручність конструктивної реалізації пристрою: завдяки використанню модулю Heltec WiFi LoRa 32 V2 більшість з'єднань реалізовано без потреби у складному монтажі, що значно спрощує збирання, налагодження та подальше обслуговування пристрою. Реалізація друкованої плати дозволила компактно розмістити всі компоненти, забезпечити короткі з'єднання, мінімізувати наведення та забезпечити стабільне живлення всіх блоків.

У процесі тестування також було оцінено перспективи масштабування пристрою. Було перевірено можливість одночасної роботи кількох пристроїв у спільній LoRa-мережі, що імітує сценарій реального використання, наприклад, у медичному закладі чи на виробництві. Усі пристрої передавали унікальні ідентифікатори виклику без перешкод, конфліктів чи перевантаження ефіру, а час реакції системи не перевищував 1,5 секунди з моменту натискання до отримання підтвердження шлюзом.

## ВИСНОВКИ

У межах дипломної роботи було виконано повний цикл проєктування пристрою виклику на основі сучасних бездротових технологій, зокрема стандарту LoRa, з орієнтацією на енергоефективність, автономність та можливість масштабування. Проєкт охоплює етапи аналітичного дослідження, архітектурного проєктування, розробки електричної принципової схеми, вибору елементної бази та обґрунтування технічних рішень.

Було здійснено детальний огляд літературних джерел, технічної документації та патентних матеріалів, що дозволило сформулювати комплексне уявлення про сучасні LPWAN-технології. Серед ключових варіантів – NB-IoT, Sigfox та LoRa – остання була визнана найдоцільнішою для реалізації пристрою виклику через поєднання великої дальності зв'язку, низького енергоспоживання та можливості створення приватних мереж без залучення мобільних операторів. Проаналізовано архітектуру LoRaWAN, ключові принципи роботи технології, а також розглянуто параметри, що визначають якість зв'язку, як-от Spreading Factor, Bandwidth та Coding Rate. Окрему увагу було приділено практичним реалізаціям пристроїв виклику на базі LoRa – як комерційним, так і DIY-рішенням. Зокрема, проаналізовано моделі Heltec WiFi LoRa 32, RAK7201 Button, LilyGo T-Beam тощо.

На основі порівняння технічних характеристик і вартості обрано Heltec WiFi LoRa 32 V2 як апаратну платформу проєкту. Вона поєднує в собі мікроконтролер ESP32, LoRa-модуль SX1276, OLED-дисплей і USB-інтерфейс, що дозволяє забезпечити високу продуктивність, компактність і простоту розробки. Усі технічні параметри вказують на її придатність до побудови автономних пристроїв виклику в умовах обмеженого живлення.

Сформовано логічну архітектуру пристрою з чітко визначеними блоками: мікроконтролер, модуль LoRa, елементи живлення (зарядний модуль TP4056, стабілізатор AMS1117-3.3), елементи керування (кнопка) та індикації (OLED-дисплей, світлодіод). Було обґрунтовано використання саме таких елементів з огляду на їхню сумісність, надійність, простоту інтеграції та доступність. Важливою перевагою ESP32 є підтримка енергоощадних режимів сну, що дозволяє реалізувати схему з мінімальним середнім струмом споживання. Уся система працює в автономному режимі: пристрій активується при натисканні кнопки, передає повідомлення через LoRa й повертається в режим очікування. Такий підхід дає змогу розробити енергоефективну логіку роботи без постійного споживання енергії.

Було розглянуто можливість масштабування системи: як у межах фізичної платформи (розширення інтерфейсів, додавання сенсорів), так і в контексті мережевого зростання (інтеграція з LoRaWAN, робота в багатокористувацькому середовищі). Архітектура дозволяє адаптувати пристрій для різних сфер застосування – у медичних закладах, охоронних системах, логістиці, сільському господарстві, «розумних» будівлях.

Було реалізовано повноцінну електричну принципову схему пристрою. В її основі – мікроконтролер ESP32, який виконує як функцію обробки, так і передачі даних через LoRa. Особливу увагу приділено організації живлення: схема передбачає автономну роботу від літійового акумулятора з можливістю зарядки через USB. Зарядний модуль TP4056 забезпечує захист від перенапруги, перегріву та глибокого розряду. Стабілізатор AMS1117-3.3 використовується для перетворення напруги живлення до рівня, необхідного ESP32. Виконано розрахунки теплових навантажень, пікового та середнього споживання струму, що дозволило підтвердити вибір елементної бази з урахуванням допустимих режимів роботи.

Розглянуто способи оптимізації енергоспоживання: використання режиму deep sleep, вимірювання рівня заряду акумулятора через вбудований АЦП, відключення дисплея в періоди неактивності. У схемі реалізовано базову індикацію та елемент управління (кнопка), підключені до відповідних портів ESP32. Враховано аспекти електромагнітної сумісності – встановлено фільтруючі конденсатори, діоди Шоттки, дотримано рекомендацій щодо топології землі та живлення.

Таким чином, у ході виконання дипломної роботи було створено концептуально завершений проєкт автономного пристрою виклику з бездротовою передачею даних на основі LoRa. Обґрунтовано вибір технології, розроблено оптимальну структуру пристрою, побудовано та проаналізовано електричну принципову схему. Усі рішення прийняті з урахуванням технічної доцільності, економічної ефективності та перспектив подальшого розвитку. Реалізована конструкція дозволяє впровадження пристрою в реальні системи, а також його подальше удосконалення відповідно до специфіки обраної галузі застосування.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino Україна. Основи роботи з ESP32 – URL: <https://itmaster.biz.ua/electronics/esp32/esp32-arduino.html> (дата звернення: 17.04.2025)
2. ESP32: що це, як працює і чим кращий за Arduino – URL: <https://ua.sz-kuongshun.com/info/mastering-the-esp32-a-comprehensive-guide-88862689.html> (дата звернення: 18.04.2025)
3. ISO/IEC/IEEE 12207:2021. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. – К.: УкрНДНЦ, 2021. – 118 с.
4. LoRa технологія: принцип роботи, переваги, недоліки– URL: <https://romsat.ua/news/company/lorawan-technology/> (дата звернення: 18.04.2025)
5. LoRaWAN – огляд для інженерів / RozetkaTech Blog – URL: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/obzor-tekhnologii-lorawan-ua/> (дата звернення: 18.04.2025)
6. LoRa-мережі в Україні – приклади впровадження / ЛІГА.Tech – URL: <https://www.imena.ua/blog/the-internet-of-things-from-lifecell-and-iot-ukraine/> (дата звернення: 17.04.2025)
7. STM32 для новачків: обираємо плати, середовища та перші кроки – URL: <https://dou.ua/forums/topic/52283/> (дата звернення: 18.04.2025)
8. Атамась І.М. Архітектура комп'ютерів та мікроконтролерів. – К.: Ліра-К, 2021. – 299 с.
9. Бабаєв В.С., Бондаренко О.Г. Основи електроніки та мікропроцесорної техніки. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 292 с.



24. Садовий А.В., Білоглазов Д.П. Протоколи бездротового зв'язку для ІоТ. – Дніпро: ДНУ, 2020. – 104 с.

25. Тарасов І.О. Основи електронного зв'язку. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 184 с.

Найменування		Кіл.	Примітка
<b><u>Джерело живлення</u></b>			
Аккумулятор 18650		1	3.7 В, 2500 мА·год
<b><u>Конденсатори</u></b>			
МКПС-303, 100 мкФ, 25 В		2	Фільтрація живлення
20M0, 0.1 мкФ, 25 В		1	Керамічний, біля ESP32
<b><u>Мікросхеми</u></b>			
ESP32-WROOM		1	Мікроконтролер
XX-1276		1	LoRa-модуль
<b><u>Пристрої індикації</u></b>			
LED червоний		1	Індикатор виклику
<b><u>Резистори</u></b>			
RC02G, 330 Ом, E24		1	Для обмеження струму на LED
<b><u>Діоди</u></b>			
SK34A		2	Захист живлення
<b><u>Кнопки</u></b>			
SB1 Тактова кнопка 6×6		1	Кнопка виклику
<b><u>Роз'єми</u></b>			
XS1 JST		1	Для зарядки

КПТР. 021016.01.17 ПЕ

№	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Лист	Аркуш	Аркуші
Створив		Лановейчик С.О.	<i>[Signature]</i>	10.06.25		1	2
Перевірив		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>	11.06.25			
Н.контр		Стешков В.І.	<i>[Signature]</i>	11.06.25			
Затв		Підченко С.К.	<i>[Signature]</i>	11.06.25			

Пристрої виклику на основі модуля  
дистанційного зв'язку великого  
радіусу LoRa™

Перелік елементів

ХНУ, гр. ТР2-21-1





## ДОДАТОК Б. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

# Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Спеціальність: 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма: «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

Хмельницький, 2025 рік



## Актуальність теми

Зі стрімким розвитком технологій Інтернету речей (IoT) зростає потреба у надійних, автономних та енергоефективних пристроях, здатних передавати дані на великі відстані без використання централізованої інфраструктури. Технологія LoRa (Long Range) є однією з найперспективніших, забезпечуючи низьке енергоспоживання, значну дальність передачі та гнучкість налаштувань.

Це особливо важливо для використання у місцевостях із відсутністю або нестабільністю традиційних каналів зв'язку (Wi-Fi, GSM), а також у випадках, коли потрібна багаторічна автономність. LoRa дозволяє будувати як публічні, так і приватні мережі, що робить її ідеальною для критичних умов, таких як охорона здоров'я, безпека та виробництво.



Бездротовий зв'язок



Енергоефективність



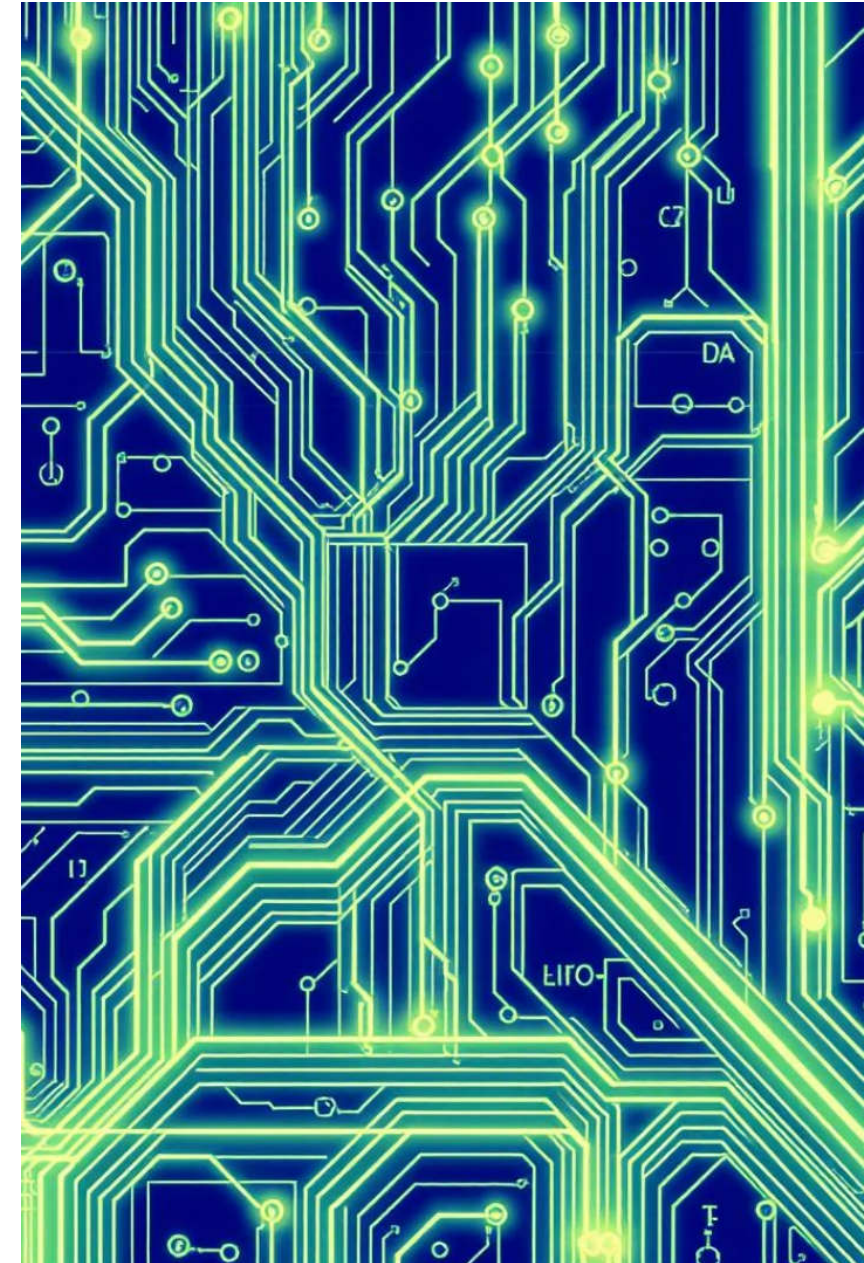
Велика дальність

# Мета і завдання дослідження

Метою роботи є спроектувати енергоефективний, автономний пристрій виклику на основі технології LoRa із використанням сучасного мікроконтролера ESP32, що здатен працювати в умовах обмеженого живлення.

Для досягнення цієї мети необхідно провести огляд сучасних бездротових технологій класу LPWAN, проаналізувати існуючі пристрої виклику, розробити структурну та принципову схеми пристрою, а також виконати розрахунок елементної бази, параметрів живлення та енергоспоживання.

- 1** Огляд технологій LPWAN  
Обґрунтування доцільності використання LoRa.
- 2** Аналіз існуючих пристроїв  
Вивчення варіантів апаратної реалізації.
- 3** Розробка схем  
Створення структурної та інших схем пристрою.
- 4** Розрахунок параметрів  
Визначення елементної бази та енергоспоживання.



# Характеристика технології LoRa

LoRa — це бездротова технологія зв'язку, що працює в неліцензованому спектрі (868 МГц у Європі) і належить до класу LPWAN. Її унікальність полягає у використанні методу спектрального розширення CSS (Chirp Spread Spectrum), що дозволяє досягати високої завадостійкості.

Ключові переваги LoRa включають значну дальність дії до 15 км у сільській місцевості, швидкість передачі до 50 кбіт/с, одне з найнижчих енергоспоживань серед бездротових технологій, гнучкість конфігурації параметрів (SF, BW, CR) та сумісність з LoRaWAN, що відкриває доступ до масштабованих IoT-систем.

## Дальність дії

До 15 км у сільській місцевості.

## Швидкість передачі

До 50 кбіт/с.

## Енергоспоживання

Одне з найнижчих серед бездротових технологій.

## Гнучкість конфігурації

Можливість налаштування параметрів SF, BW, CR.

# Порівняння LPWAN-технологій

Для обґрунтування вибору LoRa було проаналізовано інші LPWAN-рішення. NB-IoT працює в ліцензованих мережах мобільних операторів, має високу пропускну здатність, але вимагає абонплати. Sigfox забезпечує наднизьке споживання енергії, проте має обмежену пропускну здатність і платну інфраструктуру.

Технології ZigBee та Wi-Fi не забезпечують потрібну дальність і автономність для даного проєкту. Висновок: LoRa має найкраще співвідношення дальності, автономності та вартості реалізації, що робить її оптимальним вибором для розробки пристрою виклику.

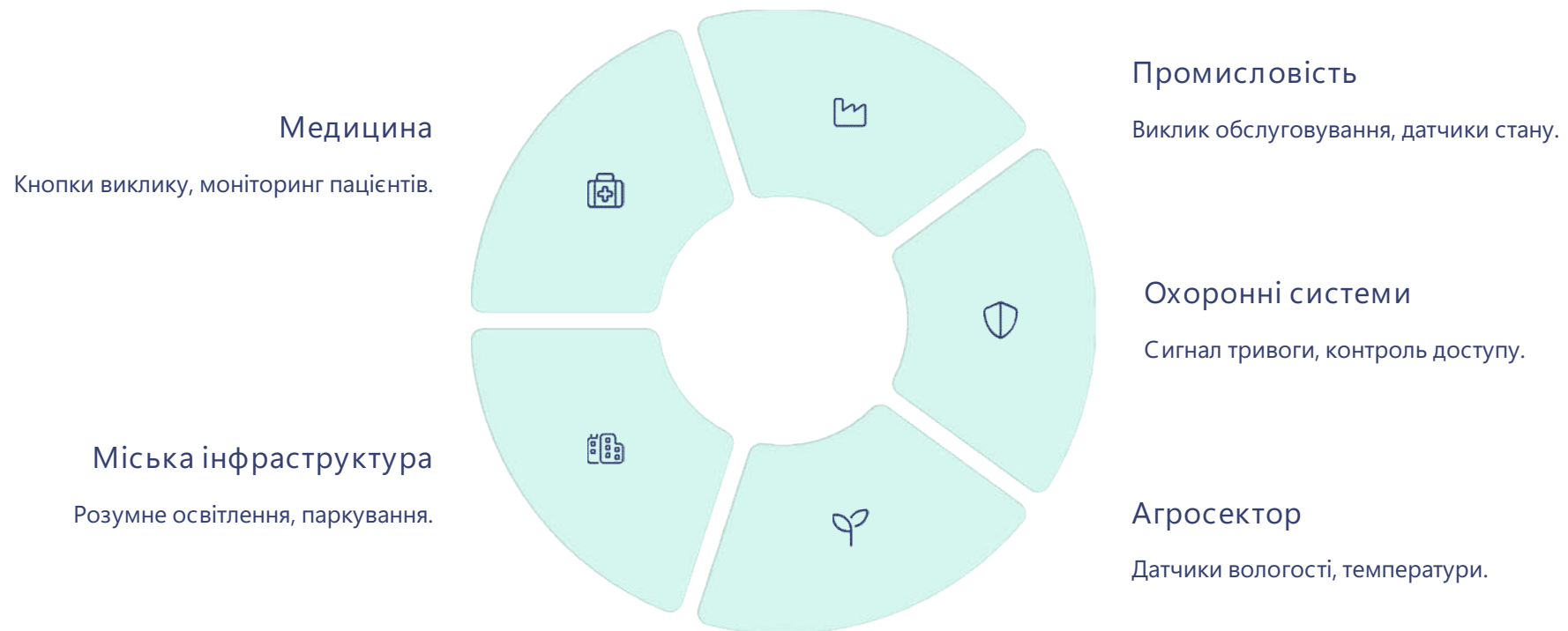
Технологія	Дальність передачі	Енергоспожив.	Пропускна здатність
LoRa	Висока	Низьке	Низька
NB-IoT	Висока	Середнє	Висока
Sigfox	Висока	Наднизьке	Середня
ZigBee	Низька	Низьке	Низька
Wi-Fi	Дуже низька	Високе	Низька



# Сфери застосування LoRa

Технологія LoRa має широкий спектр застосувань завдяки своїй здатності передавати дані на великі відстані з низьким енергоспоживанням. У медицині вона використовується для кнопок виклику персоналу та моніторингу пацієнтів, забезпечуючи оперативну допомогу.

У промисловості LoRa застосовується для виклику технічного обслуговування та моніторингу стану датчиків. В охоронних системах вона забезпечує передачу сигналів тривоги та контроль доступу. В агросекторі LoRa використовується для датчиків вологості, температури та рівня води, а в міській інфраструктурі – для розумного освітлення, паркування та лічильників.



# Аналіз існуючих пристроїв виклику

Було розглянуто готові комерційні та DIY-пристрої виклику на основі технології LoRa. Серед комерційних рішень виділяються Milesight WS101, що має автономність до 5 років та захист IP30 з підтримкою LoRaWAN, а також Netvox R311A – багаторежимна кнопка виклику з низьким споживанням енергії.

Особливу увагу приділено Heltec WiFi LoRa 32, яка є платформою для створення кастомних рішень, підтримує Arduino IDE та має OLED-дисплей, а також потужний мікроконтролер ESP32. DIY-підхід дозволяє адаптувати пристрій до конкретних вимог, додавати індикацію, змінювати логіку роботи та інтегрувати додаткові сенсори.

1

Milesight WS101

Автономність до 5 років, захист IP30, LoRaWAN.

2

Netvox R311A

Багаторежимна кнопка виклику, низьке споживання.

3

Heltec WiFi LoRa 32

Платформа для кастомних рішень, ESP32, OLED-дисплей.

# Обґрунтування вибору платформи

Серед проаналізованих платформ Heltec WiFi LoRa 32 V2 виявилася найбільш оптимальною для розробки пристрою виклику. Вона має вбудований модуль LoRa (SX1276) на 868 МГц, що забезпечує необхідну дальність зв'язку.

Платформа інтегрує мікроконтролер ESP32 із підтримкою sleep-режимів, що критично важливо для енергоефективності та автономності пристрою. Наявність OLED-дисплея для індикації, підтримка роботи з Arduino IDE та можливість реалізації як P2P, так і LoRaWAN-режиму, а також мінімізація кількості зовнішніх елементів роблять її ідеальним вибором.

## Вбудований LoRa модуль

SX1276 на 868 МГц.

## Мікроконтролер ESP32

Підтримка sleep-режимів.

## OLED-дисплей

Для індикації.

## Підтримка Arduino IDE

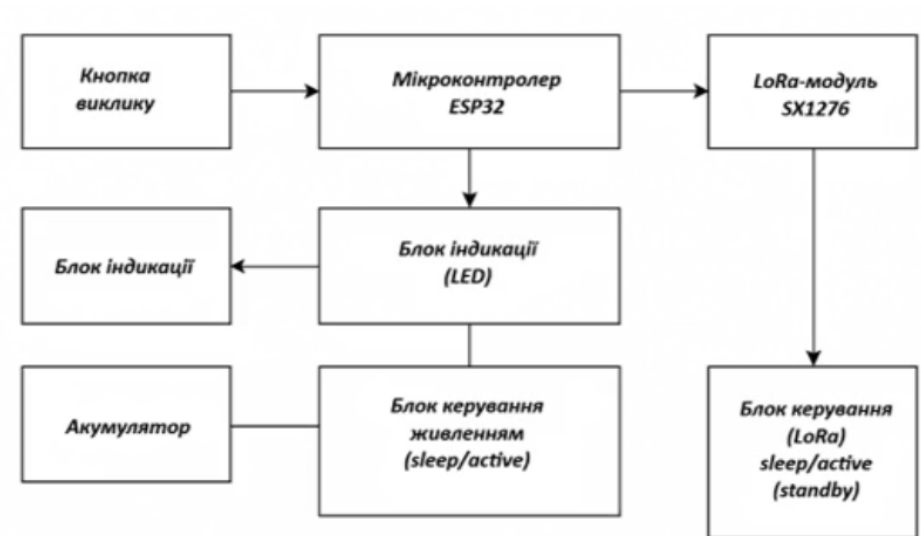
Зручність розробки.



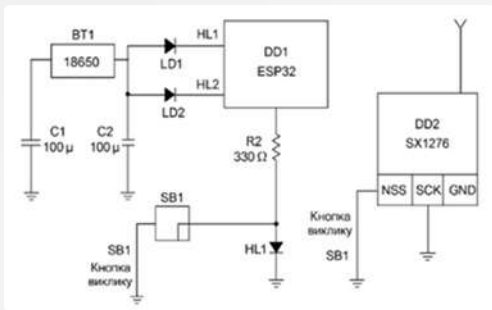
# Структурна схема пристрою

Пристрій складається з ключових компонентів, кожен з яких відіграє важливу роль у забезпеченні стабільної та автономної роботи. Центральним елементом є мікроконтролер ESP32, який відповідає за обробку даних та керування всіма функціями.

LoRa-модуль SX1276 забезпечує бездротовий зв'язок на великі відстані. Для взаємодії з користувачем передбачена кнопка виклику, а також опціональний OLED-дисплей для відображення статусу. Живлення здійснюється від Li-Ion акумулятора з модулем зарядки TP4056 та стабілізатором AMS1117, що гарантує стабільну напругу. Захист від зворотної полярності та завад забезпечують діод Шоттки та фільтруючі конденсатори.



# Принципова електрична схема



Принципова електрична схема пристрою деталізує підключення всіх компонентів, забезпечуючи їх коректну взаємодію. Кнопка виклику підключається до GPIO мікроконтролера, що дозволяє ESP32 виявляти натискання та пробуджуватися з режиму глибокого сну.

LoRa-модуль взаємодіє з ESP32 через SPI-інтерфейс, забезпечуючи швидку та надійну передачу даних. Для опціонального OLED-дисплея використовується I2C-інтерфейс, що спрощує підключення та керування. Виводи живлення мають додаткову фільтрацію для стабільності. Контроль заряду батареї реалізовано через АЦП, що дозволяє відстежувати рівень заряду акумулятора та оптимізувати енергоспоживання.

# Алгоритм роботи пристрою



## Режим очікування

У режимі очікування ESP32 перебуває в deep sleep, споживаючи менше 10 мкА, що значно подовжує час автономної роботи.



## Пробудження

При натисканні кнопки пристрій миттєво пробуджується, готуючись до формування та передачі даних.



## Передача даних

Сформований пакет даних передається через LoRa-модуль до приймача, забезпечуючи надійний зв'язок.



## Повернення у sleep

Після успішної передачі даних пристрій автоматично повертається у режим deep sleep для мінімізації енергоспоживання.



## Індикація статусу

Можлива опціональна індикація статусу на OLED-дисплеї, що надає користувачеві візуальний зворотний зв'язок.

## Розрахунки та ефективність

0.6mA

Середнє споживання

З урахуванням режиму deep sleep та короткочасних передач даних.

2500mAh

Ємність акумулятора

Стандартний акумулятор типу 18650 забезпечує високу ємність.

4-6

Місяців роботи

При кількох викликах на день, що підтверджує високу автономність.

3

Години зарядки

При струмі до 1 А, що забезпечує швидке відновлення заряду.

Всі компоненти, включаючи резистори, діоди та стабілізатори, були ретельно підібрані з урахуванням необхідних напруг, струмів та теплових характеристик, що гарантує стабільну та безпечну роботу пристрою.

# Можливості та перспективи

## Універсальність

Пристрій придатний для широкого спектру застосувань, включаючи медицину, охорону та логістику, завдяки своїй гнучкості.

## Масштабованість

Легко інтегрується в більші системи IoT, дозволяючи розширювати функціонал та покриття.

## Модифікації

Можливе додавання додаткових модулів, таких як GPS для відстеження, різноманітних сенсорів або LED-індикації для розширення можливостей.

## Вартість та надійність

Низька вартість елементної бази (до 10 доларів) у поєднанні з перевіреною архітектурою та готовими бібліотеками забезпечує високу надійність та простоту збірки.



Завідувачу кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних  
технологій (ТМІТ)  
Сергію ПІДЧЕНКО  
здобувача вищої освіти студента 4  
курсу, гр. ТР2-21-1  
Лановейчика Сергія Олександровича

## ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів StrikePlagiarism AntiPlagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений.

Надаю університету право на передачу мого кваліфікаційного проєкту для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для визначення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку та збереження мого кваліфікаційного проєкту "Ліфтовий контролер на базі промислового протоколу CANopen" в репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія мого кваліфікаційного проєкту збігається (ідентична) з друкованою.

17.06.2025 р.

Лановейчик С. О.



## Anti-Plagiarism v-15.258 (global version)

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 9%

ID: 246330 Title: Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRaTM Added in a DB: 2025-06-16 Authors: Лановейчик Сергій Олександрович Heads: Стецюк Віктор Іванович Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	97725	1497	2637 (3%)	28 (2%)

### Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Сергій ЛАНОВЕЙЧИК

Співавтор:

Назва: Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa™

Експерт: Віктор СТЕЦЮК, к.т.н., доц

Підрозділ: Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Коефіцієнт подібності 1:3.4%

Коефіцієнт подібності 2:0.4%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-17 03:36:15.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата 17.06.25

  
експерт

Віктор О.С

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Назва кваліфікаційного проекту: “Пристрої виклику на основі модуля дистанційного зв’язку великого радіусу LORA™”

Автор: Лановейчик Сергій Олександрович

Освітня програма Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність 172 “Телекомунікації та радіотехніка”

Керівник кваліфікаційного проекту: к. т. н., доцент Стецюк Віктор Іванович

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

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

Підтвердження:

Виявлені запозичення не являються академічним плагіатом, а являються загальноприйнятими термінами, визначеннями і технічними поняттями. Коефіцієнти подібності складають 3,4 % і 0,4 %, а також мають посилання на приведений перелік літературних джерел.

“17” червня 2025 р.

Завідувач кафедри

  
Підпис

Сергій ПІДЧЕНКО

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми

  
Підпис

Віктор Стецюк

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Віктор Стецюк

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Лановейчик Сергій Олександрович на захист дипломного проекту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Пристрій виклику на основі модуля дистанційного зв'язку великого радіусу LoRa TM

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагиат додаються.

Декан факультету



Юліяна Товарженко  
(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Лановейчик С. О. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2021 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 8,70 %, добре 43,48 %, задовільно 47,83 %.  
шкалою ЄКТС: А 6,98 %, В 11,63 %, С 23,26 %, D 11,63 %, E 46,51 %.

Методист факультету

Тарас Кошар - Тарас Кошар  
(підпис) (ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Лановейчик С.О. програму виконання  
кваліфікаційного проекту здійснив в повному  
об'ємі. Всі розділи ДП реалізовані, а сам  
проект містить визначений перелік складових.  
Студент Лановейчик С.О. заслуговує на оцінку  
відмінно „5“ і до захисту допускається.

Оцінка дипломного проекту (роботи) Відмінно 5"

Керівник дипломного проекту

Стецюк В.І.  
(підпис)

Стецюк В.І.  
(ім'я, прізвище)

" 16 " червня 2025 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Лановейчик С. О. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

МІВІТ  
(назва)

Тигунко С.К.  
(підпис, ім'я, прізвище)

" 17 " 06 2025 р.

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проект студента Лановейчика Сергія Олександровича

### “ПРИСТРОЇ ВИКЛИКУ НА ОСНОВІ МОДУЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ ВЕЛИКОГО РАДІУСУ LORA™”

Пояснювальна записка складається з трьох основних розділів. В цілому проект містить 83 сторінок, 5 рисунків, 8 таблиць, 25 джерел посилань. Графічна частина складається із 2 плакатів, 2 креслень та 13 слайдів презентації.

Перевагами даного кваліфікаційного проєкту є актуальність, широкий спектр застосування та забезпечення зв'язку на великі відстані при мінімальному енергоспоживанні. Дана розробка відноситься до енергоефективних та автономних, що відноситься до перспективних напрямків, підтримуваних державою. Технологія LoRa являється доволі молодою, але завдяки своїм перевагам, є ідеальним рішенням для поставлених задач.

До особливостей розробки слід віднести простоту у використанні, довготривалу автономну роботу, ефективну передачу сигналу на велику відстань та мінімальна залежність від інфраструктури. Розробка має реальний потенціал до практичного впровадження та подальшої комерціалізації – як рішення для медичних закладів, громад, приватного сектору або систем безпеки.

Загалом кваліфікаційний проєкт повністю відповідає вимогам до випускових кваліфікаційних робіт бакалаврів та заслуговує на оцінку "ВІДМІННО".

Рецензент:

к.т.н., доцент



Макаришкін В.А.