

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Електронної та біомедичної інженерії \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра \_\_\_\_\_ Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв \_\_\_\_\_  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Дослідження інформаційно-контрольної системи дистанційного  
керування \_\_\_\_\_  
(тема)

Виконав:  
здобувач 2 року навчання, групи ЕППм-23-1

\_\_\_\_\_ Троян І.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 171 Електроніка \_\_\_\_\_  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Електронні прилади та \_\_\_\_\_  
пристрої \_\_\_\_\_  
(повна назва освітньої програми)

Керівник \_\_\_\_\_ проф. Стрілкова Т.О. \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Бондаренко І. М. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

2025 р.

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії  
(повна назва)Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв  
(повна назва)Рівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 171 Електроніка  
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Електронні прилади та пристрої  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУздобувачеві Троян Іллі Вячеславовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Дослідження інформаційно-контрольної системи дистанційного керуваннязатверджена наказом університету від 06 грудня 2024 р. № 1283 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

3. Вихідні дані до роботи: Дистанційний контроль та зв'язок в сільхоз господарста, Радіо зв'язок та можливості його використання в промислових цілях, Бездротовий SMD трансивер 410 ... 493 MHz на базі SX1268. Інтерфейси підключення: SPI. Тип модуляції: LoRaTM / GFSK. Потужність передавача: 30dBm, чутливість приймача: -150 dBm, відстань передачі: 12000м на відкритому просторі з антеною 5dbi. Антена: IPEX роз'єм. Живлення: 2,5..5,5VDC

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

- 1) Побудова інформаційно контрольної системи дистанційного керування
- 2) Фізико-технічні параметри сигналів в інформаційно контрольної системи дистанційного керування
- 3) Аналіз та моделювання впливу перешкод на інформаційно контрольну систему дистанційного керування

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Слайд презентація 12 аркушів

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	09.12.2024	
2	Аналіз літературних джерел та нормативної документації	10.12.2024	
3	Проведення розрахунків перешкод для радіосигналу	11.12.2024	
4	Проведення фізико-математичного моделювання розповсюдження сигналів в середовищі	15.12.2024	
5	Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	02.01.2025	
6	Підготовка презентації	03.01.2025	
7	Рецензування, нормоконтроль	04.01.2025	
8	Захист роботи	14.01.2025	

Дата видачі завдання 09 грудня 2024 р.

здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 52 сторінок, 15 рисунків, 14 таблиці, 10 джерел, 2 додатки.

### СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ; РАДІОЗВ'ЯЗОК; LoRa-WAN; LoRa ДАТЧИК; ВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ-ШУМУ

Об'єкт дослідження – дослідження та удосконалення систем дистанційного керування з урахуванням фізичних процесів розповсюдження радіосигналу в середовищі

Мета роботи – розробити систему радіозв'язку для дистанційного керування, яка забезпечує високу надійність і стабільність передачі даних в умовах фізичних перешкод та значних відстаней.

Задачи дослідження:

- а) Проведення порівняльного аналізу методів дистанційного зв'язку;
- б) Урахування законодавчої бази що пов'язані з використанням радіозв'язку в промислових цілях;
- в) Проведення розрахунків величини відношення сигнал/шум для кожної з цілей та проведення моделювання інтенсивності сигналу що приймається.

Метод дослідження – моделювання систем радіозв'язку, аналіз параметрів зв'язку, вивчення впливу фізичних чинників на якість передачі даних, розрахунок ефективності та тестування прототипів у реальних умовах.

Результати дослідження – виконано моделювання та тестування радіоканалів передачі даних. Визначено ключові параметри для забезпечення стабільної роботи системи зв'язку. Розроблена система може використовуватися у промислових умовах та побуті, забезпечуючи високу ефективність.

## ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 52 pages, 15 figures, 14 tables, 10 references, 2 appendixes

REMOTE CONTROL SYSTEM; RADIO COMMUNICATION; LoRa-WAN; LoRa SENSOR

The object of the research is the study and improvement of remote control systems taking into account the physical processes of radio signal propagation in the environment

The purpose of the work is to develop a radio communication system for remote control, which provides high reliability and stability of data transmission in conditions of physical obstacles and significant distances.

Research objectives:

- a) Conducting a comparative analysis of remote communication methods;
- b) Taking into account the legislative framework related to the use of radio communication for industrial purposes;
- c) Carrying out calculations of the signal/noise ratio for each of the purposes and modeling the intensity of the received signal.

Research method – modeling of radio communication systems, analysis of communication parameters, studying the influence of physical factors on the quality of data transmission, calculating efficiency and testing prototypes in real conditions.

Research results – modeling and testing of radio data transmission channels were performed. Key parameters were determined to ensure stable operation of the communication system. The developed system can be used in industrial conditions and everyday life, ensuring high efficiency.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ABSTRACT .....	4
ЗМІСТ .....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ОПИС ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ .....	10
1.1 Опис задачі .....	10
1.2 Опис периферичних комплексів (Комплекси 1...5) .....	12
1.3 Роль центрального комплексу ("Комплекс 0").....	14
2 ОПИС МОЖЛИВИХ ВИРШЕНЬ ЗАДАЧ.....	17
2.1 Проблематика сигналу та методи їх мінімізації.....	17
2.2 Критерії вибору систем дистанційного передавання інформації.....	19
2.3 Опис критеріїв.....	20
2.4 Перелік систем що відповідають критеріям .....	21
2.5 Вибір системи дистанційного зв'язку .....	24
3 ЗАКОНОДАВЧІ ТА ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПО ВИКОРИСТАННЮ РАДІОЧАСТОТ.....	26
3.1 Особливості використання радіозв'язку.....	26
3.2 Критерії, на які потрібно звернути увагу .....	27
3.3 Вибір радіочастоти для використання.....	28
3.4 Опис частоти 433МГц.....	30
3.5 Модуль E22-400M30S .....	32

4 ПЕРЕШКОДИ НА ШЛЯХУ СИГНАЛУ ДО К"1...5".....	34
4.1 Розрахунок завад.....	34
4.2 Перешкоди на шляху до К"1" .....	35
4.3 Перешкоди на шляху К"2" .....	38
4.4 Перешкоди на шляху К"3" .....	40
4.5 Перешкоди на шляху К"4" .....	43
4.6 Перешкоди на шляху К"5" .....	45
ВИСНОВКИ .....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	51
ДОДАТОК А .....	
ДОДАТОК Б.....	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

К"0" - Комплекс 0. Є центральним, розрахунки проходження сигналу йде від нього

К"1...5" - Комплекси 1-5. Є периферійними комплексами цієї системи.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) - Глобальна мережа дальнього дії

UHF/VHF - надвисока частота та дуже висока частота)

SCADA – диспетчерське управління та збір даних

EMC -електромагнітна сумісність

РЕЗ - радіоелектронними засобами

с/ш – сигнал/шум

## ВСТУП

У сучасному світі дистанційний зв'язок став невід'ємною частиною багатьох сфер людської діяльності. Його важливість зростає з розвитком нових технологій, які дозволяють здійснювати зв'язок на відстані в реальному часі. Це забезпечує швидкий і ефективний обмін інформацією між обладнанням, системами та користувачами. Особливо це важливо для промисловості та сільського господарства, де дистанційне керування та моніторинг підвищують продуктивність, безпеку та знижують витрати.

У промислових галузях дистанційний зв'язок є ключовим інструментом автоматизації. Сучасні системи моніторингу та управління дозволяють контролювати параметри обладнання в режимі реального часу, зменшуючи ризики аварій. Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) оптимізує виробничі процеси та забезпечує ефективну взаємодію між елементами виробничих ланцюгів. Використання універсальних протоколів зв'язку, таких як MQTT, HTTP та Modbus, підвищує сумісність систем і забезпечує їх масштабованість.

У побутовій сфері дистанційний зв'язок також має значний вплив. Наприклад, системи "розумного будинку" дозволяють дистанційно керувати освітленням, опаленням та безпекою через мобільні додатки. Подібні технології забезпечують комфорт, безпеку і економію ресурсів. У транспортному секторі віддалений моніторинг дозволяє своєчасно виявляти проблеми в технічному стані транспортних засобів, підвищуючи їхню безпеку та ефективність.

У сільському господарстві дистанційне керування теплицями стало важливим інструментом підвищення врожайності та оптимізації витрат. Автоматизовані системи дозволяють фермерам контролювати полив, освітлення, вентиляцію та інші параметри за допомогою мобільних пристроїв. У великих теплицях такі рішення мінімізують ручну працю та підвищують точність

керування. В Україні впровадження цих технологій поки що знаходиться на початкових етапах, але ринок має значний потенціал для розвитку.

Дистанційний зв'язок відіграє важливу роль у створенні інтегрованих систем для різних сфер. Захист даних та аутентифікація залишаються критичними аспектами, що гарантують безпеку та конфіденційність інформації. З розвитком технологій IoT та автоматизації значення дистанційного зв'язку лише зростатиме, забезпечуючи нові можливості для промисловості, побуту та сільського господарства.

# 1 ОПИС ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

## 1.1 Опис задачі

Метою дипломного проекту є дослідження та аналіз можливостей дистанційного радіозв'язку в умовах різних фізичних перешкод. Основне завдання проекту полягає в оцінці ефективності передачі радіосигналу в складних умовах, таких як наявність фізичних перешкод, відстань між комплексами, і вплив цих факторів на якість зв'язку. Для цього передбачається розробка системи, що симулює роботу п'яти віддалених комплексів, кожен з яких знаходиться в різних умовах і стикається з різними типами перешкод. В центрі системи розташований центральний комплекс ("Комплекс 0"), який відповідає за керування системою, прийом і передачу даних (рис.1.1).

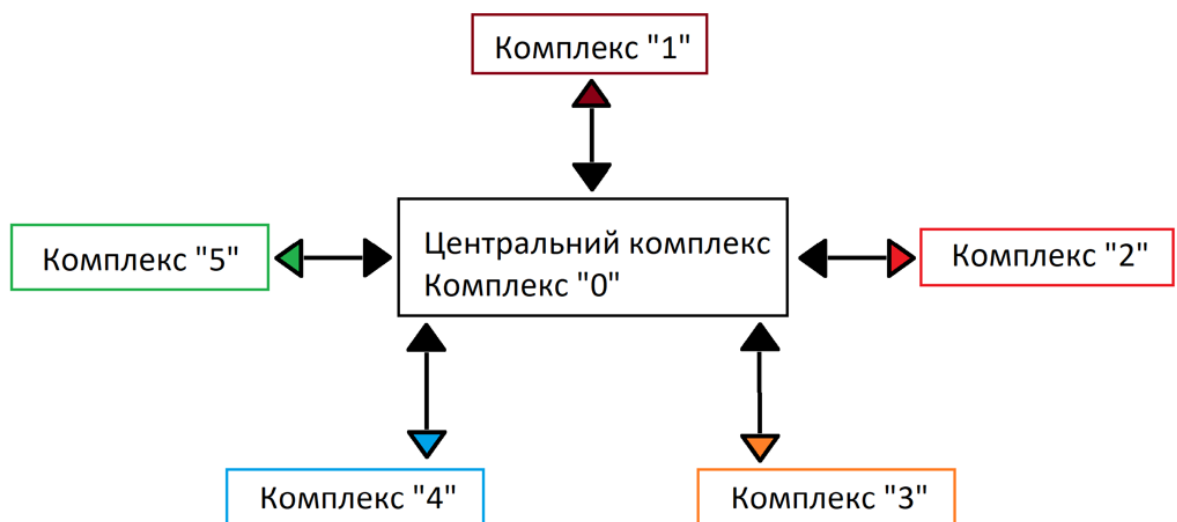


Рисунок 1.1 - Візуалізація завдання

Проект спрямований на вирішення теоретичної задачі забезпечення надійного зв'язку між віддаленими комплексами за допомогою дистанційного зв'язку. Основна мета полягає в організації двостороннього зв'язку між

центральним комплексом і п'ятьма периферійними комплексами, враховуючи такі виклики:

а) різна відстань між комплексами, що може впливати на силу та стабільність сигналу;

б) перешкоди на шляху проходження сигналу, які можуть знижувати якість зв'язку або повністю блокувати його;

в) перевірка цілісності передачі даних при їх прийманні.

На основі завдання необхідно виконати такі етапи роботи:

а) опис системи зв'язку: Слід детально описати систему дистанційного зв'язку, яка буде відповідати вимогам проекту. Це включає вибір необхідного обладнання для передачі даних, технічні характеристики передавачів та приймачів, а також аналіз можливостей для підсилення сигналу у випадку необхідності;

б) розрахунок сигналу: Потрібно провести розрахунки для кожної конфігурації системи, оцінюючи, як перешкоди впливатимуть на сигнал. Це передбачає аналіз різних типів перешкод (наприклад, стіни, дерева, інші фізичні об'єкти) і визначення необхідності в підсилювачах для поліпшення якості сигналу;

в) тестування системи: Для перевірки надійності системи необхідно протестувати її на великих обсягах даних (Big Data), щоб визначити, наскільки стабільно вона працюватиме в реальних умовах. Це включає симуляцію передачі великих масивів інформації між комплексами через систему зв'язку.

## 1.2 Опис периферичних комплексів (Комплекси 1...5)

Комплекси "1...5" є ключовими елементами периферійної інфраструктури системи. Їх основна роль полягає у зборі, обробці та передачі даних з датчиків, встановлених у теплицях, а також у виконанні локальних рішень для підтримки оптимальних умов вирощування рослин. Ці комплекси забезпечують безперервний потік інформації до центрального комплексу, що дозволяє системі оперативно реагувати на зміни середовища та підтримувати стабільну роботу.

Комплекси тісно взаємодіють з центральним комплексом, регулярно передаючи дані про поточний стан мікроклімату та отримують інструкції від користувачів/операторів для виконання подальших дій. Така взаємодія створює синхронізовану систему, де кожен комплекс виконує свою частину завдань для досягнення загальної ефективності. При цьому вони мають автономності, що дозволяє їм продовжувати виконувати основні функції навіть за умов втрати зв'язку з центральним комплексом, за рахунок попередньо заданих параметрів. .

Комплекси "1...5" відіграють важливу роль у забезпеченні гнучкості та стійкості системи. Завдяки їхній наявності система може ефективно функціонувати в умовах фізичних перешкод і різних середовищ, що робить її надійною та пристосованою до зовнішніх впливів (рис.1.2).

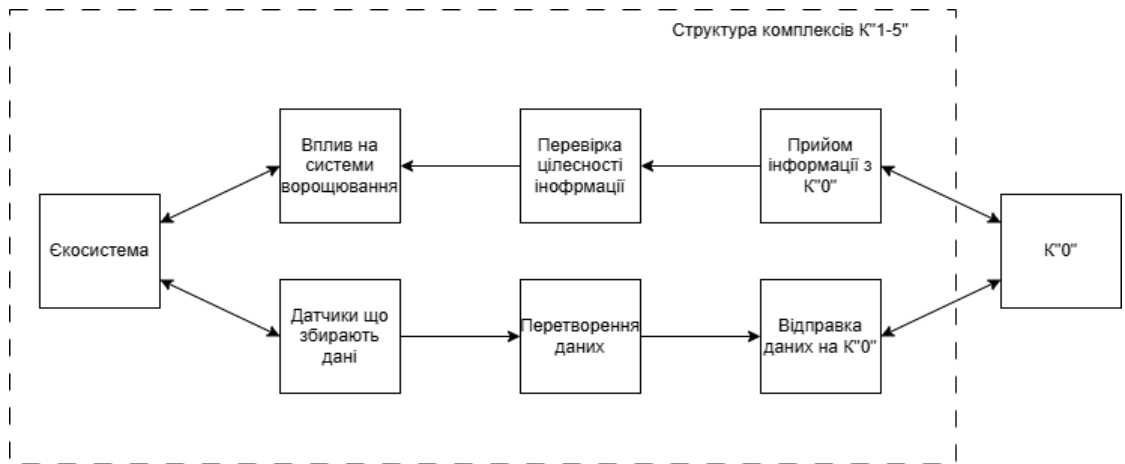


Рисунок 1.2- Внутрішня структура взаємозв'язку в комплексах "1-5"

Структура, що використовується для організації взаємозв'язків між комплексами, умовно ділиться на дві частини: перша частина не відповідає завданню проекту та не є необхідною, а друга є критично важливою для досягнення цілей системи. Таке розділення допомагає чітко визначити, які компоненти є основними і потребують детального аналізу та реалізації, а які можна вважати додатковими, які мають лише супутнє значення або не впливають на досягнення мети (рис.1.3).

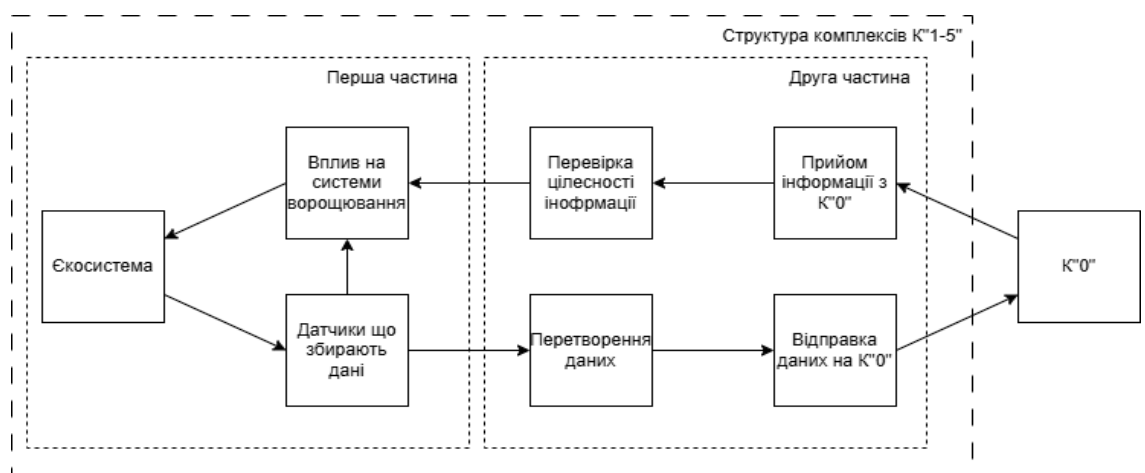


Рисунок 1.3- Структура взаємозв'язку в комплексах "1...5" з розділенням на логічні частини

Поділ структури на частини має практичне значення, оскільки дозволяє чітко визначити, які елементи варто детально розглядати, а які можна опустити без втрати цілісності та якості проекту. Такий підхід підвищує ефективність роботи над дипломним завданням, забезпечуючи концентрацію зусиль на тих аспектах, які безпосередньо впливають на досягнення поставленої мети.

Перша частина містить елементи, що не є пріоритетними для аналізу або реалізації, оскільки їхній вплив на загальну продуктивність і функціональність системи є мінімальним. Ці елементи можуть бути описані поверхнево або повністю виключені з подальшого розгляду. Натомість друга частина, яка включає ключові компоненти системи, заслуговує на детальний аналіз, оскільки саме вона визначає ефективність передачі даних, стійкість зв'язку та здатність системи адаптуватися до зовнішніх умов.

Фокус на другій частині дозволяє продемонструвати, як система вирішує поставлені задачі, включаючи подолання фізичних перешкод, оптимізацію радіозв'язку та забезпечення двосторонньої комунікації між центральним комплексом і периферійними вузлами.

### 1.3 Роль центрального комплексу ("Комплекс 0")

Центральний комплекс, або "Комплекс 0", є ключовим елементом системи, що виконує роль координаційного та аналітичного центру. Він забезпечує злагоджену роботу всієї системи, приймаючи, обробляючи та зберігаючи інформацію, яка надходить від п'яти периферійних комплексів. Основне завдання "Комплексу 0" полягає у підтримці двостороннього зв'язку, здійсненні аналізу отриманих даних та передаванні інструкцій для оптимізації роботи периферійних вузлів.

"Комплекс 0" приймає дані з датчиків, встановлених у теплицях, що входять до складу периферійних комплексів. Ці дані зберігаються та аналізуються у реальному часі, що дозволяє виявляти відхилення від заданих параметрів роботи.

На основі цього аналізу приймаються оперативні рішення, які впливають на налаштування мікроклімату, такі як температурний режим, рівень вологості чи освітлення. Завдяки цій функції "Комплекс 0" виконує роль стратегічного управлінця системи.

Особливо важливим є забезпечення ефективного обміну інформацією між центральним і периферійними комплексами. "Комплекс 0" функціонує як комунікаційний вузол, що координує передачу даних, мінімізуючи вплив фізичних перешкод та інших зовнішніх факторів, які можуть вплинути на стабільність радіозв'язку (рис.1.4).

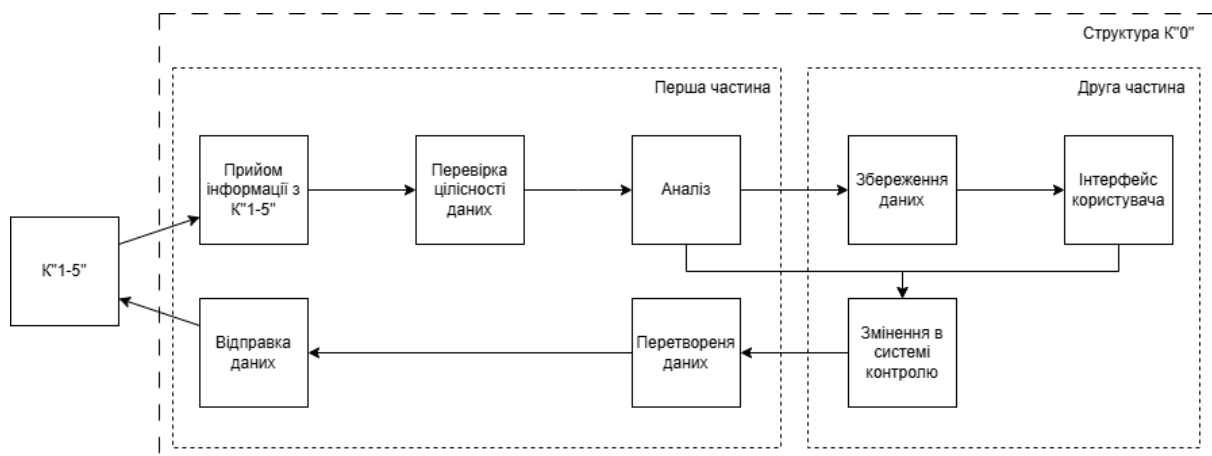


Рисунок 1.4- Внутрішня структура роботи К'0'

Центральний комплекс ("Комплекс 0") розділений на дві основні частини, які виконують різні функції. Перша частина містить елементи та функціональні вузли, які критично важливі для виконання поставлених задач дипломного проекту. Вона включає компоненти, що забезпечують збирання, обробку та передачу інформації, необхідної для підтримки стабільної роботи системи. Ці елементи є базовою основою для досягнення цілей проекту та потребують детального аналізу та опису.

Друга частина складається з елементів, які виконують додаткові або допоміжні функції, але не мають суттєвого впливу на основні задачі проекту. Наприклад, це можуть бути резервні модулі чи механізми, що забезпечують роботу

системи в умовах, які виходять за рамки передбачених сценаріїв дипломного завдання. Хоча ці компоненти можуть бути корисними у реальних умовах експлуатації, вони не є обов'язковими для опису та реалізації в межах даного проекту.

Таким чином, "Комплекс 0" виконує широкий спектр функцій — від збору й аналізу даних до забезпечення стабільного зв'язку та прийняття рішень.

## 2 ОПИС МОЖЛИВИХ ВИРШЕНЬ ЗАДАЧ

### 2.1 Проблематика сигналу та методи їх мінімізації

Однією з основних проблем, з якими стикається центральний комплекс, є затримка сигналу під час передачі даних від периферійних комплексів. Затримка може виникати через велику відстань між комплексами, наявність фізичних перешкод (бетонні стіни, дерева) або перевантаження каналу зв'язку. Для мінімізації таких затримок можна використовувати такі методи: [1]

а) підсилювачі сигналу: Підсилювачі сигналу використовуються для збільшення потужності сигналу, що дозволяє знизити вплив відстані і фізичних перешкод. Це особливо ефективно у випадках, коли периферійні комплекси знаходяться на значній відстані від центрального комплексу, що може призводити до суттєвого зниження якості сигналу. Установка підсилювачів на ділянках, де сигнал найбільше ослаблюється, дозволяє уникнути втрат інформації під час передачі;

б) альтернативні частоти: Інтерференція є значною проблемою для бездротового зв'язку, особливо в умовах, де працює багато різних пристроїв на одній частоті. Зміна частоти сигналу дозволяє уникнути впливу інтерференції від інших пристроїв, що використовують ті самі частотні діапазони. Крім того, перемикання на менш завантажену частоту дозволяє мінімізувати затримки, викликані перевантаженням основного каналу зв'язку;

в) резервні канали зв'язку: Використання резервних каналів зв'язку забезпечує надійність передачі інформації навіть у випадку збоїв основного каналу. Це може бути досягнуто за рахунок впровадження додаткових каналів передачі, які автоматично активуються у разі проблем із основним каналом. Наприклад, якщо через несприятливі погодні умови основний канал зв'язку втрачає стабільність,

резервний канал може прийняти функції передачі інформації, забезпечуючи безперервність зв'язку між комплексами;

г) оптимізація маршрутизації: Оптимізація маршрутизації передбачає використання ефективних алгоритмів, що дозволяють скоротити час доставки інформації між комплексами, особливо у випадках, коли можливе динамічне перемикання між різними шляхами передачі. Оптимізація маршрутів з урахуванням фізичних перешкод, таких як будівлі або лісові масиви, дозволяє зменшити кількість точок втрат сигналу і, відповідно, скоротити затримки;

д) кодування і корекція помилок: Використання методів кодування і корекції помилок також сприяє зменшенню затримок. Завдяки корекції помилок під час передачі знижуються втрати пакетів даних, що у свою чергу зменшує потребу у повторній передачі даних, яка може бути основним джерелом затримок. Застосування таких технологій, як форвардно-коректуюче кодування (FEC), дозволяє передбачати та коригувати помилки в прийнятому сигналі без необхідності повторної передачі, що значно скорочує загальний час передачі;

е) управління пріоритетами даних: В умовах великого обсягу одночасних запитів від різних периферійних комплексів можна використовувати механізми управління пріоритетами для передачі даних. Наприклад, критичні дані можуть передаватися з вищим пріоритетом, що дозволяє забезпечити мінімальні затримки для найважливішої інформації. Така стратегія дозволяє уникнути затримок, які можуть бути критичними для стабільного функціонування системи в реальному часі.

Ці методи допомагають значно зменшити час передачі сигналу та підвищити надійність і ефективність системи в цілому. Впровадження таких технологій дозволяє досягти стабільної роботи системи навіть за наявності значних фізичних перешкод та у складних умовах роботи.

## 2.2 Критерії вибору систем дистанційного передавання інформації

Тому для початку потрібно задати критерії по який буде можливо провести аналіз готових рішень, та сказати про їх придатності в використанні в нашій системі. Та на основі цих критеріїв проводиться пошук систем дистанційного зв'язку, (табл. 2.1).

Таблиця 2.1- Критерії для передавального та приймального пристрою

№	Критерій	Опис критерію
1	Частотний діапазон	ЧД, повинен бути доволі широкий. Щоб у разі великої зашумленості в частотному діапазоні, була можливість для зміни.
2	Дальність	Щодо дальності, потрібно зазначити що цілі знаходяться на дистанції 8-12 км. З цієї умови роблю висновок що потужна установка не потрібна, так як дистанція не велика
3	Стійкість до перешкод	Система повинна забезпечувати стабільну роботу навіть за наявності фізичних перешкод (бетонні стіни, дерева, рельєф) та радіоінтерференції.
4	Чутливість приймача	Чутливість визначає, наскільки слабкий сигнал може бути прийнятий і оброблений системою.
5	Захищеність даних	Використання технологій шифрування для забезпечення конфіденційності переданих даних. Необхідно щоб було в комплекті

### 2.3 Опис критеріїв

Так як основні критерії були виявлені то, на їх основі можливо скласти завдання що будуть поставлені до цієї системи. Наразі є такі питання:

а) опис системи зв'язку: Слід детально описати систему радіозв'язку, яка буде відповідати вимогам проекту. Це включає вибір необхідного обладнання для передачі даних, технічні характеристики радіопередавачів та приймачів, а також аналіз можливостей для підсилення сигналу у випадку необхідності. Система зв'язку базується на сучасних радіопередавачах, які забезпечують стабільну передачу даних на великі відстані з урахуванням наявних фізичних перешкод. Основними компонентами є радіомодулі, які забезпечують передачу даних з використанням малопотужних, але ефективних технологій. Технічні характеристики повинні включати частотний діапазон, потужність сигналу, діапазон дії та чутливість приймачів. Крім того, важливо врахувати можливості використання підсилювачів сигналу для покращення якості зв'язку, особливо у випадках, коли відстань між вузлами системи є значною або наявні численні фізичні перешкоди;

б) розрахунок сигналу: Потрібно провести розрахунки для кожної конфігурації системи, оцінюючи, як перешкоди впливатимуть на сигнал. Це передбачає аналіз різних типів перешкод (наприклад, стіни, дерева, інші фізичні об'єкти) і визначення необхідності в підсилювачах для поліпшення якості сигналу. Аналіз включає використання математичних моделей для оцінки втрат сигналу при різних типах перешкод, а також симуляції з використанням програмного забезпечення для моделювання радіопоширення. Враховується тип матеріалу перешкоди, його товщина та розташування відносно передавача і приймача. Крім того, важливо оцінити рівень сигналу, який досягає приймача, щоб визначити, чи потрібно використовувати підсилювачі або інші технічні рішення для забезпечення надійного зв'язку;

в) тестування системи: Для перевірки надійності системи необхідно протестувати її на великих обсягах даних (Big Data), щоб визначити, наскільки стабільно вона працюватиме в реальних умовах. Це включає симуляцію передачі великих масивів інформації між комплексами через систему зв'язку. Тестування повинно охоплювати різні сценарії, такі як передача даних у складних умовах (наявність перешкод, зниження потужності сигналу, тощо), перевірку стійкості до втрат пакетів, та вимірювання часу затримки при передачі. Також важливо провести стрес-тести для визначення меж можливостей системи, щоб переконатись, що вона здатна ефективно функціонувати при великих навантаженнях.

Якщо всі пристрої працюють на одній частоті, це може спростити комунікацію, але створити ризик інтерференції між сигналами, особливо коли передача даних відбувається одночасно. Використання різних частот для різних вузлів дозволяє зменшити інтерференцію та забезпечити стабільнішу передачу даних. Крім того, застосування технологій динамічного перемикання частот (Frequency Hopping) дозволяє оптимізувати передачу сигналу та уникати перевантаження певних каналів.

## 2.4 Перелік систем що відповідають критеріям

Системи що можуть задовольнити потребу описані нище:

а) LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) є бездротовою технологією, призначеною для мереж Інтернету речей (IoT), яка забезпечує далекодіючий зв'язок з низьким енергоспоживанням. Вона працює в неліцензованих частотних діапазонах, що робить її доступною для широкого використання.

LoRaWAN включають великий радіус дії (до 15 км у сільській місцевості), низьке енергоспоживання, що дозволяє пристроям працювати на батарейках протягом кількох років, та можливість підтримки великої кількості пристроїв в

одній мережі. Це ідеально підходить для сільськогосподарських застосувань, таких як моніторинг вологості ґрунту, температури та інших параметрів .

Недоліками є обмежена швидкість передачі даних (до 50 кбіт/с), що може бути недостатнім для додатків, які потребують передачі великого обсягу інформації. Крім того, використання неліцензованих частот може призводити до перешкод від інших пристроїв.

Технічні особливості LoRaWAN включають використання технології спектрального розширення, що забезпечує стійкість до перешкод і високу чутливість прийому. Мережа складається з кінцевих пристроїв, шлюзів та серверів мережі. Шлюзи передають дані від пристроїв до серверів через IP-мережі, забезпечуючи гнучкість інтеграції[2];

б) радіомодеми UHF/VHF працюють у діапазонах ультрависоких (300 МГц – 3 ГГц) та дуже високих частот (30 МГц – 300 МГц). Вони забезпечують надійну передачу даних на великі відстані з відносно високою швидкістю.

Переваги цих модемів включають високу потужність передачі, що дозволяє досягати відстаней до 15 км і більше, особливо при використанні спрямованих антен. Вони відзначаються стійкістю до атмосферних перешкод і можуть працювати в складних умовах навколишнього середовища.

Недоліками є необхідність отримання ліцензії на використання певних частотних діапазонів, що може ускладнити впровадження. Енергоспоживання таких модемів може бути високим, що не завжди підходить для автономних пристроїв з живленням від батарей.

Технічні особливості включають можливість налаштування параметрів передачі, таких як частота, потужність та швидкість. Радіомодеми можуть підтримувати різні протоколи передачі даних і мають функції корекції помилок, що підвищує надійність зв'язку[3,4];

в) мікрохвильові лінії зв'язку використовують високочастотні радіохвилі (від 1 ГГц і вище) для передачі даних між двома точками з прямою видимістю. Вони забезпечують високу швидкість передачі та надійність зв'язку.

Переваги мікрохвильових ліній включають високу пропускну здатність, що дозволяє передавати великі обсяги даних, низьку затримку та стійкість до електромагнітних перешкод. Вони підходять для з'єднання віддалених об'єктів, де необхідна швидка передача даних.

Недоліками є необхідність прямої видимості між точками зв'язку, що може бути проблематичним у горбистій або забудованій місцевості. Вартість обладнання та встановлення може бути високою, а також може вимагатися ліцензування частотного діапазону.

Технічні особливості включають використання спрямованих антен з вузьким кутом випромінювання, що мінімізує втрати сигналу. Обладнання підтримує різні модулювання та протоколи передачі, дозволяючи налаштовувати систему під конкретні потреби[5];

г) системи SCADA з радіоканалом використовуються для дистанційного моніторингу та керування технологічними процесами. Радіозв'язок у таких системах дозволяє передавати дані між віддаленими контролерами та центральною станцією без необхідності прокладання кабелів.

Переваги включають гнучкість у розгортанні, особливо в важкодоступних або розгалужених об'єктах. Радіоканал зменшує затрати на інфраструктуру та дозволяє швидко реагувати на зміни в процесах.

Недоліками можуть бути проблеми з безпекою даних, оскільки радіосигнали можуть бути вразливими до перехоплення або перешкод. Також обмежена пропускну здатність радіоканалу може не підходити для передачі великого обсягу даних.

Технічні особливості систем SCADA з радіоканалом включають використання спеціалізованих протоколів передачі даних, таких як DNP3 або IEC 60870-5-101. Вони забезпечують надійність та безпеку передачі, а також можливість роботи в реальному часі [6];

## 2.5 Вибір системи дистанційного зв'язку

Так як перше що потрібно зробити це підібрати технологію дистанційного зв'язку. Наразі вибрано LoRaWAN, а саме LoRa. Тому потрібно детальніше описати цю систему.

LoRa (Long Range) — це технологія бездротового зв'язку, яка забезпечує передачу даних на великі відстані з низьким рівнем енергоспоживання. Вона широко використовується в системах Інтернету речей (IoT) та ідеально підходить для сценаріїв, де потрібна передача невеликих обсягів даних на значні відстані, наприклад, у сільському господарстві, включаючи теплиці.

Технологія LoRa (Long Range) пропонує значні переваги для використання в теплицях, особливо в умовах, де потрібна передача даних на великі відстані з низьким рівнем енергоспоживання. Однією з основних переваг є велика дальність дії, яка дозволяє покривати відстані до 10-15 км у сільській місцевості та кілька кілометрів у міських умовах. Це робить LoRa ідеальним рішенням для великих тепличних комплексів або віддалених господарств. Крім того, LoRa характеризується низьким енергоспоживанням, що дозволяє пристроям працювати на батареях протягом кількох років без необхідності підзарядки. Це особливо важливо для сенсорів і контролерів, які можуть бути встановлені у важкодоступних місцях. Ще однією перевагою є стійкість до перешкод завдяки використанню модуляції з розширеним спектром, що забезпечує стабільну роботу навіть у середовищах із сильними радіоперешкодами. Додатково, LoRa є відносно дешевою технологією, що робить її доступною для широкого застосування, включаючи аграрні об'єкти. Вона також відзначається високою масштабованістю, що дозволяє легко розширювати мережу для покриття великих площ та підключення великої кількості пристроїв, і працює на ліцензійно вільних діапазонах частот, що уникнути витрат на ліцензування.

Однак LoRa має і свої недоліки. Наприклад, вона має обмежену пропускну здатність, що підходить для передачі невеликих обсягів даних, але не для додатків,

які потребують високої пропускної здатності, таких як відеоспостереження. Також варто зазначити, що LoRa може мати значні затримки в передачі даних, що може бути проблематичним для додатків, де потрібна швидка реакція або реального часу обробка інформації. Крім того, впровадження LoRaWAN мережі вимагає певних знань і досвіду, оскільки необхідно правильно налаштувати концентрації даних та планувати топологію мережі для забезпечення надійного зв'язку. Ефективність LoRa також може знижуватись у складних умовах, наприклад, у густо забудованих зонах або місцях із високим рівнем радіоперешкод. Нарешті, у великих мережах із високим навантаженням може виникнути проблема перевантаження каналів, що призводить до втрати пакетів або зниження якості зв'язку.

LoRa є ефективною технологією для впровадження в тепличних умовах, особливо коли потрібно забезпечити стабільний зв'язок на великих відстанях з низьким рівнем енергоспоживання. Вона добре підходить для моніторингу та контролю невеликих за обсягом даних, таких як показники датчиків вологості, температури, освітлення та інших параметрів.

## 3 ЗАКОНОДАВЧІ ТА ТЕХНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПО ВИКОРИСТАННЮ РАДІОЧАСТОТ

### 3.1 Особливості використання радіозв'язку

Відповідно документу [7], ефективне використання радіочастотного ресурсу вимагає ретельного підходу до вибору діапазонів частот. Діапазони повинні бути підібрані таким чином, щоб вони відповідали конкретним умовам роботи. Наприклад, низькочастотні діапазони краще підходять для передачі сигналів на великі відстані завдяки їх кращій проникності через фізичні перешкоди. Водночас використання високочастотних діапазонів забезпечує більшу пропускну здатність, але сигнал зазнає значного згасання при проходженні через фізичні перешкоди, такі як будівлі або дерева. Для забезпечення законного та ефективного використання частотного ресурсу, частоти повинні бути узгоджені з нормативними документами, а також враховувати можливі обмеження у використанні певних смуг [7].

Забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) є важливою умовою для уникнення взаємних завад між різними радіоелектронними засобами (РЕЗ). Це особливо актуально в умовах, коли в зоні дії є багато РЕЗ, які працюють одночасно. Забезпечення ЕМС вимагає детального аналізу наявного спектру та планування нових частотних присвоєнь, щоб уникнути перевантаження частотного спектру. Особливу увагу слід приділити сумісності між новими та існуючими РЕЗ, що допоможе уникнути можливих порушень роботи обладнання.

Характеристики антен відіграють ключову роль у зменшенні завад та підвищенні ефективності передачі сигналу. Використання антен з високим коефіцієнтом спрямованості дозволяє концентрувати сигнал у певному напрямку, знижуючи вплив сторонніх джерел завад. При виборі антени важливо враховувати її діаграму спрямованості, яка визначає, у якому напрямку сигнал буде посилено, а

де ослаблено. Це допомагає краще керувати поширенням сигналу та мінімізувати вплив взаємних завад.

Тип поширення радіохвиль значною мірою залежить від умов оточуючого середовища. Радіозв'язок на значних відстанях зазнає впливу фізичних перешкод, таких як будівлі, дерева або інші природні об'єкти. У таких випадках використовуються підсилювачі сигналу або обхідні маршрути для мінімізації втрат сигналу. У певних випадках може бути необхідно застосовувати спеціальні алгоритми маршрутизації, які враховують наявні перешкоди та оптимізують маршрут передачі сигналу.

### 3.2 Критерії, на які потрібно звернути увагу

Енергетичний баланс сигналу є одним із ключових параметрів, який необхідно оцінити для забезпечення надійного зв'язку. Важливо визначити потужність передавача та чутливість приймача таким чином, щоб сигнал досягав приймача з необхідним рівнем для його обробки. При розрахунках необхідно враховувати втрати на кожному етапі проходження сигналу, включаючи втрати у кабелях, з'єднувачах, атмосфері та різних фізичних перешкодах. Недостатній енергетичний баланс може призвести до значного погіршення якості зв'язку або навіть до повної втрати сигналу.

Вплив фізичних перешкод на сигнал є ще одним важливим критерієм. Радіохвилі можуть зазнавати значних втрат при проходженні через перешкоди, такі як стіни або щільна рослинність. Для мінімізації впливу цих факторів необхідно ретельно вибирати частоти та антени, а також використовувати додаткові технічні засоби, такі як підсилювачі або спеціальні антени з вузькою діаграмою спрямованості. У випадках, коли перешкоди занадто значні для компенсації, можуть знадобитися додаткові заходи, такі як встановлення ретрансляторів або зміна частоти передачі.

Відстань та розташування між передавачем і приймачем значною мірою визначають якість зв'язку. При великій відстані між РЕЗ втрати сигналу через вільний простір та атмосферу зростають, що потребує використання більш потужних передавачів або додаткових підсилювачів. Якщо між передавачем і приймачем є пряма видимість без фізичних перешкод, втрати сигналу значно зменшуються, що дозволяє використовувати менш потужні передавачі і, таким чином, знижувати енергетичні витрати.

Інтерференція та завади можуть суттєво впливати на якість зв'язку. Використання частотних фільтрів та спрямованих антен може зменшити вплив сторонніх сигналів і забезпечити стабільнішу передачу даних. Особливу увагу потрібно приділяти, якщо в зоні роботи є інші РЕЗ, що можуть працювати на близьких частотах. В таких випадках також може бути корисним використання технологій зміни частоти передачі (frequency hopping), які дозволяють зменшити ризик взаємних завад.

Механізми резервування зв'язку дозволяють забезпечити надійність системи в умовах можливих збоїв основного каналу. Використання резервних каналів забезпечує передачу інформації навіть у випадку, якщо основний канал зв'язку втрачає стабільність через технічні проблеми або погодні умови. Це особливо важливо у випадках, коли забезпечення безперервного зв'язку є критично важливим для роботи системи.

### 3.3 Вибір радіочастоти для використання

Відповідно за документом [8] розподілу радіочастот розподілу смуг радіочастот України”, є обмеження на використання радіочастот. Тому потрібно задати умови щоб на їх основі звузити необхідний діапазон, і наступним кроком взнати доступність цієї смуги. Умови які необхідно розглянути та результат занесені в табл. 3.1 [8].

Таблиця 3.1 - Умови для вибору частоти

№	Критерій вибору частоти	Коментар	Значення астоти або Пропозиція по вирішенню
1	Дальність використання	до 10-12 км	Частоти 433-868 МГц, або 450-470 МГц
2	Можливість проходження перешкоди	Середня	Низькі частоти, наприклад 433 МГц
3	Потреба в ліцензуванні	Не бажано	Неліцензовані смуги
4	Потреба в додаткових смугах	Бажано для резервного зв'язку	Частоти з мінімальною інтерференцією
5	Складність обладнання використання	Не потребує складної інфраструктури спеціалізованих технічних навичок для монтажу та обслуговування	Спрямовані антени, малопотужне обладнання
6	Доступність частотного діапазону	Необхідно щоб частота не була перенавантаженою	Використання резервних каналів
7	Енергоспоживання	Низьке, бажано для пристроїв на батарейках	LoRa або 433 МГц

### 3.4 Опис частоти 433МГц

Так як частота 433МГц, підходить для більшості критеріїв тому необхідно її описати для остаточного вирішення.

Частота 433 МГц належить до ультракороткохвильового (UHF) діапазону та є частиною ISM (Industrial, Scientific, Medical) діапазону, що дозволяє використовувати її без ліцензії у багатьох країнах.

Частота 433 МГц добре проникає через різноманітні типи перешкод, такі як будівлі, рослинність та легкі матеріали. Це робить її придатною для використання в умовах, коли сигнал повинен проходити через різноманітні фізичні бар'єри. Як і інші частоти в UHF діапазоні, частота 433 МГц краще поширюється у випадках, коли між передавачем та приймачем немає значних перешкод. Ця частота добре працює в умовах прямої видимості, що дозволяє досягти стабільного сигналу на значні відстані.

Радіохвилі на частоті 433 МГц можуть добре проходити через матеріали середньої щільності, такі як деревина, цегла, або листя. Однак залізобетон або металеві поверхні можуть створювати значні перешкоди для сигналу. Радіохвилі на цій частоті частково можуть огинати перешкоди, такі як пагорби, однак вони менш схильні до відбиттів порівняно з більш низькими частотами (наприклад, VHF).

Частота 433 МГц забезпечує зв'язок на середні відстані (до 5-10 км) залежно від потужності передавача, типу антени та наявності перешкод. Відкритий простір та пряма видимість дозволяють досягти більшої дальності. Частота 433 МГц в ISM діапазоні зазвичай обмежена потужністю передавача (зазвичай до 10 мВт). Для покращення дальності зв'язку можна використовувати підсилювачі сигналу та спрямовані антени, особливо в умовах значних перешкод.

Частота 433 МГц відноситься до неліцензованих частот ISM, що дозволяє використовувати її без додаткового дозволу в багатьох країнах. Це робить її популярною для застосувань у промислових і побутових умовах, таких як

дистанційне керування, системи телеметрії та пристрої IoT (Інтернет речей). Через популярність цієї частоти для різних пристроїв (наприклад, автомобільні ключі, дистанційні керування), можливі значні інтерференції. Це слід враховувати.

Через широке використання частоти 433 МГц у побутових і промислових пристроях можливі інтерференції, які можуть знизити ефективність зв'язку. Використання спрямованих антен або частотних фільтрів може допомогти зменшити негативний вплив інтерференцій та покращити якість зв'язку. Для покращення зв'язку на частоті 433 МГц рекомендується використовувати спрямовані антени, особливо в умовах високої щільності інших радіопристроїв. Це дозволяє зосередити енергію сигналу у необхідному напрямку та знизити вплив сторонніх сигналів.

Частота 433 МГц має низку переваг. Вона доступна для використання без ліцензії в багатьох країнах, що робить її доступною для широкого застосування. Відносно невеликі розміри антен для цієї частоти роблять їх зручними для встановлення. Крім того, частота 433 МГц має добру здатність проходити через матеріали середньої щільності, такі як дерева або цегла. Однак, є і недоліки: обмежена потужність передавача знижує максимальну відстань зв'язку без підсилювачів, а високий рівень інтерференцій через популярність використання у різних пристроях може впливати на якість зв'язку.

Частота 433 МГц є ефективним вибором для середньої дальності радіозв'язку, особливо для застосувань, де не потрібна ліцензія та необхідна швидка і проста установка. Вона добре підходить для промислових рішень, побутових пристроїв і систем IoT, де важливо забезпечити зв'язок на відстанях до 10 км з помірними перешкодами. Однак важливо враховувати можливість інтерференцій, тому в разі потреби необхідно використовувати підсилювачі сигналу або спрямовані антени для забезпечення стабільного і надійного зв'язку [9,10].

### 3.5 Модуль E22-400M30S

Для описаних вище критеріїв підходить модуль E22-400M30S. E22-400M30S є бездротовим трансивером на основі технології LoRa, який працює на частоті 400 МГц і використовує радіочастоту платформу SX1268. Це забезпечує високу стабільність, велику дальність зв'язку і низьке енергоспоживання, що робить його ідеальним для використання в системах інтернету речей (IoT), автоматизації, промислових застосувань, розумних будинках і сільському господарстві. Модуль функціонує в частотному діапазоні від 410 до 493 МГц і підтримує потужність передавача до 30 дБм (1 Вт), що забезпечує значну дальність зв'язку, яка може досягати до 12 км в умовах відкритого простору. Використання модуляції LoRa і GFSK покращує стійкість до перешкод і підвищує ефективність передачі даних на великі відстані. Для підключення модуль використовує SPI-інтерфейс, що полегшує інтеграцію в мікроконтролерні системи, а швидкість передачі даних варіюється від 0.3 до 62.5 Кбіт/с залежно від налаштувань. Живлення модуля може здійснюватися в діапазоні від 2.3 до 5.5 В, що дозволяє використовувати його в широкому діапазоні напруг. Модуль підтримує кілька режимів низького енергоспоживання, що робить його придатним для використання у пристроях з автономним живленням. Він оснащений IPEX роз'ємом для підключення зовнішньої антени, що дозволяє ще більше збільшити дальність зв'язку.



Рисунок 3.1 - Модуль E22-400M30S

Як було сказано вище цей модуль є оптимальним вибором для вирішення задач описаних нижче. Ось підведені характеристики цього модуля. табл. 3.2.

Таблиця 3.2- Необхідні характеристики модуля Модуль E22-400M30S

№	Характеристика	Значення
1	Доступні частоти	410-493 МГц
2	Потужність передавача	30 дБм
3	Підсилення від використаної антени	3 дБі
4	Чутливість приймача	-150 дБм

## 4 ПЕРЕШКОДИ НА ШЛЯХУ СИГНАЛУ ДО К"1...5"

## 4.1 Розрахунок завад

На шляху проходження сигналу від К"0" до К"1...5" знаходяться різні перешкоди, що поглинають сигнал. Так як вибрана частота роботи приймача/передавача прийнята 433 МГц то і коефіцієнти вказані для цієї частоти. Перешкоди та їх коефіцієнти вказані в таб. 4.1.

Таблиця 4.1 - Перешкоди та коефіцієнт згасання перешкоди на частоті 433 МГц

Перешкода	Коефіцієнт	Позначення
Повітря	0,001	Коэ <sub>1</sub>
вода	0,07	Коэ <sub>2</sub>
Залізобетон	15	Коэ <sub>3</sub>
дерево	0,3	Коэ <sub>4</sub>
Ліс	0,3	Коэ <sub>5</sub>
Земля Суха	2	Коэ <sub>6</sub>
Земля Волога	4	Коэ <sub>7</sub>
Цегла	5	Коэ <sub>8</sub>
Скло	1	Коэ <sub>9</sub>

Розрахунок поглинання при проходженні конкретної перешкоди з конкретним розміром, розраховується за формулою та позначаються  $L_i$ :

де  $m_i$  - довжина перешкоди в метрах;

Коэ<sub>i</sub> - коефіцієнт згасання конкретної перешкоди.

#### 4.2 Перешкоди на шляху до К''1''

На шляху сигналу до К''1'' є такі перешкоди: 1. Повітря - 5 км; 2. Ліс - 100 м; 3. Цегла - 2 м. Перешкоди та розраховане значення поглинання перешкоди внесені в таб.

4.2.

Таблиця 4.2- Перешкоди на шляху сигналу до К''1''

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ
1	Повітря	5 км	$L_1 = 5$
2	Ліс	100 м	$L_2 = 30$
3	Цегла	2 м	$L_3 = 10$
4	Сумма	5102	45

Розраховуємо с/ш для К''1''

$$c/w = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4 \cdot \pi)^3 k T_e B F L R^4} \quad (1.2)$$

де  $P_t$  - пікова потужність в 1 Вт при 30 дБм;

$G$  - Підсилення антени. 3 дБі що дорівнює значенню 2;

$\lambda$  - Довжина хвилі. 0,69 м (частота 433 МГц);

$\sigma$  - радіолокаційний поперечний переріз. 0,01 м<sup>2</sup>;

$k$  - постійна Больцмана  $1,38 \cdot 10^{-23}$  джоуль/градусів;

$T_e$  - ефективна шумова температура в градусах Кельвіна. 290 К ;

$B$  – робоча смуга радіолокатора. 125 кГц;

$F$  – коефіцієнт шуму.(визначається як внутрішній шум. для цього модуля це значення рівняється 5 дБ);

$L$  – радіолокаційні втрати;

$R$  – відстань від радіолокатора. 5102 Км.

В результаті отримуємо

$$c/\text{ш} = 1.79 \cdot 10^{-7}.$$

Переведення в дБм

Формула:

$$c/\text{ш}_{\text{дБм}} = 10 \cdot \log_{10}(c/\text{ш}) \quad (1.3)$$

$$c/\text{ш}_{\text{дБм}} = -67 \text{ дБм}$$

Відношення  $c/\text{ш}$  є дуже добре, навіть при впливу стороннього шуму на сигнал можна стверджувати що сигнал буде прийнятий.

Проводиться розрахунок  $c/\text{ш}$  для кожної перешкоди. Отриманий результат вноситься в таб. 4.3.

Таблиця 4.3-  $C/\text{ш}$  при поступовому перетині кожної перешкоди

№	Перешкода	$c/\text{ш}_{L_i}$ , дБм	$L_i$ , дБ
1	Повітря	-27	$L_1 = 5$
2	Ліс	-57	$L_2 = 30$
3	Цегла	-67	$L_3 = 10$

На основі отриманих результатів будується графік залежності потужності сигналу відповідно до пройдених перешкод. (рис.4.1).

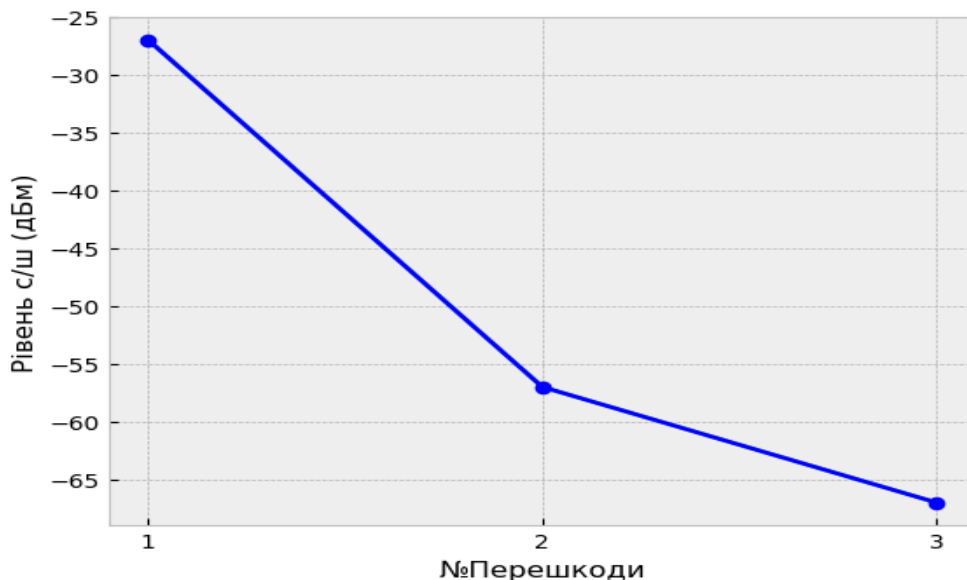


Рисунок 4.1 - Рівень с/ш при перетині визначених перешкод для К"1"

Наступним кроком проводиться симуляція прийому сигналу на приймач. Та вплив шуму. Можна сказати що значення стороннього шуми, буде знаходяться на рівні нижче 30. У разі перетині сигналом цієї лінії, буде вказувати на сильні шумові завади. (рис.4.2).

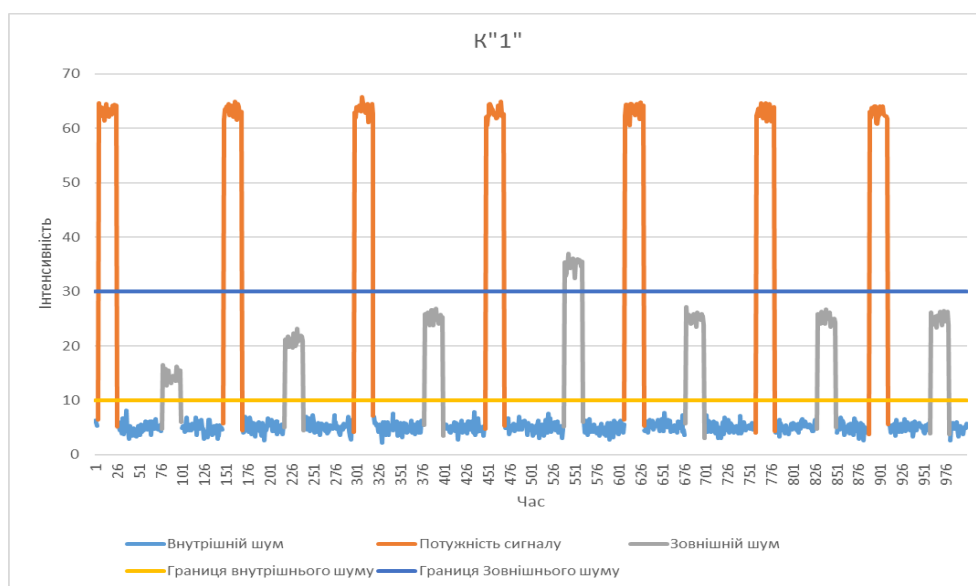


Рисунок 4.2- Візуалізація впливу шуму на інтенсивність сигналу при прийому даних

### 4.3 Перешкоди на шляху К''2''

На шляху сигналу до К''2'' є такі перешкоди: 1. Повітря 3 км; 2. Ліс 10 м; 3. Повітря 2 км; 4. Повітря 1 км. Перешкоди та розраховане значення поглиннтя перешкоди внесені в (таб. 4.4).

Таблиця 4.4- Перешкоди на шляху сигналу до К''2''

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ
1	Повітря	3 км	$L_1 = 3$
2	Ліс	10 м	$L_2 = 3$
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$
4	Ліс	30 м	$L_4 = 9$
5	Повітря	1 км	$L_5 = 1$
6	Сумма	6030 м	18

Розрахунок с/ш за формулою (1.2)

$$с/ш = -43 .$$

Відношення с/ш є дуже добре, навіть при впливу стороннього шуму на сигнал можна стверджувати що сигнал буде прийнятий.

Проводиться розрахунок с/ш для кожної перешкоди. Отриманий результат вноситься в (таб. 4.5).

Таблиця 4.5- Перешкоди на шляху сигналу до К''2''

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ	с/ш $_{Li}$ , дБм
1	Повітря	3 км	$L_1 = 3$	-16
2	Ліс	10 м	$L_2 = 3$	-19
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$	-30
4	Ліс	30 м	$L_4 = 9$	-39
5	Повітря	1 км	$L_5 = 1$	-43

На основі отриманих результатів будується графік залежності потужності сигналу відповідно до пройдених перешкод. (рис.4.3).

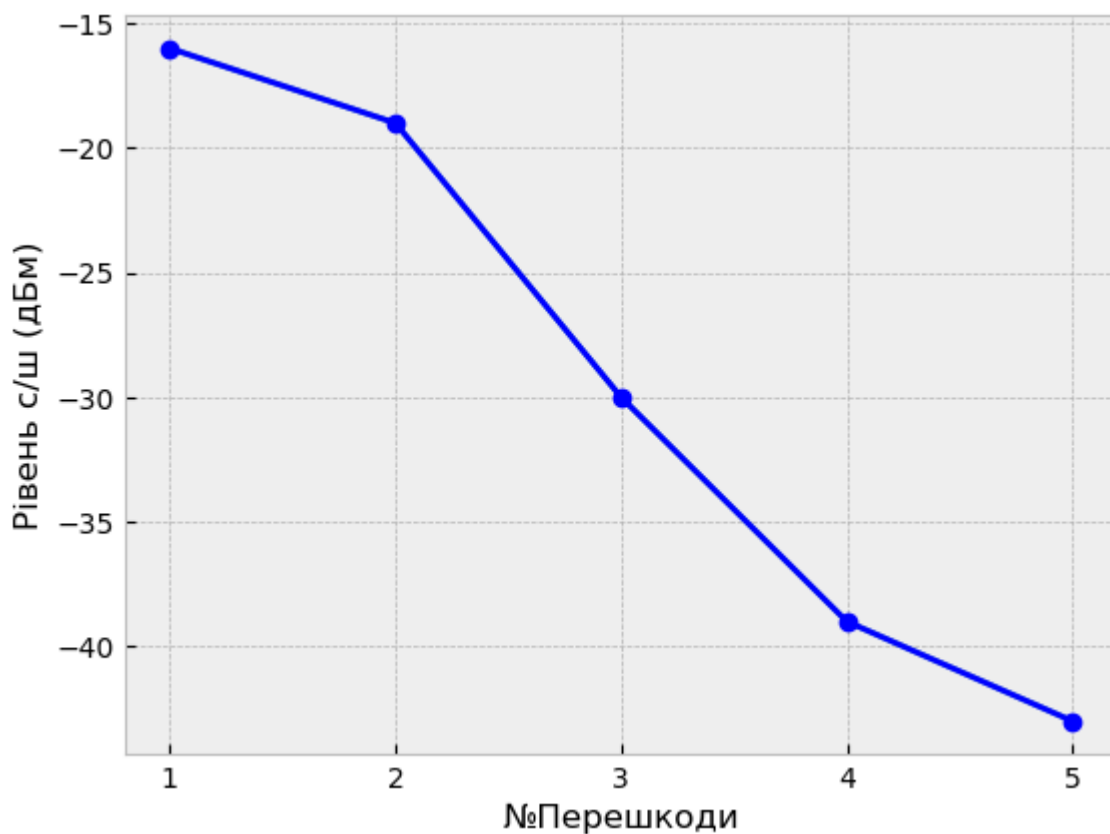


Рисунок 4.3 - Рівень с/ш при перетині визначених перешкод для К”2”

Наступним кроком проводиться симуляція прийому сигналу на приймач. (рис.4.4). З однаковими границями та зовнішнім шумом.

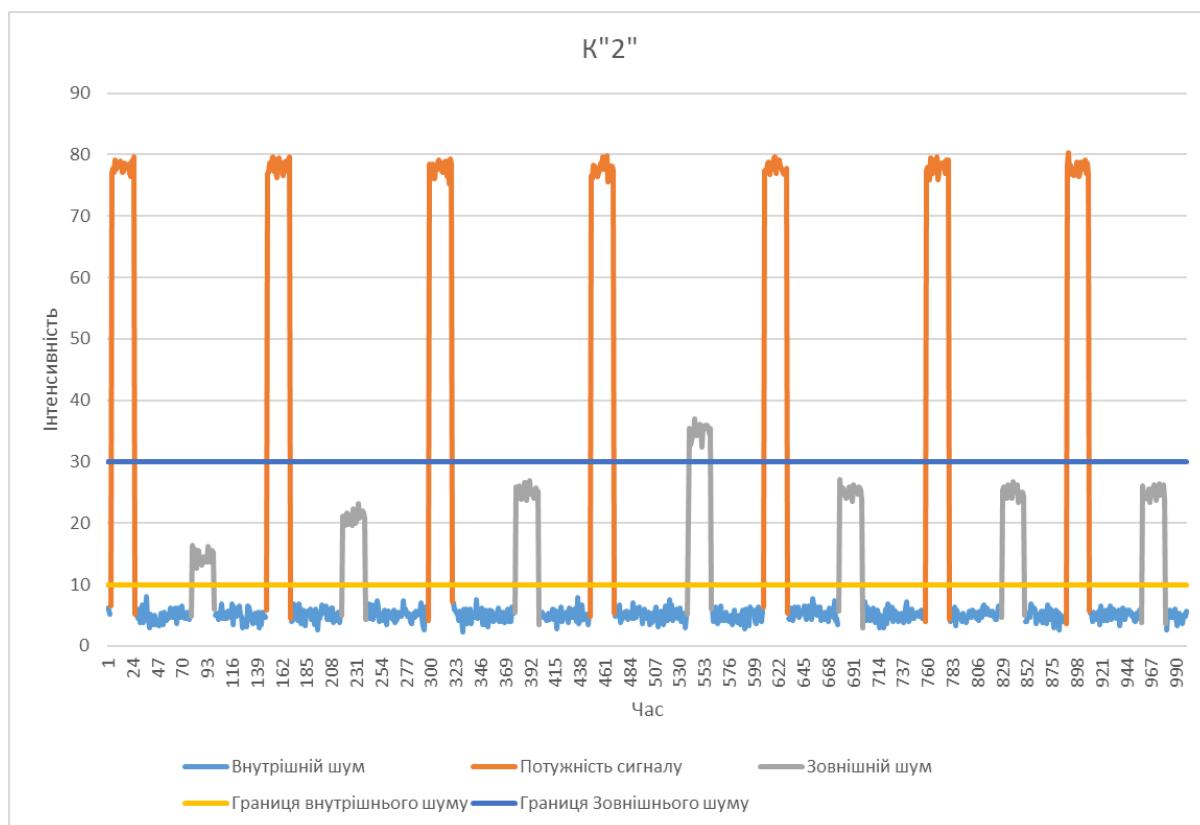


Рисунок 4.4 - Візуалізація впливу шуму на інтенсивність сигналу при прийому даних

#### 4.4 Перешкоди на шляху К''3''

На шляху сигналу до К''3'' є такі перешкоди: 1. Повітря 4 км; 2. Земля 5 м; 3. Повітря 2 км; 4. Цегла 0,5 м. Перешкоди та розраховане значення поглинннн перешкоди внесені в таб.4.6.

Таблиця 4.6- Перешкоди на шляху сигналу до К''3''

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ
	1	2	3
1	Повітря	4 км	$L_1 = 4$
2	Земля	5 м	$L_2 = 10$
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$

Продовження таблиці 4.6 – Перешкоди на шляху сигналу до К”З”

	1	2	3
4	Цегла	0,5 м	$L_4 = 2,5$
5	Сумма	6005,5 м	18,5

Розрахунок с/ш за формулою (1.2)

$$с/ш = -44 \text{ дБм.}$$

Відношення с/ш є дуже добре, навіть при впливу стороннього шуму на сигнал можна стверджувати що сигнал буде прийнятий.

Проводиться розрахунок с/ш для кожної перешкоди. Отриманий результат вноситься в таблицю.4.7.

Таблиця 4.7- Перешкоди на шляху сигналу до К”З”

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ	с/ш $_{L_i}$ , дБм
1	Повітря	4 км	$L_1 = 4$	-22
2	Земля	5 м	$L_2 = 10$	-32
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$	-41
4	Цегла	0,5 м	$L_4 = 2,5$	-44

На основі отриманих результатів будується графік залежності потужності сигналу відповідно до пройдених перешкод. (рис.4.5).

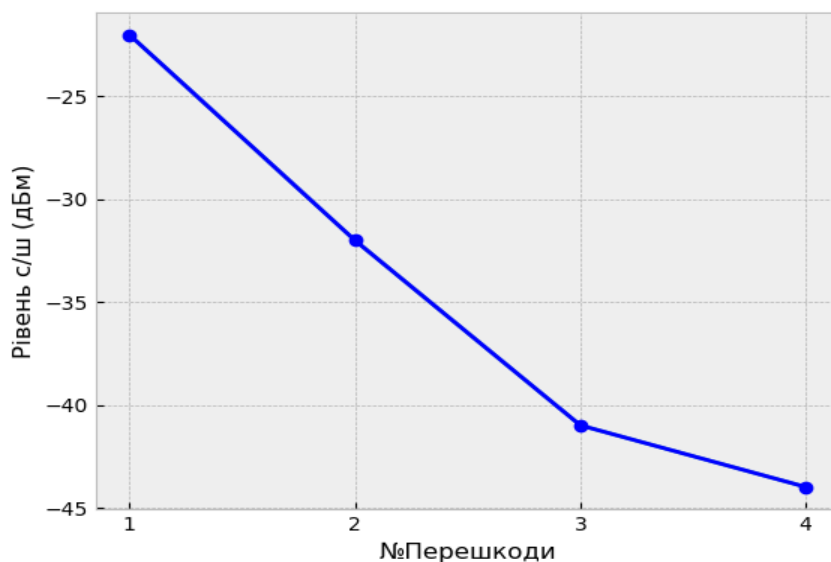


Рисунок 4.5- Рівень с/ш при перетині визначених перешкод для К"3"

Наступним кроком проводиться симуляція прийому сигналу на приймач. (рис.4.6). З однаковими границями та зовнішнім шумом.

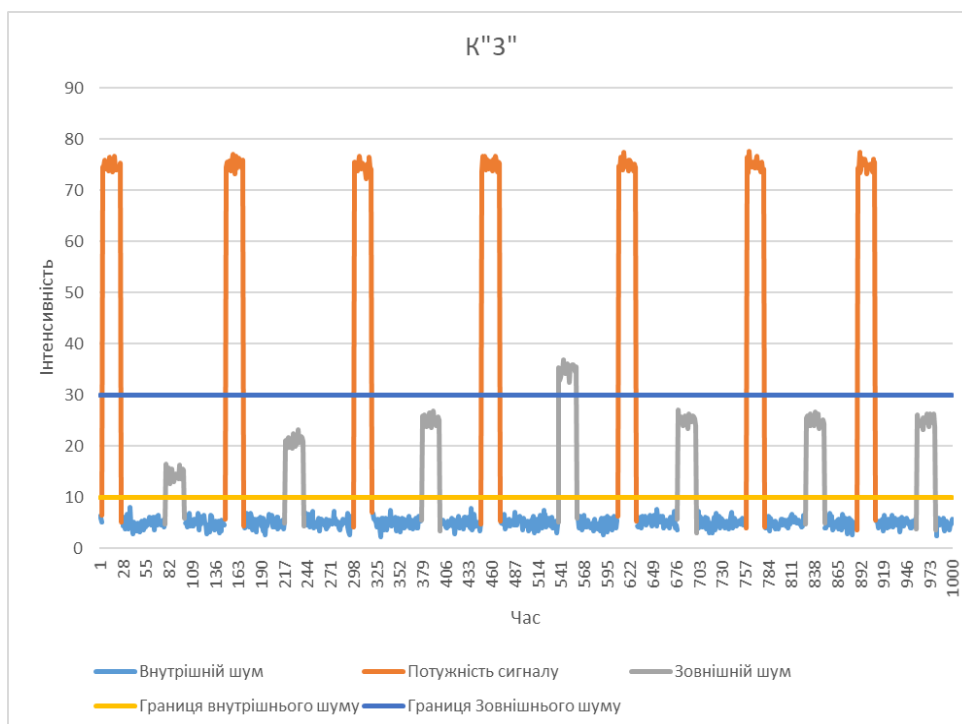


Рисунок 4.6 - Візуалізація впливу шуму на інтенсивність сигналу при прийому даних

## 4.5 Перешкоди на шляху К"4"

На шляху сигналу до К"4" є такі перешкоди: 1. Повітря 4,5 км; 2. Ліс 50 м; 3. Повітря 2 км; 4. Ліс 40 м; 5 Повітря 500 м. Перешкоди та розраховане значення поглинннн перешкоди внесені в таб.4.8

Таблиця 4.8- Перешкоди на шляху сигналу до К"4"

№	Першкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ
1	Повітря	4.5 км	$L_1 = 4,5$
2	Ліс	50 м	$L_2 = 15$
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$
4	Ліс	40 м	$L_4 = 12$
5	Повітря	500 м	$L_5 = 0,5$
6	Сумма	7090 м	34

Розрахунок с/ш за формулою (1.2)

$$с/ш = -62 \text{ дБм.}$$

Відношення с/ш є дуже добре, навіть при впливу стороннього шуму на сигнал можна стверджувати що сигнал буде прийнятий.

Проводиться розрахунок с/ш для кожної перешкоди. Отриманий результат вноситься в таб.4.9.

Таблиця 4.9- Перешкоди на шляху сигналу до К"4"

№	Першкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ	с/ш $_{Li}$ , дБм
	1	2	3	4
1	Повітря	4.5 км	$L_1 = 4,5$	-24
2	Ліс	50 м	$L_2 = 15$	-40
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$	-48

Продовження таблиці 4.9 - Перешкоди на шляху сигналу до К''4''

	1	2	3	4
4	Ліс	40 м	$L_4 = 12$	-60
5	Повітря	0,5 км	$L_5 = 0,5$	-62

На основі отриманих результатів будується графік залежності потужності сигналу відповідно до пройдених перешкод. (рис.4.7).

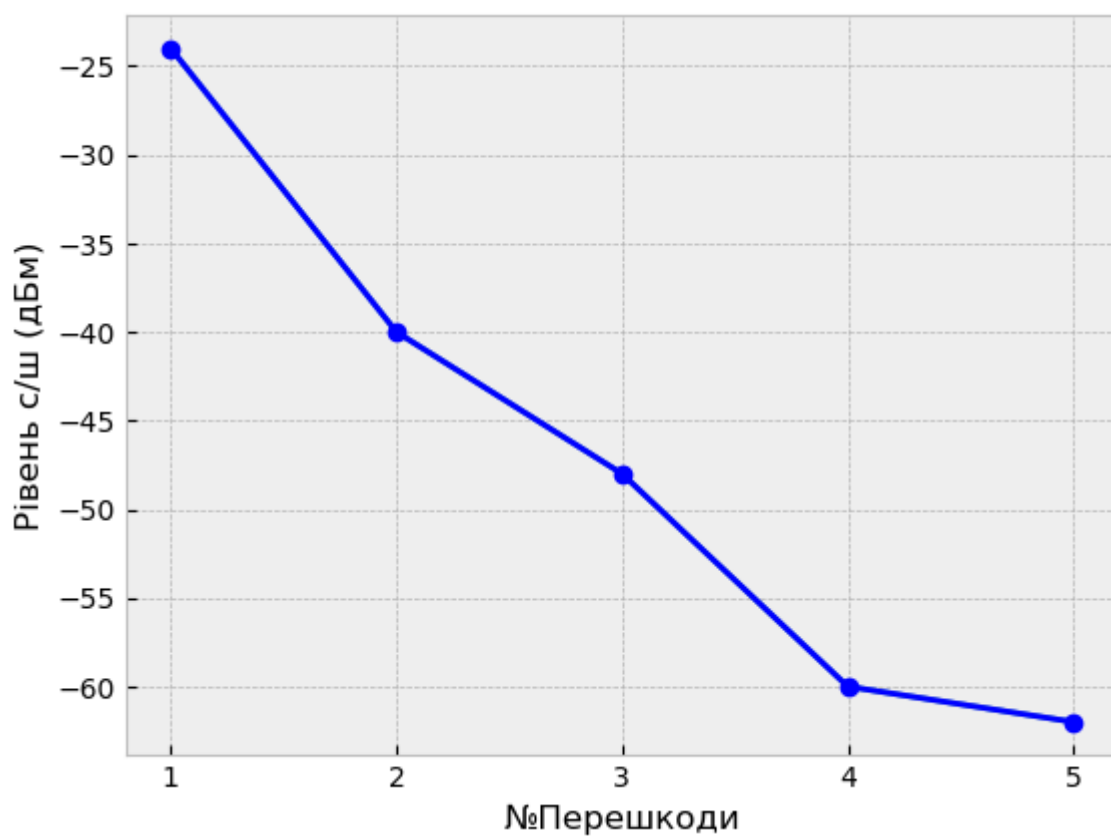


Рисунок 4.7- Рівень с/ш при перетині визначених перешкод для К''4''

Наступним кроком проводиться симуляція прийому сигналу на приймач. (рис.4.8). З однаковими границями та зовнішнім шумом.

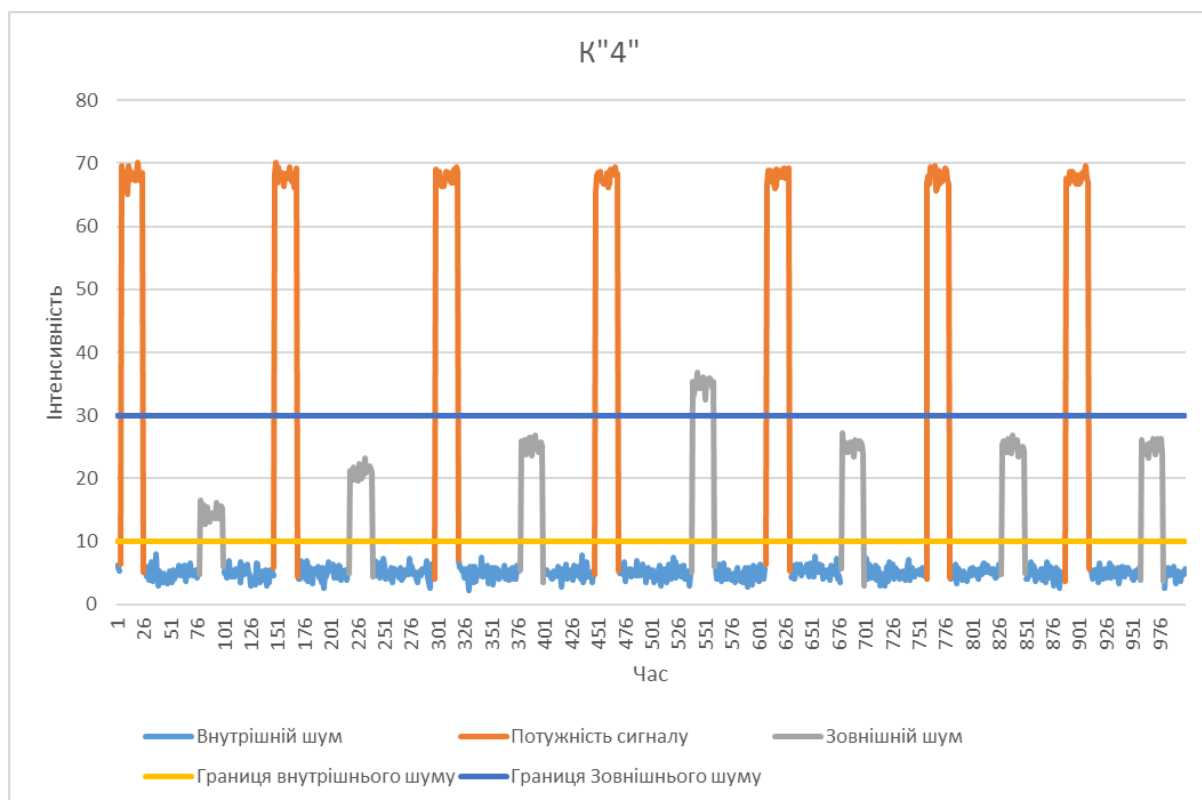


Рисунок 4.8 - Візуалізація впливу шуму на інтенсивність сигналу при прийому даних

#### 4.6 Перешкоди на шляху К''5''

На шляху сигналу до К''5'' є такі перешкоди: 1. Повітря 2 км; 2. Ліс 10 м; 3. Повітря 2 км; 4. Ліс 10 м; 5. Повітря 2 км. Перешкоди та розраховане значення поглинннн перешкоди внесені в таб.4.10.

Таблиця 4.10 - Перешкоди на шляху сигналу до К''5''

№	Перешкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ
1		2	3
1	Повітря	2 км	$L_1 = 2$
2	Ліс	10 м	$L_2 = 3$
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$

Продовження таблиці 4.10 - Перешкоди на шляху си  
 $L_2 = 3$ гналу до К”5”

	1	2	3
4	Ліс	10 м	$L_2 = 3$
5	Повітря	2 км	$L_3 = 2$
6	Сумма	6010 м	12

Розрахунок с/ш за формулою (1.2)

$$с/ш = -37 \text{ дБм.}$$

Відношення с/ш є дуже добре, навіть при впливу стороннього шуму на сигнал можна стверджувати що сигнал буде прийнятий.

Проводиться розрахунок с/ш для кожної перешкоди. Отриманий результат вноситься в таб.4.11.

Таблиця 4.11 - Перешкоди на шляху сигналу до К”5”

№	Першкода	Довжина перешкоди	$L_i$ , дБ	с/ш $_{Li}$ , дБм
1	Повітря	2 км	$L_1 = 2$	-8
2	Ліс	10 м	$L_2 = 3$	-11
3	Повітря	2 км	$L_3 = 2$	-25
4	Ліс	10 м	$L_2 = 3$	-28
5	Повітря	2 км	$L_3 = 2$	-37

На основі отриманих результатів будується графік залежності потужності сигналу відповідно до пройдених перешкод. (рис.4.9).

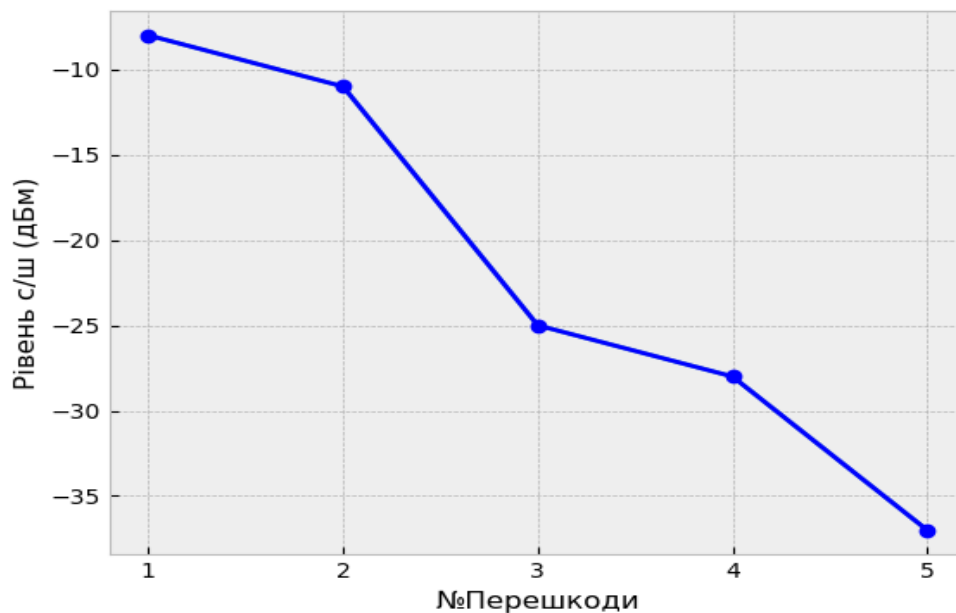


Рисунок 4.9- Рівень с/ш при перетині визначених перешкод для К"5"

Наступним кроком проводиться симуляція прийому сигналу на приймач.(рис.4.10). З однаковими границями та зовнішнім шумом.

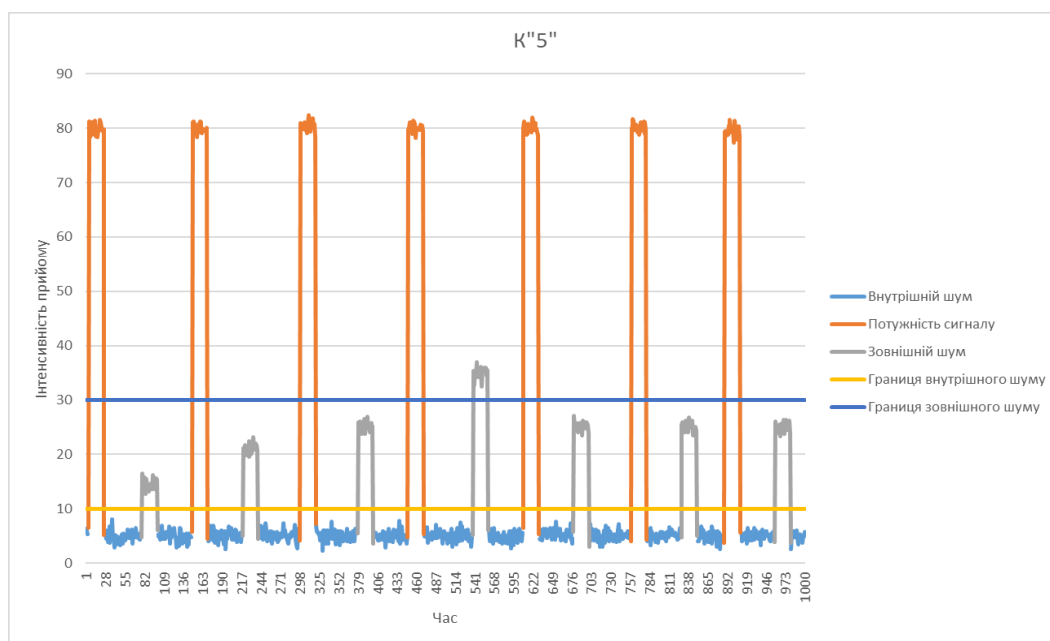


Рисунок 4.10 - Візуалізація впливу шуму на інтенсивність сигналу при прийому даних

Сумарне значення перешкод для кожного комплексу, занесені в таб.4.11.

Таблиця 4.11 - Сумарне значення перешкод (L), для кожного комплексу

№	Номер комплексу	$L_{K''i''}$ , дБ	$c/\text{ш}_{K''i''}$ , дБм
1	К''1''	45	-67
2	К''2''	18	-43
3	К''3''	18,5	-44
4	К''4''	34	-62
5	К''5''	12	-37

## ВИСНОВКИ

Розвиток дистанційного зв'язку став важливим фактором технологічного прогресу, забезпечуючи можливість ефективного управління процесами в промисловості, сільському господарстві та побуті. У дипломному проекті розглянуто питання створення системи, здатної забезпечувати надійний зв'язок між віддаленими комплексами навіть у складних умовах, таких як фізичні перешкоди та велика відстань. Особливу увагу приділено мінімізації впливу зовнішніх факторів, які можуть спричиняти затримки сигналу, втрату якості передачі та збої в роботі системи.

Для досягнення високої якості зв'язку застосовано підсилювачі сигналу, які забезпечують стабільність роботи на великих відстанях, мінімізуючи втрати в умовах фізичних перешкод. Перемикання між частотними діапазонами дозволяє уникати інтерференції та підтримувати стабільну передачу даних. Впровадження резервних каналів зв'язку забезпечує безперервність передачі інформації навіть у разі збоїв основного каналу. Ефективні алгоритми маршрутизації даних враховують фізичні обмеження середовища, що сприяє зменшенню затримок і покращенню загальної продуктивності системи. Додатково використано методи корекції помилок, які знижують ризик втрат пакетів даних і підвищують надійність передачі.

Обраною технологією для реалізації проекту стала LoRaWAN, яка завдяки своїм перевагам, зокрема великій дальності дії, низькому енергоспоживанню та стійкості до перешкод, є ідеальним рішенням для віддалених тепличних господарств. Застосування цієї технології дозволяє забезпечити ефективну передачу даних на значні відстані з мінімальними витратами ресурсів, що робить систему економічно вигідною і гнучкою.

Дослідження довело, що запропонована система може стабільно працювати навіть у складних умовах, забезпечуючи двосторонній зв'язок між центральним комплексом і периферійними вузлами. Це підтверджується проведеними

розрахунками та симуляціями, які демонструють стійкість до фізичних перешкод і ефективність передачі великих обсягів даних. Інтеграція Інтернету речей (IoT) у розроблену систему забезпечує оперативний обмін інформацією, зниження витрат ручної праці та підвищення ефективності моніторингу й управління.

Отже, розроблена система дистанційного зв'язку відповідає сучасним вимогам, пропонуючи інноваційні підходи до вирішення актуальних проблем зв'язку в різних галузях. Впровадження таких рішень сприяє не лише підвищенню продуктивності та безпеки, але й відкриває нові можливості для подальшого розвитку технологій автоматизації й оптимізації процесів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок [текст] / Л. М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с. ISBN 978-617-529-208-2
2. Аменова, А., & Чежимбаева, К. (2023). Сравнение технологии LoRa и NB-IoT с точки зрения возможности подключения. *Scientific Collection «InterConf»*,(145),384–394.
3. В. Г. Малюк, С. Ю. Тимченко. Комп'ютерний аналіз умов працездатності радіоканалу VHF/UHF діапазону з урахуванням зон електромагнітної доступності джерел радіовипромінювання URL: <http://znp.nangu.edu.ua/article/view/280885/275037> (Дата звернення 23.11.24)
4. Отличия UHF и VHF диапазонов URL: <https://punisher.com.ua/ru/otlichiya-uhf-i-vhf-diapazonov/> (Дата звернення 23.11.24)
5. Татарчук Д. Д. Мікрохвильова електроніка [Текст]: навч. посіб. / Д. Д. Татарчук, В. І. Молчанов, М. М. Кобак. – К.: Аверс, 2017. – 125 с.
6. Комп'ютерні засоби автоматизації електротехнологічних установок: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / М. Я. Островерхов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 222 с.
7. Про затвердження Методики розрахунків електромагнітної сумісності для присвоєння радіочастот радіоелектронним засобам фіксованої служби. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0634519-21#Text> (Дата звернення 23.11.24)
8. НАЦІОНАЛЬНА ТАБЛИЦЯ розподілу смуг радіочастот України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/25976178> (Дата звернення 23.11.24)

9. LPD433.URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/LPD433> (Дата звернення 23.11.24)
- 10.Про затвердження Переліку радіоелектронних засобів та випромінювальних пристроїв, на експлуатацію яких потрібен дозвіл на експлуатацію радіоелектронного засобу або випромінювального пристрою. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0201-15#n48> (Дата звернення 23.11.24)