

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра електричної інженерії

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «**ПРОЕКТ РАДІОМЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
Wi-Fi ДЛЯ ЗБОРУ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ З
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЙ**»

Виконав: студент VI курсу, групи ЕЕм-61,
спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Старик Юрій Іванович

(прізвище та ініціали)

Керівник Оробчук Б.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Вакуленко О.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Мочарський В.С.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
 Кафедра електричної інженерії
 Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
 Галузь знань 14 – «Електрична інженерія»
 Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 електричної інженерії
д.т.н., проф. Тарасенко М.Г.

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Старик Юрію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Проект радіомережі на основі технології Wi-Fi для збору телеметричних даних з електричних підстанцій»

керівник роботи Оробчук Богдан Ярославович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23 серпня 2019р. № 4/7-731

2. Строк подання студентом роботи - грудень 2019 року

3. Вихідні дані до роботи: Виконати порівняльну характеристику існуючих систем передачі даних в електроенергетиці, вказати їх переваги та недоліки. Виконати аналіз схем радіомереж управління та комутації за допомогою телемеханіки. Розробити алгоритми розрахунку необхідного числа вишок для радіомережі. Виконати розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних.

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

1. Аналітична частина

2. Науково-дослідна частина

3. Технологічна частина

4. Проектно-конструкторська частина

5. Спеціальна частина

6. Обґрунтування економічної ефективності

7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

8. Екологія

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

1. Актуальність теми, предмет і об'єкт дослідження, поставлені задачі та шляхи їх розв'язку

2. Схема стаціонарної радіомережі управління та комутації телемеханіки

3. Досліджувані варіанти схеми радіомережі

4. Схеми розташування груп об'єктів ПС в проєктованій радіомережі

5. Алгоритми розрахунку необхідного числа вишок для радіомережі

6. Схема етапів передачі циклу «запит-відповідь»

7. Загальні висновки до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Обґрунтування економічної ефективності</i>	<i>Мельник Л.М., к.в.н., доцент</i>		
<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Гурик О.Я., к.т.н., доцент</i>		
	<i>Стручок В.С., ст. викл.</i>		
<i>Екологія</i>	<i>Зварич Н.М., к.т.н., доцент</i>		

7. Дата видачі завдання - вересень 2019 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>		
2	<i>Науково-дослідна частина</i>		
3	<i>Технологічна частина</i>		
4	<i>Проектно-конструкторська частина</i>		
5	<i>Спеціальна частина</i>		
6	<i>Обґрунтування економічної ефективності</i>		
7	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>		
8	<i>Екологія</i>		
9	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>		
10	<i>Оформлення графічної частини</i>		

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Старик Ю. І.

(прізвище та ініціали)

Оробчук Б. Я.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Старик Ю.І. Проект радіомережі на основі технології Wi-Fi для збору телеметричних даних з електричних підстанцій, 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕм-61. – Тернопіль: ТНТУ, 2019

Стор. - 108; рис. - 19; табл. - 15; плакатів - 6; джерел – 34.

В дипломній роботі виконано розробку радіомережі на основі бездротової технології для збору телеметричних даних з електричних підстанцій

Метою дипломної роботи є розробка методики дослідження можливостей підвищення якості управління системами телекомунікацій в електроенергетиці за допомогою радіомережі на базі використання технології Wi-fi з метою збільшення пропускної здатності радіоканалу.

На даний момент для побудови радіоканалів відкрите акціонерне товариство «Тернопільобленерго» використовує технологію пакетної передачі даних на основі протоколу AX.25. У дипломній роботі запропоновано побудувати радіоканали на основі технології Wi-Fi, що дозволить збільшити пропускну здатність радіоканалу, тим самим дозволить додати в канал передачі даних відеоінформацію.

Ключові слова: бездротова мережа, технологія Wi-Fi, телеметрія, канал передачі даних, радіоканал, електрична підстанція, пропускна здатність, диспетчерський пункт, контрольований пункт.

ANNOTATION

Staryk Yrii. Wi-Fi based radio network project for the collection of telemetry data from electrical substations. 141 - Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering. Chair of Electrical Engineering, group EEM-61. – Ternopil: TNTU, 2019

Page – 108; Illustrations – 19; Tables – 15; Blueprints – 6; Sources – 34.

In the diploma paper is designed to develop a radio network based on wireless technology for the collection of telemetry data from electrical substations.

The purpose of the diploma paper is to develop a methodology for researching the possibilities of improving the quality of management of telecommunication systems in the electric power industry using radio network based on the use of Wi-Fi technology in order to increase the capacity of the radio channel.

At present a joint-stock company «Ternopiloblenergo» uses packet data technology based on AX.25 to build radio channels. The thesis proposes to build radio channels on the basis of Wi-Fi technology, which will increase the bandwidth of the radio channel, thereby allowing to add video information to the data transmission channel.

Key words: wireless network, Wi-Fi technology, telemetry, data channel, radio channel, electrical substation, bandwidth, control room, controlled item.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Аналіз побудови радіомереж НВЧ діапазону	11
1.2 Методика розрахунку радіорелейних ліній	13
1.3 Використання телекомунікаційних веж.....	17
1.4 Огляд технології Wi-Fi	19
1.5 Передача відеоінформації локальних обчислювальних мережах	22
1.6 Мета і завдання дипломної роботи.....	25
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	26
2.1 Загальні вимоги до створення промислових радіомереж	26
2.2 Дослідження використання радіомереж у енергетиці.....	28
2.3 Реалізація технологічної радіомережі обміну даними	30
2.4 Дослідження впливу завад радіосигналів при побудові безпроводних мереж на базі Wi-Fi технології	34
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	38
3.1 Технологічний аналіз обладнання для радіомережі	38
3.2 Розрахунок потужності радіоканалу	40
4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	48
4.1 Алгоритм розрахунку необхідної кількості вишок	48
4.2 Розрахунок радіомережі з важкодоступними КП.....	55
4.3 Розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних	58
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	62
5.1 Розрахунок струмів короткого замикання.....	62
5.2 Розрахунок зони захисту від електромагнітного поля	65
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	
6.1 Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень.....	

6.2 Розрахунок капітальних витрат.....	
6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	
6.4 Заробітна плата технічного персоналу.....	
6.5 Позабюджетні фонди та експлуатаційні витрати	
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
7.1 Заходи по забезпеченню безпеки при проведенні лабораторних робіт	
7.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії	
7.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках	
8 ЕКОЛОГІЯ	
8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища.....	
8.2 Джерела електромагнітного випромінювання	
8.3 Заходи щодо захисту від дії електромагнітного поля	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день великий розвиток в області передачі даних отримали бездротові мережі - мережі радіозв'язку. Це пояснюється зручністю їх використання, дешевизною і прийнятною пропускнуою спроможністю. Виходячи з поточної динаміки розвитку, можна зробити висновок про те, що за кількістю і поширеністю бездротові мережі незабаром перевершать провідні мережі.

Робота об'єктів передачі і розподілу електроенергії пов'язана з низкою експлуатаційних вимог, висунутих як до техніки, так і до персоналу. Оперативна зміна режиму роботи, необхідність ремонту обладнання, а також забезпечення безперебійної роботи електричних мереж міських, виробничих та інших інфраструктур, вимагає докладного моніторингу параметрів і управління роботою енергооб'єктів в режимі реального часу.

Таким чином важливу роль в експлуатації грає робота інформаційної інфраструктури, яка забезпечує в першу чергу передачу телеметричних даних з енергооб'єктів. Також в якості критичної інформації можуть використовуватися дані систем відеоспостереження, охоронних систем.

Для передачі даних з енергооб'єктів використовуються як провідні так і бездротові мережі передачі даних. В якості основних каналів передачі даних використовують провідні канали, в якості резервних каналів - бездротові канали передачі даних. Також можливі ситуації, коли з яких-небудь причин провести провідний канал до енергооб'єкта неможливо, тоді основним і єдиним каналом передачі даних стає радіоканал. У такій ситуації критичною величиною стає пропускна здатність радіоканалу, так як для передачі відеоінформації потрібно ширина каналу велика ніж для передачі телеметричної інформації.

Однак кількість користувачів, що працюють в неліцензованому діапазоні частотного спектра, з кожним днем стає все більше. У зв'язку з цим досить актуальним стає питання, яким способом бездротовий пристрій вибере вузол доступу для установки зв'язку. У бездротової мережі всі мобільні пристрої підтримує

зв'язок з вузлом (точкою) доступу. В даний час пристрої вибирають вузли доступу за величиною сигналу. Цей спосіб дозволяє визначити найближчий до пристрою вузол доступу [33]. Однак велика величина сигналу не обов'язково означає хорошу пропускну здатність.

На даний момент для побудови радіоканалів ВАТ «Тернопільобленерго» використовує технологію пакетної передачі даних на основі протоколу АХ.25. У дипломній роботі запропоновано побудувати радіоканали на основі технології Wi-Fi, що дозволить збільшити пропускну здатність радіоканалу, тим самим дозволить додати в канал передачі даних відеоінформацію.

Мета і завдання досліджень. Метою дипломної роботи є розробка методики дослідження можливостей підвищення якості управління системами телекомунікацій в електроенергетиці за допомогою радіомережі на базі використання технології Wi-Fi з метою збільшення пропускну здатності радіоканалу.

Для досягнення мети поставлені та вирішені такі завдання:

- проведено порівняльний аналіз існуючих систем передачі даних в електроенергетиці, вказано на їх переваги та недоліки;
- проведено дослідження використання радіомереж у енергетиці та запропоновано методику реалізації технологічної радіомережі обміну даними;
- виконано дослідження впливу завад радіосигналів при побудові безпроводних мереж на базі Wi-Fi технології;
- проведено технологічний аналіз обладнання для радіомережі та виконано розрахунок потужності радіоканалу;
- розроблено алгоритм розрахунку необхідної кількості вишок;
- виконано розрахунок радіомережі з важкодоступними контрольованими пунктами;
- виконано розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних і часових характеристик радіомережі.
- проведено розрахунок санітарно-захищеної зони.

Об'єктом дослідження є телекомунікаційна радіомережа для на базі Wi-Fi технології для збору і передачі телеметричних даних з електричних підстанцій.

Предметом дослідження є принцип управління радіомережею телекомунікацій, яка побудована на основі технології Wi-Fi.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– розроблено алгоритм оптимізації параметрів бездротового протоколу, який дозволяє підвищити якість управління системами телекомунікацій в телеметрії;

– розроблено метод аналізу поведінки взаємозалежних станцій безпроводних мереж, які базуються на цьому протоколі, що дозволяє виявити і усунути виникаючі колізії при передачі даних;

– запропоновано метод побудови моделі бездротової мережі з використанням технології Wi-Fi, який дозволяє враховувати особливості роботи протоколу в конкретній мережі та підвищити її продуктивність.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Результати, отримані в дипломній роботі, можуть бути використані для оцінки основних показників продуктивності безпроводної мережі та для оптимізації механізму передачі пакетів, зокрема досягати оптимальних показників продуктивності в зборі і передачі даних в телеметрії. Використання результатів дозволить скоротити терміни проектування і реалізації безпроводної мережі передачі даних і може позитивно позначитися на загальній ефективності її функціонування.

Апробація результатів магістерської роботи.

Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 р. (Тернопіль, 2019 р.)

Публікації.

За результатами виконаних досліджень опубліковано 1 тезу доповідей «Впровадження технологічної радіомережі обміну даними». Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 27–28 листоп. 2019.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – Т. 3, С. 63-64.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (35 найменувань), 2 додатків.

Загальний обсяг текстової частини: 124 сторінок, 19 таблиць, 26 рисунків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз побудови радіомереж НВЧ діапазону

Радіозв'язок застосовується в енергетиці на всіх щаблях диспетчерського управління для організації оперативно-диспетчерських каналів. Основним діапазоном, що використовується в енергетиці, є діапазон ультракоротких хвиль (УКХ). Організація радіомереж вимагає застосування великого числа обладнання, що призводить до значних витрат, тому радіозв'язок застосовується перш за все там, де використання інших видів зв'язку технічно неможливо або економічно не вигідно.

У роботах [1, 2, 3] описані основні принципи частотно-територіального планування мереж радіозв'язку. Велика кількість мереж, обмеженість частотних ресурсів і питання електромагнітної сумісності робить задачу ефективного використання радіочастотного ресурсу актуальною.

Для забезпечення зв'язку з об'єктами, які знаходяться в зоні відсутності сигналу від інших об'єктів, використовуються ретранслятори, що дозволяють уникнути взаємних впливів сигналів для підстанцій, чії траси накладаються один на одну. Ці вимоги враховані при виборі структури радіомережі і повинні бути враховані при виборі робочих частот приймально-передавальних пристроїв в рамках частотно територіального планування.

В роботі [4] розглянуті основні методи і технічні рішення побудови цифрового радіоканалу для мобільних систем радіозв'язку, а також побудова радіорелейних ліній зв'язку. Тут також розглянуті властивості цифрових сигналів, як вузькосмугові методи модуляції, так і модульовані сигнали з розширеним спектром, типи затухань сигналів при багатопроменевому поширенні радіохвиль, методи оптимального прийому цифрових сигналів в умовах білого шуму. Наведено основні методи відновлення цифрового повідомлення. Також наведені відомості про організацію каналів і мереж зв'язку. Розглянуто методи поділу і комутації каналів, передача даних по цифровому радіоканалу.

У роботі [1] розглядаються основні явища, що впливають на передачу сигналу в радіоканалі. У короткій формі викладається результат основних розрахункових енергетичних співвідношень, так як поширення радіохвиль у вільному просторі супроводжується спаданням енергії сигналу, обумовленим природним ослабленням щільності потоку енергії поля зі збільшенням відстані. Коефіцієнт ослаблення у цьому випадку дорівнює:

$$W_{dB} = -20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R_0}, \quad (1.1)$$

де λ - довжина хвилі;

R_0 - відстань від передавача до приймача.

Формулюється поняття про зони Френеля, наводяться вирази для коефіцієнтів Френеля і розглядаються механізми дифракції хвиль на перешкодах. При поширенні радіохвиль уздовж земної поверхні відбувається явище дифракції (огинання) перешкод, в нашому випадку це явище можна визначити, як затікання частини енергії, яку переносять хвилею, в тіньові області, створені різними перешкодами. Таким чином, дифракція є одним з механізмів, за рахунок якого відбувається поширення радіохвиль у відсутності прямої видимості.

Також розглядаються ефекти, що виникають при поширенні радіохвиль в земній атмосфері. Так, на поширення радіохвиль впливає неоднорідна будова тропосфери, що викликає рефракцію (викривлення траєкторії) - таким чином, в ряді випадків радіохвилі поширюються не по прямій лінії, а вздовж поверхні землі, огинаючи її. Рефракція радіохвиль залежить від величини зміни градієнта коефіцієнта заломлення, який в свою чергу визначається діелектричною проникністю повітря.

При випромінюванні радіохвиль однією і тією ж антеною по відкритому каналу внаслідок перевідбиттів від об'єктів, таких як будівлі, вода і лісосмуга, можливий прихід хвиль в точку прийому різними шляхами. В результаті на приймальні антени наводиться два однакових сигнали, але з різними часовими затримками і рівнем сигналу. Так, при взаємодії прямої і перевідбитті хвиль

можливе як різке зменшення рівня сигналу, так і повне завмирання, коли два сигнали приходять в протифазі і повністю компенсують один одного, що призводить до нульового рівня сигналу на вході приймача.

В [2] описані основні методи розрахунку електромагнітного поля в точці прийому і дальності зв'язку при поширенні радіохвиль. Розглянуто методи розрахунку поля в службах мовлення і стільникових системах зв'язку, наведені чинники, що впливають на ослаблення поля в земних об'єктах супутникового зв'язку. Приводиться розрахунок напруженості поля для фіксованої лінії зв'язку в найбільш складному випадку, коли відсутня пряма видимість між прийомною і передавальною станцією в умовах пересіченої місцевості в діапазоні метрових і дециметрових радіохвиль.

1.2 Методика розрахунку радіорелейних ліній

Ключовим питанням проектування радіомережі є точний прогноз рівня ЕМП в точці прийому, тобто при проектуванні радіомережі необхідна оцінка загасання сигналу на трасі поширення. Для оцінки загасання сигналу використовуються різні статистичні моделі загасання радіосигналу. Ці моделі отримані в результаті аналізу результатів численних експериментів [3].

Модель Окамура. Це одна з найбільш часто використовуваних і простих моделей. Вона дозволяє оцінити рівень втрат в районі міської забудови, але дає великі похибки для умов у сільській місцевості.

Модель Окамура-Хата враховує різні типи забудови місцевості і задовільно описує втрати середньої потужності на відстанях понад 1 км і в діапазоні частот до 1,5 ГГц. В області частот від 1,5 до 2 ГГц реальне загасання вище. Спеціально для цього діапазону була розроблена модель COST231-Хата і модель COST231-Уолшіф-Ікегамі.

Моделі COST231-Хата і COST231-Уолшіф-Ікегамі дозволяють врахувати відхилення від експериментальних даних моделі Окамура-Хата для діапазону 1,5-2 ГГц. Але дані моделі не дозволяють враховувати умови району розгортання мережі.

Модель Ксіа-Бертоні розглядає різні механізми поширення радіохвиль в умовах міської забудови, а саме поширення в вільному просторі, дифракцію на краях дахів будинків, відображення від стін будівель. Інтерферуючи в точці прийому, промені, що прийшли за різними шляхами, формують сумарний сигнал. Коли антена базової станції (БС) розташована вище середнього рівня дахів будівель, на вході мобільної станції (МС) виявляються сигнали, що поширюються по двох променів: один в результаті дифракції на краю даху будівлі, інший – після від протилежної стіни будівлі.

Модель Ксіа-Бертоні дозволяє оцінити також середній рівень втрат і в тих випадках, коли антена БС розташована на рівні дахів або навіть навіть нижче рівня дахів. Незважаючи на те, що модель не враховує ряд важливих параметрів, вона дає простий і зручний спосіб отримання попередніх оцінок рівня середніх втрат в каналі зв'язку.

У дипломній роботі прогнозування здійснюється за допомогою дифракційного розрахунку трас за методом розрахунку радіорелейної лінії (РРЛ). В роботі [4] описано метод розрахунку РРЛ. Суть розрахунку траси за методом РРЛ полягає в визначенні рівня загасання радіосигналу, внесеного перешкодами на шляху його поширення. Вихідними даними для розрахунку є: висота приймальної і передавальної антен, геометрія профілю траси поширення сигналу. Але крім аналітичного методу розрахунку РРЛ є можливість програмного розрахунку РРЛ. Серед програмних засобів розрахунку РРЛ можна відзначити наступні:

- програмний комплекс DRRL, розроблений ТОВ Центр телекомунікаційних технологій (ctt-group.ru);
- програмний комплекс «Альбатрос-Територія», розроблений компанією Інформаційний Космічний Центр «Північна Корона»;
- САПР «Балтика-РРЛ», розроблений філією ФГУП НДІР – ЛОНІР;
- програмний комплекс ICS designer, розроблений компанією ATDI (Advanced Radiocommunications);

- програмний комплекс Radio Mobile, який є вільно поширеним програмним продуктом.

Згадані програмні продукти дозволяють не тільки проводити розрахунок РРЛ, а й вирішувати різні завдання оптимізації: оптимізації кількості вишок, їх висот і ін.

Для твору розрахунку РРЛ для проектованої радіомережі серед всіх програмних продуктів був обраний програмний комплекс Radio Mobile, як єдиний вільно розповсюджуваний.

Програмний комплекс Radio Mobile дозволяє задавати координати розміщення об'єктів. В якості профілю рельєфу поверхні Землі використовується модель SRTM3 - дані радарної топографічної зйомки, отримані з космічного шаттла *Індевор* в 2000 році (приклад рельєфного зображення показано на рис 1.1). Також програмний комплекс дозволяє враховувати природні перешкоди на шляху поширення сигналу. Штучні перешкоди на шляху поширення сигналу не враховуються, але оскільки в дипломній роботі об'єкти не знаходяться в районі міської забудови, то вплив цих перешкод оцінюється користувачем вручну.

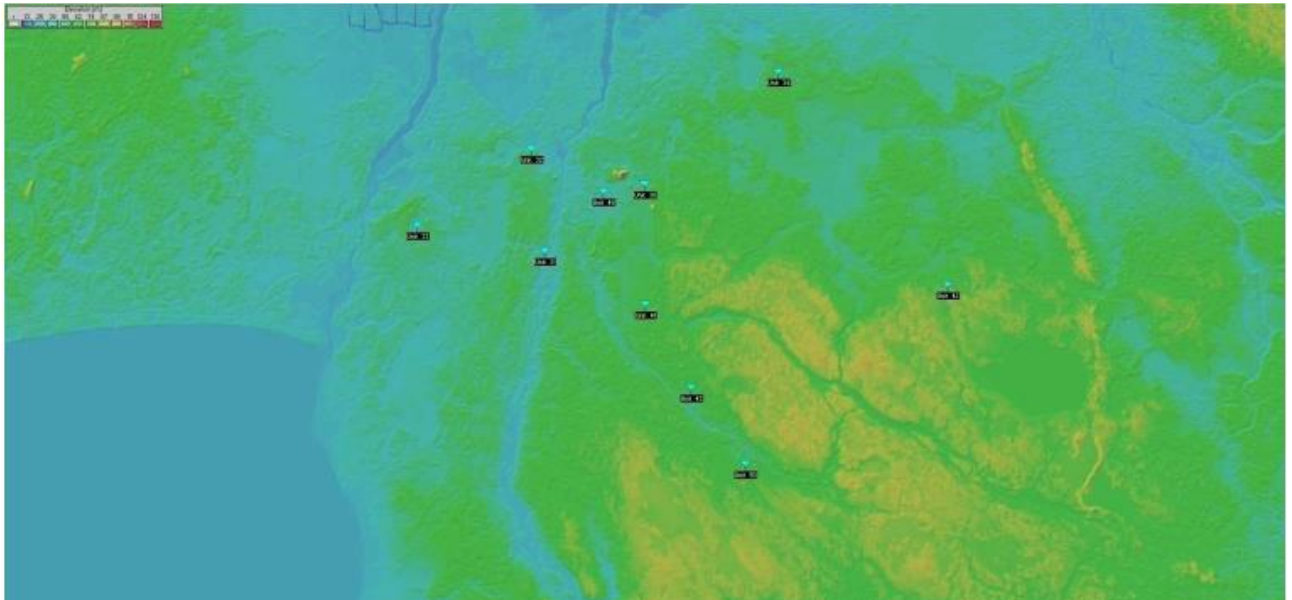


Рисунок 1.1 - Рельєфне зображення місцевості з нанесеними об'єктами, отриманого в програмному комплексі RadioMobile

Також програмний комплекс дозволяє задати параметри приймачів: коефіцієнт підсилення антен, діаграму спрямованості антен, потужність випромінювання, чутливість приймача.

На рис. 1.2 показано діалогове вікно програми із заданням параметрів антен. На рис. 1.3 показано діалогове вікно програми, що відображає результати розрахунку.

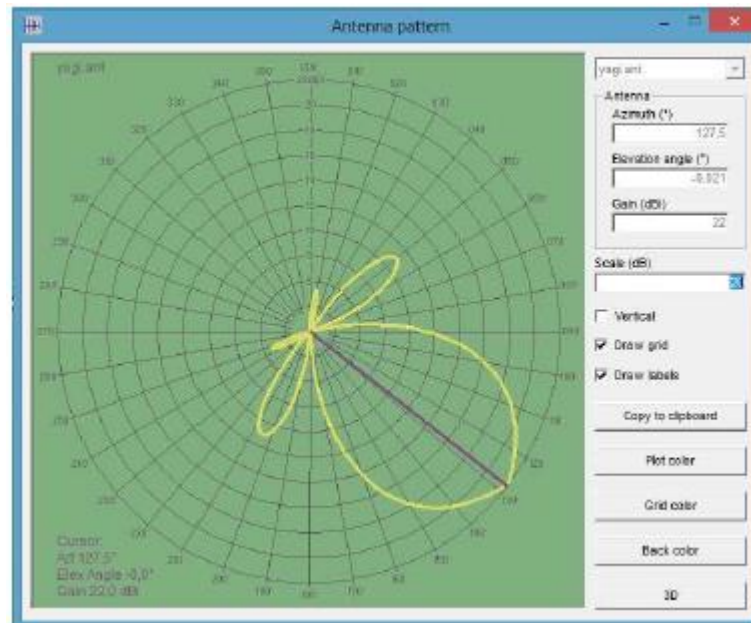


Рисунок 1.2 – Вікно програмного середовища із заданням параметрів прийому даних

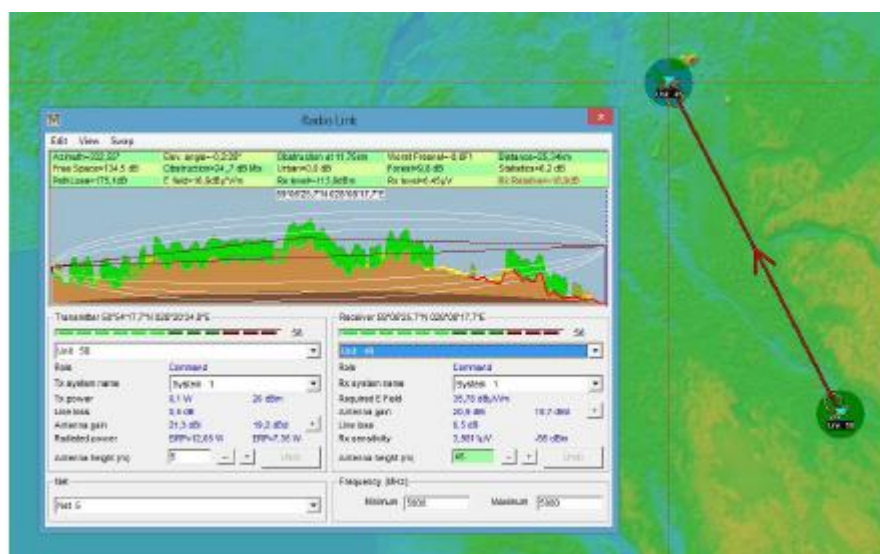


Рисунок 1.3 - Вікно програмного середовища з результатами отриманих розрахунків

1.3 Використання телекомунікаційних веж

Використання радіозв'язку надвисокочастотного (НВЧ) діапазону для великих відстаней передбачає використання підвісів антен. В якості підвісів антен для радіопередавальних пристроїв використовуються телекомунікаційні вежі. Найбільшого поширення мають вежі наступних типів: *щогли - вежа*, яка утримується у вертикальному положенні за допомогою відтяжок; і *вежа - вільно* розміщена вежа, яка не потребує відтяжок для забезпечення вертикального положення.

Зазвичай телекомунікаційні вишки являють собою фермерні металеві конструкції (рис. 1.4).

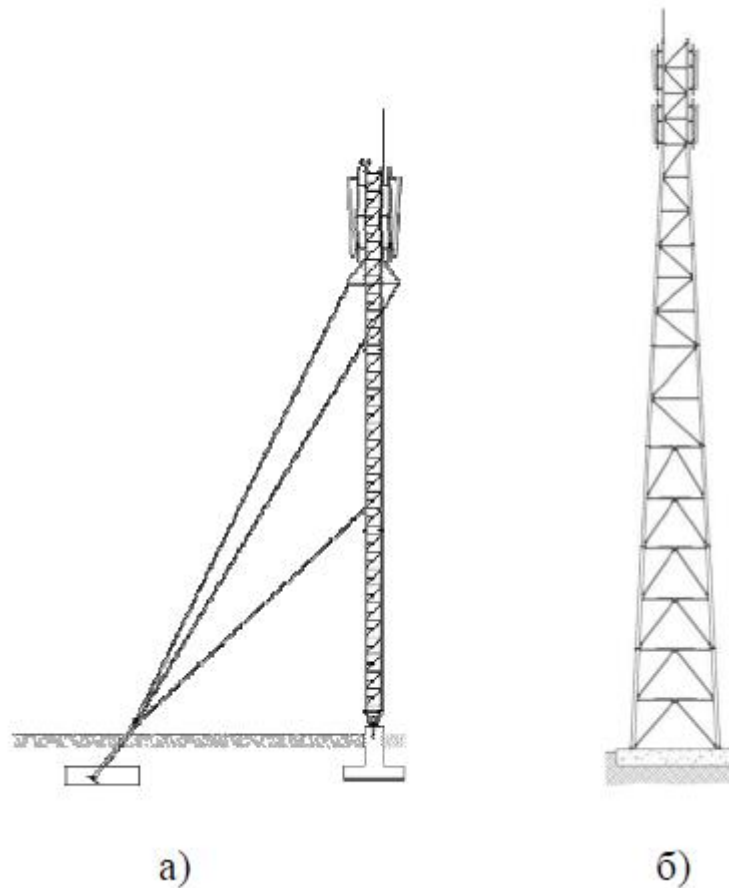


Рисунок 1.4 - Телекомунікаційної вишки:
а) щогла з відтяжками, б) вежа

Також поширені телекомунікаційні вежі у вигляді фланцевих монополів – це вільно розміщена конструкція, що складається з циліндричних металевих секцій (рис. 1.5 а), б).

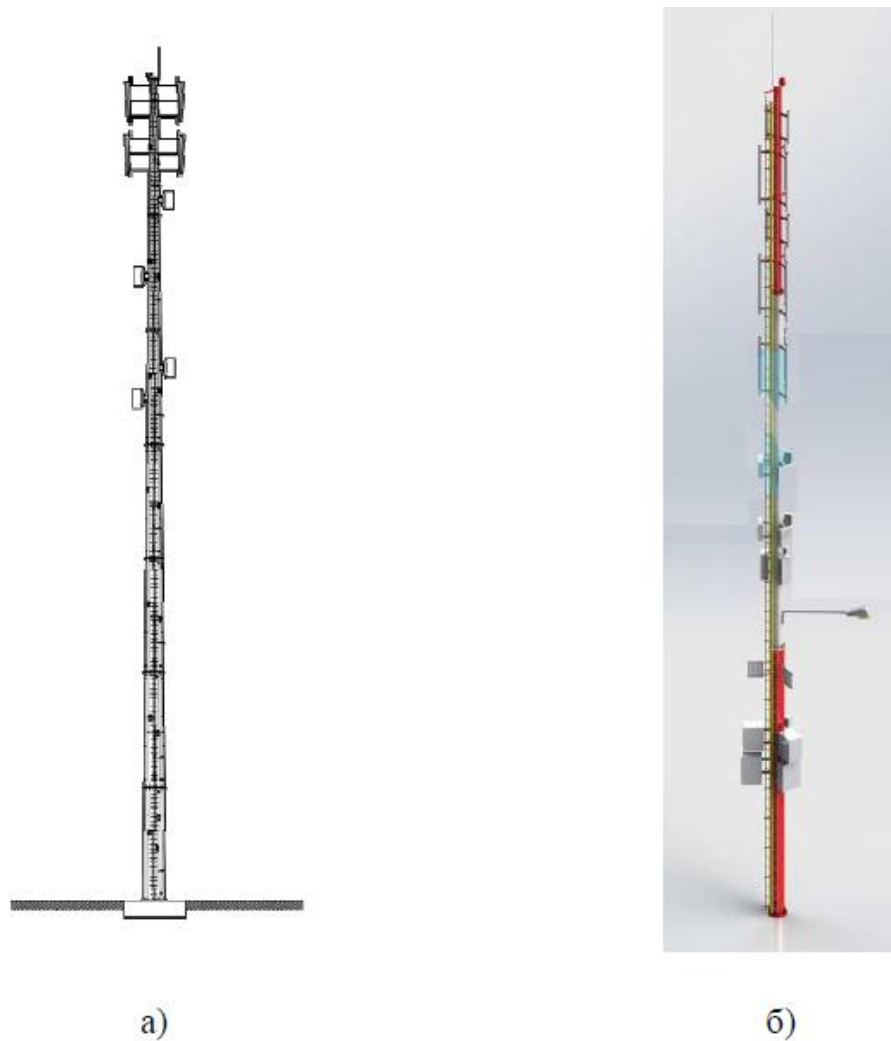


Рисунок 1.5 – Фланцеві монополі
(www.mer-group.com, www.bmi.dauer.lv)

З точки зору фінансових витрат на рівних висотах і рівному витримуваному навантаженні дешевшим рішенням є установка щогли з відтяжками.

При будівництві щогли з відтяжками необхідно задіяти під підставою щогли для установки відтяжок площу, яка за габаритами порівняна з висотою щогли. Тобто розміщення подібної телекомунікаційної вежі на енергооб'єктах викличе ряд проблем з технічним обслуговуванням самого енергооб'єкта через наявність відтяжок, розташованих на його території.

Значить, з точки зору експлуатації трансформаторної підстанції за своїм прямим призначенням використання телекомунікаційної вежі у вигляді башні є оптимальним.

Також при розрахунку висот телекомунікаційних веж необхідно враховувати, що при будівництві веж висотою понад 50 метрів потрібно погоджувати

будівництво с територіальними органами України [5]. До того, ж варто відзначити, що встановлені вежі можна здавати в оренду операторам зв'язку для розміщення на них телекомунікаційного обладнання, таким чином отримуючи економічну вигоду від їх установки.

1.4 Огляд технології Wi-Fi

Оскільки проєктована радіомережа повинна забезпечувати передачу відеоінформації, то використання вже наявної радіомережі, що працює за стандартом АХ.25 неможливо, оскільки максимальна швидкість передачі даних в цій мережі становить десятки кілобіт в секунду. Одним із варіантів побудови мережі з прийнятним рівнем швидкості передачі даних є використання мережі передачі даних мобільних операторів - мережі КиївСтар. Але, по-перше, зона покриття мережі КиївСтар не охоплює всі питання, що цікавлять об'єкти ВАТ «Тернопільобленерго», по-друге, мережа оператора зв'язку - це мережа, в якій можливі відмови при великому абонентському навантаженні, що є негативною стороною її використання в якості носія даних, приймаючи до уваги важливість телеметричної інформації, що йде від енергооб'єкта.

Іншим варіантом рішення є побудова власної радіомережі. Причому, так як крім передачі телеметрії завданням проєктованої радіомережі є передача даних систем відеоспостереження і охоронних систем, то однією із вимог до проєктованої радіомережі необхідно висунути можливість інтеграції з корпоративною мережею передачі даних, яка побудована за технологіям сімейства Ethernet. Також вимоги до пропускну здатності каналу передачі даних будуть сформовані в наступному розділі.

Однією із використовуваних технологій для організації бездротових каналів зв'язку в корпоративній мережі є технологія *Wi-Fi*. Під терміном «технологія *Wi-Fi*» мається на увазі група стандартів IEEE 802.11, випущена Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), а також пристрої, що працюють за цими стандартами.

IEEE 802.11 - це набір стандартів для організації бездротового зв'язку на частотах 2,4-2,5 ГГц і 5 ГГц. Щодо моделі міжмережевої взаємодії, то протоколи IEEE 802.11 відносяться до протоколів канального і фізичного рівнів. Швидкості передачі даних для різних версій протоколу IEEE 802.11 складають від одного Мбіт/с до десятків-сотень мегабіт в секунду (стандарт IEEE 802.11ac, прийнятий в 2014 році, теоретично дозволяє досягти швидкості передачі даних до одиниць гігабіт на секунду).

Розглянемо версію стандарту IEEE 802.11n, яка не є новою, але дозволяє теоретично досягти швидкості передачі даних 600 Мбіт/с. На поточний момент пристрої, що підтримують версію стандарту IEEE 802.11n, розроблені і знаходять широке застосування, особливо при організації бездротових каналів передачі даних типу «точка-точка». Розглянемо характеристики стандарту IEEE 802.11n.

Стандарт IEEE 802.11n [6] дозволяє здійснити технологію рознесеної передачі і прийому (технологія MIMO: *Multiple input - Multiple output*). В стандарті визначаються різні антенні конфігурації типу «MxN», де M і N - кількість антен передавача і приймача. Конфігурація «4x4» при використанні модуляції 64-QAM забезпечує швидкість до 600 Мбіт/с, конфігурація «3x3» - при використанні модуляції 64-QAM забезпечує швидкість до 450 Мбіт/с, в той час як конфігурації «2x3» і «1x2» забезпечать швидкість до 300 Мбіт/с.

Також особливістю стандарту IEEE 802.11n є збільшення смуги каналу передачі даних до 40 МГц (в порівнянні з колишнім значенням 20 МГц), що дозволяє збільшити пропускну здатність каналу передачі.

Стандарт 802.11n визначає індекс модуляції і схеми кодування MCS (*Modulation and Coding Scheme*). MCS - просте ціле число, що привласнюється кожному варіанту модуляції (всього можливо 77 варіантів, частина представлена в табл. 1.1). Кожен варіант визначає тип модуляції радіочастоти (*Type*), швидкість кодування (*Coding Rate*), захисний інтервал (*Short Guard Interval*) і значення швидкості передачі даних.

Таблиця 1.1 - Теоретична швидкість передачі даних стандарту 802.11n в залежності від схеми кодування

MCS	Тип модуляції	Конфігурація антен	Ширина каналу 40 МГц	Ширина каналу 20 МГц	Ширина каналу 10 МГц	Ширина каналу 5 МГц
			Захисний інтервал 400 нс	Захисний інтервал 800 нс	Захисний інтервал 800 нс	Захисний інтервал 800 нс
0.	BPSK	1x1	15	6,5	3,25	1,625
1.	QPSK	1x1	30	13	6,5	3,25
2.	QPSK	1x1	45	19,5	9,75	4,875
3.	16-QAM	1x1	60	26	13	6,5
4.	16-QAM	1x1	90	39	19,5	9,75
5.	64-QAM	1x1	120	52	26	13
6.	64-QAM	1x1	135	28,5	29,25	14,625
7.	64-QAM	1x1	150	65	32,5	16,25
8.	BPSK	2x2	30	13	6,5	3,25
9.	QPSK	2x2	60	26	13	6,5
10.	QPSK	2x2	90	39	19,5	9,75
11.	16-QAM	2x2	120	52	26	13
12.	16-QAM	2x2	180	78	39	19,5
13.	64-QAM	2x2	240	104	52	26
14.	64-QAM	2x2	270	117	58,5	29,25
15.	64-QAM	2x2	300	130	65	32,5

Поєднання всіх цих факторів визначає реальну фізичну (PHY) швидкість передачі даних, починаючи від 6,5 Мбіт/с до 600 Мбіт/с (дана швидкість може бути досягнута за рахунок використання всіх можливих опцій стандарту 802.11n). Від вибору схеми кодування залежить чутливість приймача. В бездротових пристроях що підтримують стандарт 802.11n є можливість в автоматичному і ручному режимах вибирати схему кодування.

Також варто відзначити, що для використання радіоканалу для віддалених один від одного об'єктів будуть потрібні цілеспрямовані антени. У пристроях, що працюють за технологією WiFi з вузькою діаграмою спрямованості коефіцієнт

підсилення антен зможе знаходитися в діапазонах від 16 до 23 дБ. Здійснюється це переважно за рахунок використання дзеркальних антен (рис. 1.6.).

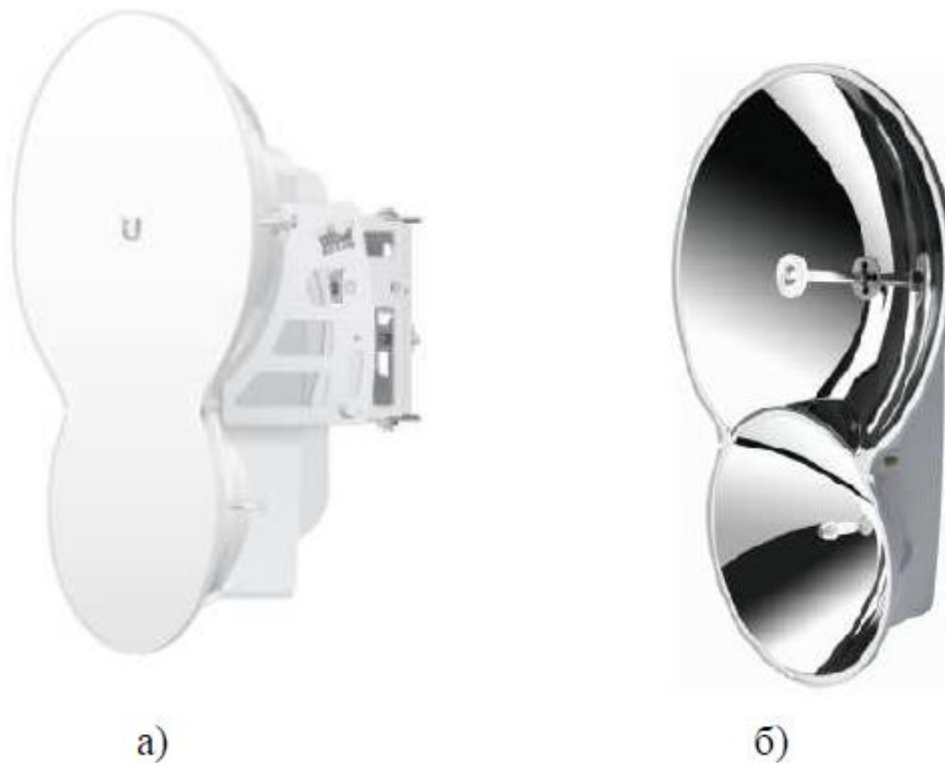


Рисунок 1.6 – *Wi-Fi* приймач Ubiquiti airFiber AF-24 із дзеркальною антенною:
а) зовнішній вигляд, б) без захисного кожуха

1.5 Передача відеоінформації локальних обчислювальних мережах

У радіомережі, що розробляється, передбачається передача даних телеметрії, відеоспостереження, даних охоронних систем. Серед цих трьох типів переданої інформації можна відзначити один, як найбільш ресурсомісткий, з точки зору смуги пропускання каналу передачі даних - це передача даних відеоспостереження.

Для того, щоб оцінити смугу пропускання каналу передачі даних, необхідну для передачі відеопотоку, розглянемо механізм передачі відеопотоків в локальних обчислювальних мережах, різні способи кодування відеозображення.

У загальному випадку джерелом відеопотоку в локальній обчислювальній мережі є: мережева камера, перетворювач аналогового відео в цифровий потік або комп'ютер, що займається передачею відеоінформації. Для більш загальної

картини представимо передачу відеопотоку в локальну мережу таким чином: джерелом інформації є пристрій, що має інтерфейс в локальній обчислювальній мережі. На цьому пристрої запущено додаток, що займається мовленням вихідного цифрового потоку відео в локальну мережу. При цьому даний додаток виконує:

- стиснення цифрового потоку (в загальному випадку стиснення з втратами для економії смуги пропускання каналу передачі даних);
- упаковку цифрового потоку в медіаконтейнер.

Далі цей додаток з відповідно до принципів передачі в моделі OSI виконує послідовну упаковку медіаконтейнера в блоки даних: транспортного рівня, мережевого рівня, каналного рівня. Після цього отриманий блок даних передається в локальну мережу. З точки зору економії пропускну здатності каналу передачі даних ключовим етапом в даній послідовності є стиснення цифрового потоку відео. Від ступеня стиснення залежить трафік на виході пристрою мовлення.

Серед методів стиснення відеопотоку можна виділити два: внутрішньокадрове стиснення відео і міжкадрове стиснення. При внутрішньокадровому стисненні відбувається стиснення кожного кадру окремо. При міжкадровому стисненні відбувається як стиснення кожного кадру, так і видалення надлишкової інформації з близько по часу розташованих один до одного кадрів. Тобто в загальному випадку міжкадрове стиснення дозволяє отримувати цифровий потік з більш низьким бітрейтом, ніж при внутрішньокадровому стисненні.

Одним з найбільш поширених методів внутрішньокадрового стиснення є стандарт MJPEG. Відповідно до алгоритму цього стандарту проводиться внутрішньокадрове стиснення з втратами на основі дискретного косинусного перетворення. Психовізуальна модель, заснована на особливостях сприйняття зображень людиною, видаляє високочастотну інформацію, роблячи грубшими різкі переходи яскравості і відтінків кольору.

Одним з найбільш поширених стандартів стиснення є стандарт H.264. Використання цього стандарту дозволяє домогтися високого ступеня стиснення при відносно низькому погіршенні якості відеозображення. Стандарт H.264 дозволяє

виконувати міжкадрове стиснення. Для цього використовуються різні алгоритми, такі як багатокадрове передбачення, чеерезстрічкове стиснення і інші.

Однак варто зазначити, що вибір алгоритму стиснення не є єдиним способом зменшити бітрейт потоку відео. Також одним з способів зменшити бітрейт відеопотоку є зменшення кадрової частоти в відеопотоці, зміна дозволу зображення.

Для порівняння різних методів стиснення і оцінки їх впливу на бітрейт вихідного потоку був проведений експеримент, в ході якого в локальну мережу (за стандартом GigabitEthernet) прямував відеопотік, стиснений різними методами стиснення. Параметри вихідного відеопотоку: роздільна здатність 1920x1080 (Full HD), частота кадрів 25 кадрів в секунду. При стисненні відеопотоку кодеком H.264 (профіль кодека - *Baseline Profile*) бітрейт вихідного потоку становив 3,5 Мбіт/с. При стисненні кодеком MJPEG бітрейт вихідного потоку становив 14,5 Мбіт/с. Також при кодуванні розглянутого відеопотоку кодеком MJPEG зі зменшенням роздільної здатності в 2 рази був отриманий вихідний потік даних з бітрейтом 4,5 Мбіт/с.

Таким чином можна зробити висновок, що для передачі через проектовану радіомережу інформації з системи відеоспостереження при передачі зображення з роздільною здатністю Full HD пропускна здатність каналу передачі даних становить порядку одиниць мегабіт в секунду.

1.6 Мета і завдання дипломної роботи

Метою цієї дипломної роботи є розробка проектних рішень з побудови радіомережі збору даних телеметрії для електричних мереж ВАТ «Тернопіль-обленерго». Для реалізації цієї мети в дипломній роботі вирішено наступні завдання:

1. Аналіз і вибір радіообладнання.
2. Розрахунок енергетичного потенціалу радіоканалу.
3. Розрахунок необхідної кількості антенних щогл для кожної групи об'єктів.
4. Розрахунок часових характеристик радіомережі.
5. Розрахунок санітарно-захищеної зони.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Загальні вимоги до створення промислових радіомереж

Енергетика є потенційно небезпечним виробництвом, на якому періодично виникають аварії та збої, ліквідація яких вимагає наявності надійного зв'язку, що функціонує в будь-яких умовах і в режимах відповідно до вимог в таких ситуаціях. Тому в енергетиці широко застосовуються автоматизовані системи управління (АСУ) різного призначення: АСДУ - автоматизовані системи диспетчерського управління, АСКОЕ - автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії, АСТОЕ - автоматизовані системи технічного обліку електроенергії; АСУ ТП - автоматизовані системи управління технологічними процесами [7].

Паливна і електроенергетика є одним з найбільших користувачів радіомереж збору даних і управління (обміну даними), що обумовлено особливостями забезпечуваних такими радіомережами технологічних процесів і характеристиками об'єктів автоматизації. Основні технологічні процеси відносяться до категорії критично важливих, оскільки зібрані дані повинні надходити із заданою затримкою, а управлінський вплив здійснюватися в регламентовані терміни. Значна частина об'єктів розміщується розподілено на великій території, що робить використання провідних засобів зв'язку недоцільним, або знаходиться в таких місцях, в які складно або неможливо прокласти провідні комунікації [7].

Типова АСУ включає в себе три функціональних рівні [8]:

- *нижній рівень* (програмно-технічні засоби, які встановлюються на контрольованих об'єктах енергетики, що реалізують функції генерації даних від засобів об'єктивного контролю та виконання одержуваних з верхнього рівня системи керуючих сигналів і команд);

- *проміжний рівень* (засоби зв'язку і обміну даними, що встановлюються на контрольованих об'єктах, а також в стаціонарних та рухомих пунктах управління і реалізують функції обміну інформацією між нижнім і верхнім рівнями системи);

- *верхній рівень* (програмно-технічні засоби, які встановлюються в стаціонарних та рухомих пунктах управління, що реалізують функції збору даних від

засобів об'єктивного контролю та формування керуючих сигналів і команд на основі аналізу отриманих з нижнього рівня даних).

В цьому розділі дипломної роботи потрібно виконати дослідження проблем, які пов'язані з реалізацією проміжного рівня типової АСУ для паливної та електроенергетики - радіомережі збору даних і управління. Енергетична система повинна надійно функціонувати в звичайній обстановці, в надзвичайних ситуаціях, в загрозовий і особливий періоди. Тому радіомережі обміну даними, що забезпечують роботу АСУ, повинні створюватися з урахуванням умов роботи в будь-якій обстановці і володіти відповідним рівнем надійності і живучості [9].

Радіомережа обміну даними дозволяє реалізувати наступні функціональні можливості АСУ:

- моніторинг перебігу технологічних процесів (автоматичний збір об'єктивної інформації про технічні і виробничі параметрах, включаючи облік електроенергії);

- диспетчерське та оперативне управління об'єктами енергетики (передачу керуючих сигналів і команд в напрямку «диспетчер - контрольований об'єкт», а також підтверджень про отримання керуючих сигналів і звітів щодо виконання команд в напрямку «контрольований об'єкт - диспетчер»).

Залежно від призначення АСУ, вона може забезпечувати виконання всіх або частини перерахованих вище функцій, при цьому функції моніторингу є загальними і обов'язковими для всіх систем [10].

У зв'язку з цим до радіомереж збору даних і управління АСУ в енергетиці пред'являються наступні основні оперативно-технічні вимоги [11]:

1. Функціонування радіомережі у всій оперативній зоні.
2. Висока надійність і живучість радіомережі.
3. Оперативний і своєчасний доступ до ресурсів радіомережі.
4. Мінімальні і передбачувані затримки в доставці інформації.
5. Достатня пропускну здатність для повномасштабного функціонування всіх додатків АСУ.
6. Безпека циркулюючої в радіомережі інформації.

7. Контроль і регулювання використання ресурсів радіомережі в різній обстановці.

8. Можливість функціонування в жорстких умовах.

9. Простота експлуатації.

10. Сумісність з різномірним обладнанням збору і обробки даних за розповсюдженими і нестандартними інтерфейсами.

11. Низька вартість експлуатації.

12. Простота переміщення і оперативність розгортання в новому районі.

Наведені вище вимоги можуть мати свої пріоритети при створенні радіомереж збору даних і управління різного призначення та відомчої належності, але, в цілому, повинні враховуватися при створенні будь-якої радіомережі.

2.2 Дослідження використання радіомереж у енергетиці

В даний час в АСУ в енергетиці застосовуються різні радіомережі обміну даними, які за призначенням поділяються на дві основні групи [12]:

- *радіомережа загального користування* (англ. *Public network* - призначена для платного надання послуг електрозв'язку будь-якому користувачеві на території України і включає в себе мережі електрозв'язку, які визначаються географічно в межах території, що обслуговується, та ресурсу нумерації і не можуть бути визначені географічно в межах території України та ресурсу нумерації, а також мережі зв'язку, які визначаються за технологією реалізації надання послуг зв'язку);

- *технологічна радіомережа*, раніше відомча або корпоративна (англ. *Private network* - призначена для забезпечення виробничої діяльності організацій, управління технологічними процесами у виробництві. Технології і засоби зв'язку, що застосовуються для створення технологічних мереж зв'язку, а також принципи їх побудови встановлюються власниками або іншими власниками цих мереж).

До першої групи належать радіомережі, доступ до яких надається власником радіомережі для всіх бажаючих користувачів, до другої - радіомережі, в

яких працюють тільки користувачі власника мережі. Радіомережі обох груп можуть будуватися із застосуванням однакових технологій, але призначення радіомережі принципово визначає її можливості при обслуговуванні роботи АСУ.

Радіомережі загального користування включають в себе мережі стільникового зв'язку різних стандартів, мережі операторів професійної мобільного зв'язку діапазону ультракоротких хвиль (УКХ) - зазвичай транкові радіомережі - і ширококутові мережі зв'язку та передачі даних надвисокої частоти (НВЧ), включаючи наземні і супутникові.

Технологічні радіомережі включають в себе мережі професійного мобільного зв'язку УКВ-діапазону (транкові і конвенційні) та ширококутові мережі передачі даних НВЧ, включаючи наземні і супутникові. Технологічні радіомережі вважаються найбільш ефективним технічним рішенням для АСУ в енергетиці. Вони створюються на обладнанні, спочатку призначеному для реалізації специфічних завдань, пов'язаних з віддаленим автоматизованим (а в деяких випадках - автоматичним) управлінням та збором даних, з урахуванням особливостей їх функціонування і пред'явлених до них оперативно-технічних вимог. Оскільки реалізувати з однаковим ступенем ефективності всі вимоги АСУ в енергетиці в рамках одного типу обладнання або одного, навіть найдосконалішого на сьогоднішній день технічного рішення, неможливо, то перед власником і користувачем системи завжди постає необхідність вибору. Вибір технічного рішення здійснюється з урахуванням реальних завдань, що вирішуються в рамках створюваної автоматизованої системи оперативно-диспетчерського управління.

Область застосування технологічних радіомереж передачі даних в АСУ в енергетиці визначається наступними основними оперативно-технічними можливостями і перевагами [13]:

- гарантована надійність роботи (радіомережа створюється і управляється її власником з урахуванням його персональних вимог до надійності функціонування);

- висока живучість радіомережі в різній обстановці (вимога до живучості закладається на етапі проектування радіомережі її власником, і, як правило, виявляється вищою, ніж в радіомережах загального користування);

- робоча зона, яка повністю перекриває район використання засобів, що знаходяться під управлінням АСУ (реально побудовані технологічні радіомережі мають оперативну зону понад мільйон км²);

- застосування детермінованих протоколів обміну даними, що підтримують роботу в близькому до реального режиму часу і забезпечують гарантовану доставку даних у встановлені регламентом роботи радіомережі терміни;

- відносно невеликий час доступу до каналу передачі даних, що забезпечує незначні і прийнятні для більшості автоматизованих систем затримки в доставці даних;

- висока безпека даних, що функціонують в технологічній радіомережі (застосовувані технології забезпечують захист від придушення, перехоплення або несанкціонованого доступу до роботи в складі технологічної радіомережі);

- відносно низька вартість експлуатації;

- незалежність від «чужої» інфраструктури зв'язку та можливість розвивати її, виходячи з реальних вимог (радіомережа належить власне енергетичній компанії, параметри її роботи і оперативна зона можуть змінюватися нею самостійно);

- сумісність з різноманітним обладнанням збору і обробки даних за розповсюдженими і детально відпрацьованими інтерфейсами;

- простота переміщення і оперативність розгортання в новому районі;

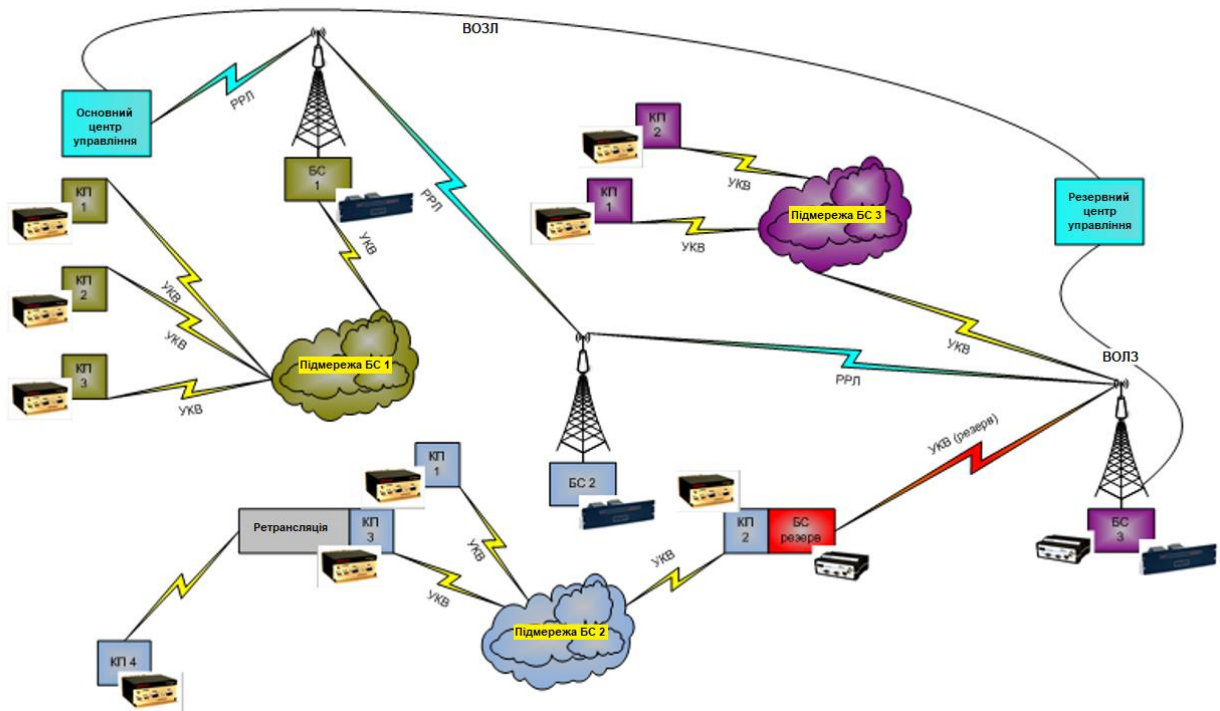
- можливість експлуатації в жорстких умовах навколишнього середовища.

Технологічні радіомережі обміну даними використовуються для обслуговування АСУ в енергетиці і будуються на обладнанні, що має різні технічні характеристики. У зв'язку з цим найбільш показовими є приклади використання таких радіомереж і їх функціональних можливостей.

2.3 Реалізація технологічної радіомережі обміну даними

Розглянемо варіант побудови технологічної радіомережі обміну даними на прикладі радіомережі управління телемеханікою в силовій енергетиці. Автоматизовані системи управління є невід'ємною частиною будь-якої повітряної лінії

електропередачі, що пов'язано з особливостями даного виду передачі електроенергії та передбачає обов'язковий безперервний контроль і управління параметрами роботи. В даний час для забезпечення АСУ на об'єктах повітряних ліній електропередач широко використовуються технологічні радіомережі збору даних і управління телемеханікою на основі вузькосмугових радіомодемів ультракороткого хвильового діапазону [14]. Нижче розглянуто варіант побудови такої радіомережі на базі вузькосмугових радіомодемів Dataradio I-Base/Integra-TR і Viper-SC виробництва американської компанії CalAmp [15]. Варіант реалізації радіомережі обміну даними для окремої ділянки системи управління телемеханікою лінії електропередачі (загальна протяжність лінії складає більше 3500 км, швидкість обміну даними в технологічній радіомережі ультракороткого хвильового діапазону - 19200 біт/с) представлений на рис. 2.1.



<u>Умовні позначання:</u>			
БС	– базова станція		– Радіомодем I-Base
ВОЛЗ	– волоконно-оптична лінія зв'язку		– Радіомодем Integra-TR
КП	– контрольований пункт		– Радіомодем Viper-SC
РРЛ	– радіорелейна лінія		

Рисунок 2.1 – Стационарна радіомережа управління телемеханікою на вузькосмугових радіомодемах

До роботи АСУ та технологічних радіомереж передачі даних на повітряних лініях електропередачі пред'являються підвищені вимоги до надійності і живучості. Схема комутації ультракороткого хвильового обладнання стаціонарної технологічної радіомережі управління телемеханікою високої надійності і стабільної роботи представлена на рис. 2.2.

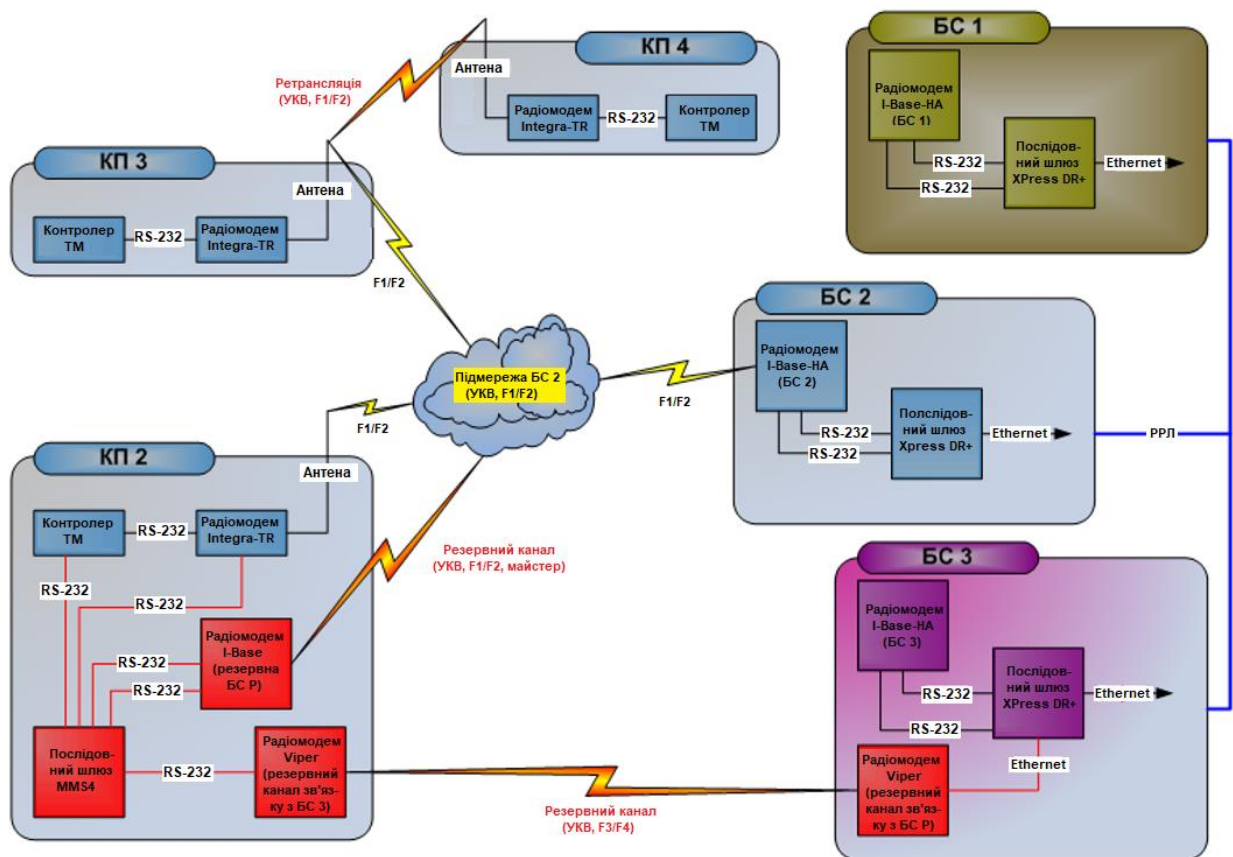


Рисунок 2.2 – Комутація обладнання радіомережі управління телемеханікою

Технічне рішення підготовлено для реалізації на ділянці лінії електропередачі протяжністю близько 50 км, що проходить в зоні з нестабільними погодними умовами, де існує загроза одночасного виходу з ладу всього обладнання базової станції (БС-2) на одній із позицій. Технологічна радіомережа управління телемеханікою функціонує на швидкості 19200 біт/с [16]. БС-2 забезпечує управління телемеханікою чотирьох контрольованих пунктів. Зв'язок з КП-4 здійснюється через КП-3, який додатково виступає в якості ретранслятора. Позиція КП-2 знаходиться в зоні прямої радіовидимості з позицій КП-3 і КП-1

(на схемі не вказаний). Зв'язок між КП-2 і БС-3 здійснюється виділеним радіоканалом.

НА КП-2 розгорнуто комплект резервної базової станції (БС-Р), що забезпечує функціонування через єдиний антенно-фідерний пристрій. БС-Р підключається до сусідньої базової станції БС-3 через середньошвидкісний виділений канал обміну даними за допомогою радіомодемів Viper-SC згідно IP-протоколу. Комутація апаратури БС-Р і КП-2 виконана з використанням перетворювачів інтерфейсів RS-232 - Ethernet: чотирипортовий Lantronix MMS4 для підключення радіомодема Integra-TR і I-Base на позиції КП-2 і двопортовий Lantronix XPress-DR+ для з'єднання апаратури БС-3 з каналом зв'язку з БС-Р через радіомодем Viper-SC. Перетворювач Lantronix XPress-DR+ має резервований канал Ethernet, що забезпечує його підключення одночасно по двох портів. У повній комплектації схема передбачає додаткове дублювання перетворювачів інтерфейсів і апаратури обміну даними.

Всі базові станції радіомережі, за винятком резервної, реалізовані на радіомодемах I-Base-NA, мають сто відсоткове дублювання і володіють підвищеною надійністю і живучістю. У разі виходу з ладу одного з комплектів обладнання даного радіомодема здійснюється автоматичний перехід на другий комплект, а інформація про вихід з ладу направляється черговому інженеру зв'язку.

Підключення кожного комплекту обладнання проводиться двома портами RS-232: перший використовується для зв'язку з пристроями телемеханіки, другий - для передачі діагностичної інформації про поточний стан всіх радіомодемів в складі радіомережі в масштабі часу, близькому до реального. Другим портом забезпечується також віддалене налаштування радіомодемів на БС і КП (виконується в період технологічних перерв зв'язку).

Таким чином, технологічні радіомережі обміну даними на сучасних радіомодемах дозволяють в повній мірі задовольнити вимогам в частині обміну даними, що пред'являються сучасними АСУ в енергетиці.

2.4 Дослідження впливу завад радіосигналів при побудові безпроводних мереж на база Wi-Fi технології

Широке поширення бездротових інформаційно-телекомунікаційних технологій вже стало реальністю сьогоdnішнього дня. Бездротові мобільні системи і мережі увійшли в наше життя і успішно застосовуються в різних сферах - від локального з'єднання пристроїв на відстань кількох метрів, до побудови регіональних (в масштабі міста і регіону) і глобальних (супутникових) широкопasmових мереж. Наші дослідження зосереджені на аналізі та оцінці тих технологій, які мають діапазони частот від 2435 до 2495 МГц і від 5735 до 5885 МГц та виділені для використання високочастотними установками, призначеними для різних промислових, наукових і медичних цілей. Ці діапазони відносяться до ISM-діапазону (Industrial, Scientific, Medical). У США постановою FCC (Федеральної Комісії з Комунікацій) ще в 1986 році, і через кілька років в Західній Європі, було офіційно дозволено безліцензійне використання ISM-діапазонів широкопasmовими засобами зв'язку, і зокрема для побудови мереж за технологією Radio Ethernet, за умови обмеження потужності передавача граничною величиною в 100 мВт, що викликало зростання бездротових технологій зв'язку [17]. У Україні довгий час технології бездротових мереж не були популярні, зокрема через складність і високу вартість отримання дозволів на використання даних частот. Це викликало величезне відставання в прикладних наукових дослідженнях в цій області знань. Тільки в 2000 році був спрощений порядок реєстрації мереж, розташованих усередині будинку, а пізніше опублікована інформація про рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку (НКРЗ), згідно якого було дозволено «будувати локальні радіомережі в частотному діапазоні 2401-2484 МГц на базі пристроїв з максимальною потужністю передавача не більше 100 мВт і максимальним коефіцієнтом підсилення антени 3,55 дБ тільки в межах будівель, споруд, закритих промислових і складських майданчиках». Без подібних обмежень дозволяється будувати локальні радіомережі на базі пристроїв з максимальною потужністю передавача не більше 15 мВт [18].

Подібне рішення нарешті дозволяє на законних підставах розгорнути такі мережі в наукових і навчальних закладах з метою підвищення ефективності і якості навчального процесу в університетах і проведення широкомасштабних досліджень щодо застосування нових бездротових технологій на практиці. Слід зазначити, що особливий практичний інтерес при побудові великих гетерогенних бездротових мереж в університетах та інших освітніх закладах представляє дослідження взаємного впливу бездротових пристроїв для побудови персональних і локальних мереж, що працюють в однакових діапазонах частот, але використовують різні стандарти передачі цифрової інформації (для діапазону 2,4 ГГц - стандарти 802.11 b/g/n – Wi-Fi, 802.15.4 - ZigBee, 6LoWPAN, 802.15.1 - Bluetooth, для діапазону 5 ГГц - стандарти 802.11 a/n – Wi-Fi) [19].

Застосування персональних і локальних бездротових мереж в освітніх установах забезпечує співробітникам і студентам мобільний доступ до інформації, необхідної для навчального процесу, підвищуючи ефективність процесу навчання.

Використання безлічі пристроїв, що працюють в одному діапазоні, створює проблему завадостійкості і впливу радіоперешкод на продуктивність роботи мережі. Багато радіосистеми передають вузькосмугові сигнали. Вони чутливі до радіоперешкод. Тому для підвищення завадостійкості в каналах зв'язку застосовуються методи розширення спектру сигналу [20]. У нашому випадку була поставлена задача оцінити величину негативного впливу різних бездротових засобів на роботу пристроїв в зонах доступу Wi-Fi в мережевій інфраструктурі університету.

Для оцінки взаємного впливу мережевого обладнання було проведено три експериментальні дослідження.

1. *Аналіз впливу сусідніх бездротових мереж технологій Wi-Fi.* Перешкоди для бездротової мережі можуть створювати сусідні Wi-Fi мережі, що функціонують в тому ж частотному діапазоні. Ці перешкоди (внутрішньоканальні) переважають в мережах стандартів 802.11b і 802.11g. В діапазоні 2,45 ГГц є

тільки три канали, що не перекриваються (1-й, 6-й і 11-й), причому в деяких випадках ці канали доводиться використовувати повторно [21].

Для експериментального дослідження впливу внутріканальних перешкод були налаштовані дві точки доступу D-link на 1-й канал. Потім протестована швидкість передачі даних від клієнтського обладнання до однієї з точок доступу при включеній і відключеній іншій точці доступу і зміні відстані між ними – 2 м, 15 м і 30 м. Зниження швидкості передачі при включенні другої точки доступу на відстані 2 м від першої в середньому склало 52%, на відстані 15 м - близько 45%, а при видаленні на 30 м 19%.

Однак за рахунок інтерференції внутрішньоканальні перешкоди можуть виникати і між пристроями Wi-Fi, які функціонують на сусідніх частотних каналах. Наприклад, розглянемо 1-й частотний канал зі смугою від 2,409 до 2,427 ГГц і 2-й канал зі смугою - від 2,400 до 2,431 ГГц. Видно, що загальна ділянка двох сусідніх каналів становить приблизно 81% від ширини каналу, що також повинно призводити до значного зниження пропускної здатності WLAN.

Експерименти показали, що зниження швидкості передачі каналу зв'язку до однієї з точок доступу при роботі другої в сусідньому каналі доходить приблизно до 42% у порівнянні з виключеною. У тому випадку, якщо обидві точки доступу працюють на частотних каналах, що не перекриваються, швидкість в середньому падає на 12%. Це доводить що, багатопроменеве поширення радіохвиль в частотних каналах, що не перекриваються, також викликає інтерференційні явища, які генерують перешкоди у всіх каналах.

2. *Аналіз впливу Bluetooth передавачів на роботу мереж Wi-Fi.* У наступному експерименті була досліджена ступінь впливу роботи Bluetooth модулів в частотному діапазоні 2,45 ГГц на швидкість передачі інформації між клієнтами і точкою доступу Wi-Fi. Стандарт 802.15.1 (Bluetooth) використовує для доступу до каналу зв'язку метод розширення спектру за технологією стрибкоподібної перебудови частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum - FHSS) [22]. Це означає, що пристрої практично ведуть *прийом/передачу* на 80 підканалів шириною 1 МГц у всьому діапазоні 2,45 ГГц при перемиканні частот приблизно 1500 разів в секунду. Використання технології FHSS підвищує стійкість, так як знижується

ймовірність використання тих же частотних підканалів іншими пристроями в конкретний момент часу.

Для оцінки впливу пристроїв Bluetooth на швидкість передачі до точки доступу Wi-Fi стандарту 802.11g, що працює в діапазоні 2,45 ГГц був проведений наступний експеримент. Точка доступу була встановлена на відстані 5 м від ноутбука, а працюючі пристрої з Bluetooth модулями розташовані між ними. При тестуванні швидкості на кожному з каналів було виявлено зниження швидкості *прийому/передачі* в середньому на 25%.

3. *Аналіз впливу роботи бездротовий радіостанцій.* Бездротові радіотелефони - також потенційні джерела шумових перешкод для роботи локальних бездротових Wi-Fi мереж. Для експерименту було обрано аналоговий бездротовий радіотелефон компанії *Voxtel*, що працює на частоті 2,413 ГГц, тобто в смузі 1-го частотного каналу стандарту 802.11 b/g. Тестування показало, що в момент переговорів по телефону відбувається розрив бездротового з'єднання між клієнтом і точкою доступу на 1-у частотному каналі, проте робота радіотелефону не заважає функціонуванню пристроїв локальної мережі Wi-Fi на каналах 6 і 11. Далі були проведені кілька тестів, в яких телефон віддалявся від цих пристроїв на відстань 15 м, 30 м і 50 м відповідно. Коли телефон знаходився в 15 м від точки доступу, швидкість передачі на 1-у каналі знижувалася на 96% (від максимального значення за відсутності перешкод), при видаленні на 30 і 50 м фіксувалося зниження швидкості передачі на 27 і 4,5% відповідно.

У наступному експерименті було досліджено вплив цифрового радіотелефону компанії *Siemens*, що працює в тому ж частотному діапазоні 2,4 ГГц за технологією FHSS. Експеримент показав, що розміщення працюючого телефону поруч з мережею Wi-Fi на відстані до 15 м може викликати зниження швидкості передачі даних максимум на 13%.

Результати експериментів показали, що в загальному випадку при побудові бездротових мереж для виключення впливу наведених перешкод від інших пристроїв на роботу мереж Wi-Fi більш доцільно використовувати пристрої, які працюють в іншому частотному діапазоні, наприклад, для мереж стандартів 802.11 b/g можна використовувати діапазон 5,5 ГГц. Однак, вони, в свою чергу, можуть мати негативний вплив на мережі стандарту 802.11a і 802.11n.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний аналіз обладнання для радіомережі

В якості пристроїв для проектування радіомережі ми плануємо використовувати пристрої, що працюють на основі технології широкосмугового бездротового доступу, таких брендів як *Infinet*, *Ubiquiti*. Оскільки метою дипломної роботи є розробка проекту радіомережі, а серед обладнання зазначених виробників завжди можливо знайти аналогічні лінійки обладнання, то проведення порівняння обладнання різних виробників не має сенсу. Тому зупинимо вибір на одному виробнику, виберемо певну лінійку обладнання і виконаємо розрахунки, опираючись на технічні характеристики вибраного обладнання.

Порівняльні характеристики різних лінійок обладнання даних виробників показують, що відносно якості найбільш дешевим рішенням буде використання обладнання фірми *Ubiquiti*. Саме його характеристики ми будемо використовувати в розрахунку. З усіх лінійок обладнання фірми *Ubiquiti* ми виберемо необхідне співвідношення *ціна/характеристики* лінійку обладнання *NanoBeam NBEM* (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Обладнання *NanoBeam NBEM*

На базі цих пристроїв можна будувати мережу типу «точка-точка». Також можна будувати мережу типу «зірка», але тільки це обладнання не можна

використовувати в якості базової станції, приймаючи до уваги штрину першої пелюстки діаграми спрямованості (рис. 3.2 і 3.3).

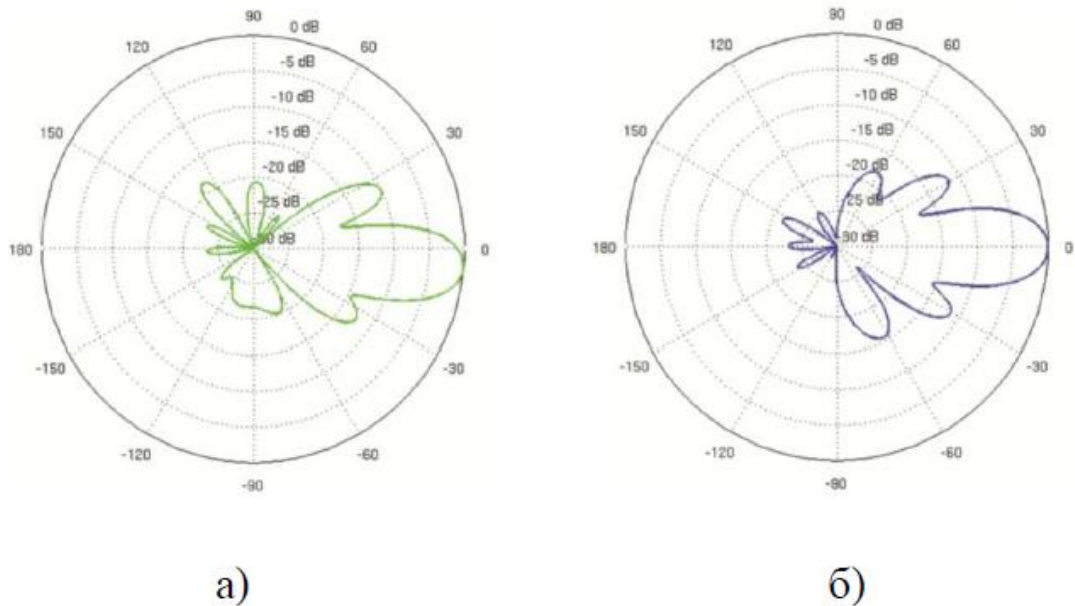


Рисунок 3.2 - Діаграми спрямованості (горизонтальна поляризація):
а) у горизонтальній площині, б) у вертикальній площині

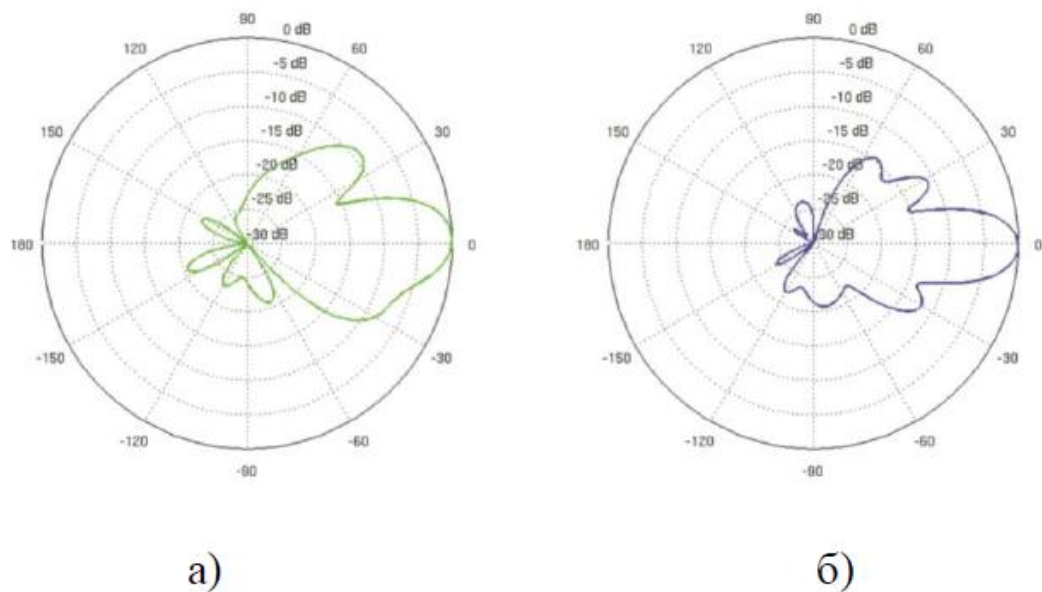


Рисунок 3.3 - Діаграми спрямованості (вертикальна поляризація):
а) у горизонтальній площині, б) у вертикальній площині

Розглянемо характеристики пристрою *Ubiquiti NanoBeam NBEM*:

- потужність передавальної антени - 30 дБм,
- коефіцієнт підсилення антени - 21 дБі.

Чутливість антени виберемо максимально можливою для даних антен, а саме 90 дБм. Цій чутливості відповідає канална швидкість передачі 35 Мбіт/с.

Виходячи з діаграм спрямованості, приведених на рис. 3.2 і 3.3, можна зробити висновок, що для нашого випадку найбільше підходить горизонтальна поляризація, так як має менші рівні побічних пелюсток.

3.2 Розрахунок потужності радіоканалу

Для розрахунку траси радіомережі необхідно знати величину потужності каналу зв'язку - необхідно виконати оцінку, виходячи з характеристик обладнання, наскільки максимально може зменшитися енергія сигналу в проєктованій місцевості відносно енергії сигналу на виході передавача, і щоб при цьому сигнал був надійно прийнятий приймачем.

Для розрахунку потужності каналів ми будемо використовувати на диспетчерському пункті та контрольованому пунктах однакове обладнання. Тоді для розрахунку будемо скористаємося наступним виразом [23]:,

$$D = P_1 - P_2 + G_1 + G_2 - L_1 - F - I_2 + U, \quad (3.1)$$

де P_1 – випромінювана потужність передавача, дБм;

P_2 – чутливість приймача, дБм;

G_1 – коефіцієнт підсилення антени передавача, дБі;

G_2 – коефіцієнт підсилення антени приймача, дБі;

L_1 – втрати в фідері, дБ;

F_Z – запас втрат на затухання радіосигналу, дБ;

I_2 – рівень міжканальної інтерференції, дБ;

U – поправочний коефіцієнт на тип забудови, дБ.

Відповідно до даних, приведених в [23], значення коефіцієнтів приймаємо рівними:

$$I_1 = 3,5 \text{ дБ}, F_Z = 10,5 \text{ дБ}, L_2 = 3,5 \text{ дБ}.$$

Значення коефіцієнта U наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення коефіцієнта U

Тип забудови	U , дБ
Сільська місцевість	5,5
Приміська зона	0,01
Міська зона	-2,8
Щільна міська забудова	- 3,7

Можна прийняти до уваги те, що траси на всіх об'єктах однакові, і відносяться до типу визначення сільська місцевість, тобто коефіцієнт $U = 5,5$ дБ. Потужність передавальної антени $P_1 = 30$ дБм, чутливість приймача залежить від використовуваного типу кодування сигналу. Для антен *NBE* фірми *Ubiquiti* схеми кодування *MSC* відповідає максимальна швидкість передачі даних 35 Мбіт/с. При використанні даної схеми кодування чутливість приймача дорівнює $P_2 = -100$ дБм. Коефіцієнт підсилення антени $G_1 = G_2 = 22$ дБі.

Таким чином розрахуємо потужність передачі каналів:

$$D = 30 + 100 + 22 + 22 - 3,5 - 10,5 - 3,5 + 5,5 = 162 \text{ дБ.}$$

У дипломній роботі необхідно спроектувати радіомережу передачі даних для збору телеметрії з трансформаторних підстанцій ВАТ «Тернопільобленерго». Так як для цієї мети ВАТ «Тернопільобленерго» вже використовує радіомережу, то основною метою дипломної роботи будемо вважати проектування радіомережі з новими сервісами. Тобто, крім передачі телеметрії, проєктована радіомережа дозволить передавати дані відеоспостереження, організувати телеконференції.

Розглянемо умовну схему радіомережі, яка приведена на рис. 3.4.

Вона містить наступні об'єкти:

- диспетчерський пункт (ДП) - об'єкт, який виконує опитування телеметрії з підконтрольних йому трансформаторних підстанцій;
- контрольований пункт (КП) - трансформаторна підстанція, з якої збирається телеметрія.

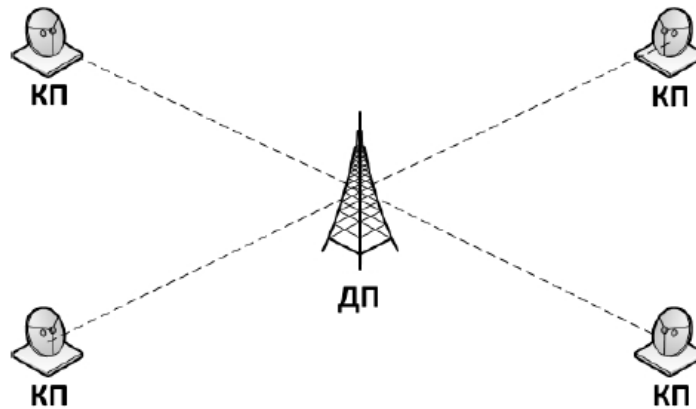


Рисунок 3.4 – Умовна схема радіомережі

Сукупність ДП і декількох КП надалі будемо називатися групою об'єктів.

На даний момент радіомережа створена на основі радіомодемів *Motorolla* та *Integra-TR*. Їх основні характеристики:

- випромінювана потужність до 5,5 Вт;
- швидкість передачі даних до 21,2 кБіт/с;
- на каналному рівні відсутній контроль доступу до середовища передачі даних.

Також варто відзначити, що дані пристрої не мають прямої можливості підключення до кабельної мережі передачі даних на основі протоколів *Ethernet*. Так як ця мережа є дуже популярною на сьогоднішній, то це можна вважати недоліком.

У радіомережі, яку ми проектуємо, передбачається використання технології широкопasmового бездротового доступу. До впровадження ми розглядаємо обладнання таких брендів як *Infinet* і *Ubiquiti*. Основні характеристики для цього обладнання:

- частотний діапазон 4 - 7 ГГц;
- випромінювана потужність сягає 0,75 Вт;
- швидкість передачі даних до 60 Мбіт/с від КП до ДП (в залежності від типу обладнання і налаштувань можливе збільшення швидкості);
- на каналному рівні є можливість контролювати доступ до середовища передачі даних.

При проектуванні радіомережі в дипломній роботі прийнято до уваги ту обставину, що для забезпечення необхідного рівня загасання сигналу буде виникати необхідність в установці антенної щогли деякої висоти. Зокрема, не виключено, коли будівництво щогли такої висоти може виявитися недоцільним з економічних, експлуатаційних або інших причин. В такому випадку необхідно розглянути можливі варіанти зміни конфігурації мережі, в тому числі підключення деяких об'єктів не прямо до ДП, а через інші КП.

В дипломній роботі було детально розглянуто умовну схему радіомережі (рис. 3.5). В даній мережі на диспетчерському пункті (ДП) розташовується телекомунікаційна вежа, де встановлені приймально-передавальні пристрої. Передбачається, що вежа має достатню висоту, яка забезпечує з кожним контрольованим пунктом (КП) зв'язок. Таку конфігурацію мережі умовно позначимо як Варіант №1.

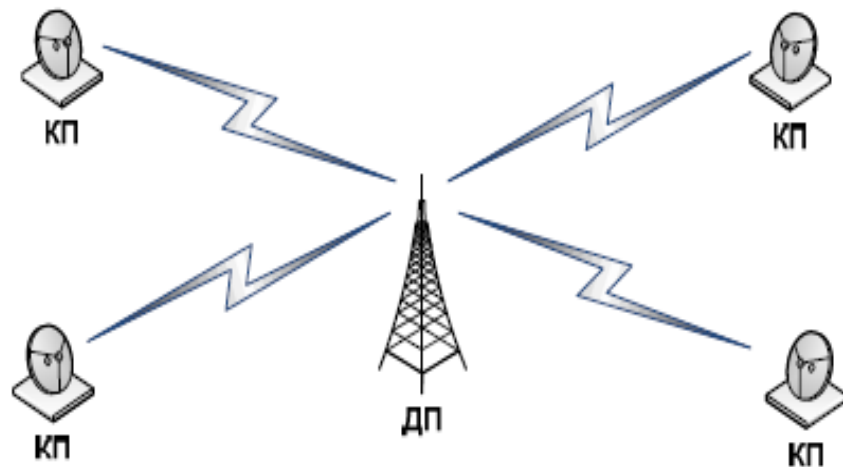


Рисунок 3.5 – Варіант №1 схеми радіомережі

Розглянемо іншу реалізацію конфігурації мережі. Припустимо, що необхідно побудувати радіомережу між диспетчерським пунктом ДП1 і контрольованими пунктами КП1-КП6 (рис. 3.6). Причому відстань від ДП1 до КП5 і КП6 значно перевищує відстань від ДП1 до КП1 - КП4. Тобто для забезпечення радіозв'язку до об'єктів КП5 і КП6 необхідно будувати вежу висотою, що значно перевищує висоту щогли, необхідної для забезпечення зв'язку до об'єктів КП1 - КП4.

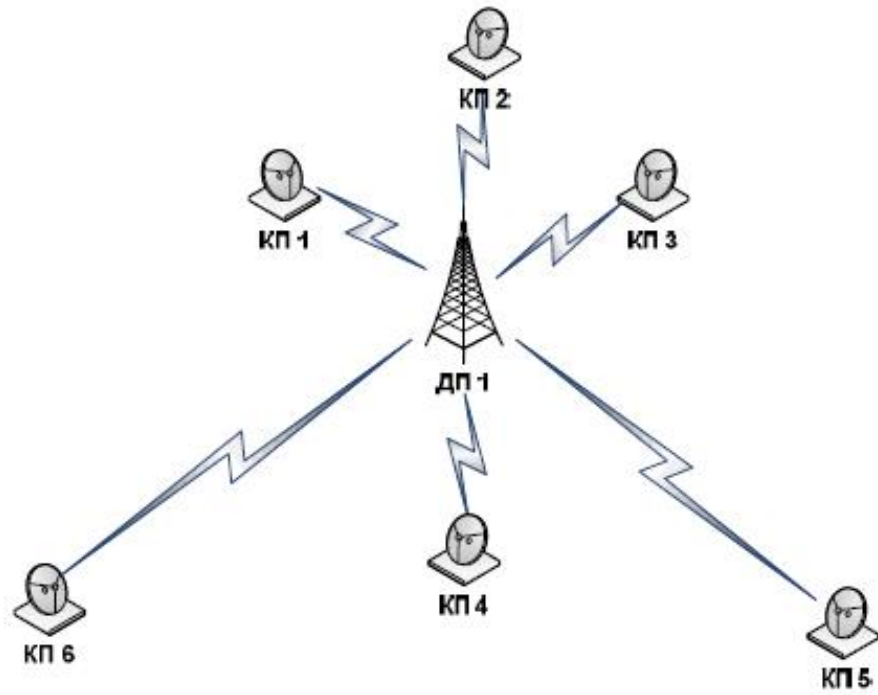


Рисунок 3.6 – Схема радіомережі ДП1, КП1 – КП6

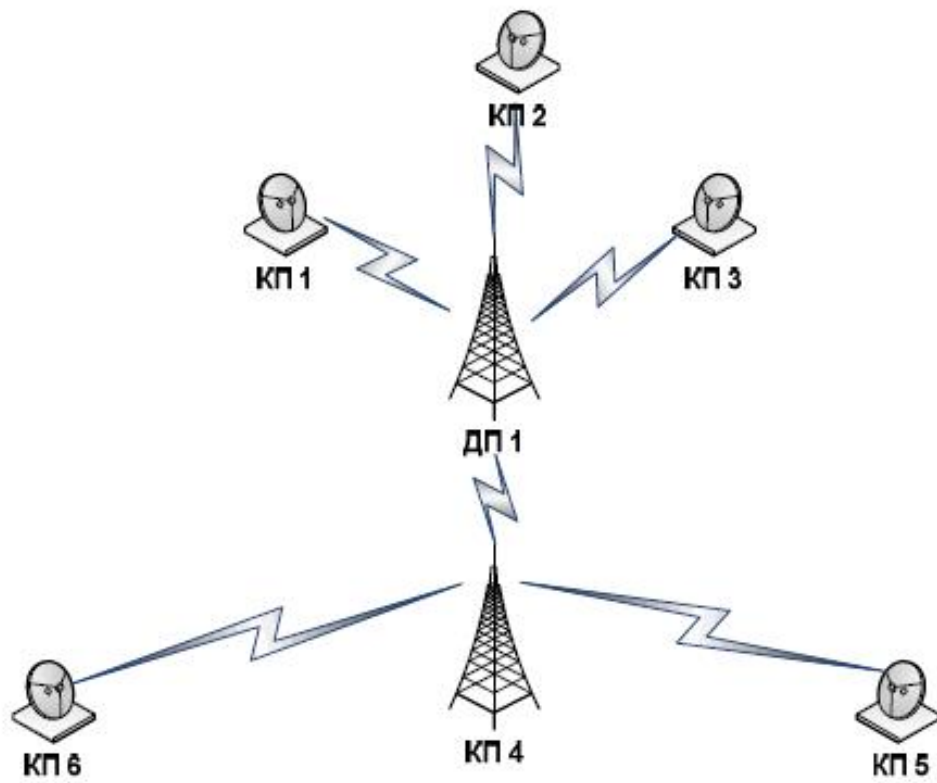


Рисунок 3.7 – Варіант №2 схеми радіомережі

Також передбачається, що в даній мережі є можливість зв'язати об'єкти КП5 і КП6 з диспетчерським пунктом ДП1, побудувавши вишку на об'єкті КП4. Причому, для забезпечення зв'язку потрібна вишка меншої висоти, ніж для забезпечення зв'язку безпосередньо від ДП1 до КП5 і КП6. Таку конфігурацію мережі умовно будемо називати Варіантом №2 (рис. 3.7). Слід враховувати, що в даній конфігурації КП 4 повинен мати в складі локальної обчислювальної мережі комутатор з достатньою кількістю портів, до якого приєднуються всі приймачі.

При потребі можна подібним чином будувати більш складну мережу, проте необхідно пам'ятати, що ускладнення мережі збільшує час доставки пакетів даних від одного абонента до іншого, тобто ускладнення схеми мережі може відбитися на часових характеристиках мережі. Тип конфігурації мережі будемо визначати при розрахунку загасання на трасах поширення сигналу.

Дипломна робота передбачає побудову радіомережі, яка охоплює кілька груп об'єктів. З огляду на той факт, що в більшості випадків контрольовані пункти (КП) знаходяться на відстані від одного до декількох десятків кілометрів від диспетчерських пунктів (ДП), то можна зробити висновок, що практично на всіх об'єктах антени приймачів (тобто самі приймачі) повинні бути підняті над рівнем землі.

Для цих цілей можна використовувати вже наявні споруди. Так наприклад на ДП є вишки з громовідводом. Якщо розташувати приймач на майданчику такої вишки, то його висота над рівнем землі складе $15 \div 20$ м.

При розміщенні приймача на КП можна встановити його на щоглу, розташувавши її на трансформаторній підстанції. Таким чином, можна підняти приймач на висоту до 5-7 м.

Однак на деяких об'єктах, можливо, виникне необхідність встановлювати додаткові щогли, так як зазначених висот підйому приймачів може не вистачити. Установка такої щогли (далі телекомунікаційної вишки або вишки) тягне за собою додаткові витрати, тому при розрахунку необхідної для забезпечення

зв'язку висоти підйому приймача необхідно особливу увагу приділяти отриманим значень висот і кількості вишок.

У дипломній роботі розглянуто три групи об'єктів ВАТ «Тернопільобленерго», але приймаючи уваги те що, цей проект може бути корисний при проектуванні радіомережі на інших групах об'єктів ВАТ «Тернопільобленерго», було розроблено алгоритм розрахунку необхідної кількості телекомунікаційних вишок. При розрахунку необхідної кількості вишок в дипломній роботі використано розрахунок загасання радіосигналу за методом розрахунку РРЛ [23]. Вихідними даними для розрахунку є географічне розташування об'єктів. В результаті розрахунку для кожної групи об'єктів було отримано:

- кількість вишок;
- об'єкти, де необхідно розташування вишок;
- висота вишок;
- конфігурація мережі.

При виконанні розрахунку в роботі прийнято наступні припущення:

а) Передбачається, що на всіх КП є щогли висотою 5-7 м, а на всіх ДП є мачти висотою 20 м. Якщо для забезпечення зв'язку цих значень висот вистачає, то окремо вишки не встановлюють.

б) Якщо для забезпечення зв'язку необхідно встановлювати вишку, то її мінімальна висота на КП і ДП дорівнює 20 м. Цей критерій впливає з економічних міркувань. Витрати на установку вишки висотою від 7 до 20 метрів приблизно однакові, тобто установка вишки висотою 20 метрів обійдеться не на багато дорожче від встановлення вишки меншої висоти.

в) Максимальна висота вишок становить 45 м на ДП і 25 м на КП.

г) Якщо при розрахунку висоти вежі, необхідної для забезпечення зв'язку між ДП та КП, вийде значення висоти, що не потрапляє в зазначені рамки, то слід розглянути варіант підключення в радіомережу КП через інший КП.

Такі КП, які мають зв'язок не тільки з ДП, а й з іншими КП будемо далі позначати як КП-Т.

д) Під «можливістю зв'язку» між об'єктами будемо розуміти можливість забезпечення радіозв'язку при заданих висотах вишок приймачів. Визначатися «можливість зв'язку» буде за величиною загасання на даному каналі: якщо величина загасання на каналі передачі менше величини потужності, то будемо вважати, що можливість зв'язку є. В іншому випадку можливості зв'язку немає.

В наступному розділі дипломної роботи розглянемо алгоритм розрахунку необхідної кількості вишок на прикладі трьох груп об'єктів, які знаходяться у підпорядкуванні ВАТ «Тернопільобленерго», зокрема підстанції Зборівського і Тербовлянського району електромереж.

4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Алгоритм розрахунку необхідної кількості вишок

В цьому розділі дипломної роботи виконаємо розробку алгоритму для розрахунку необхідної кількості вишок на прикладі трьох груп об'єктів, які знаходяться в підпорядкуванні ВАТ «Тернопільобленерго».

Алгоритм розрахунку складається з 4-х рівнів.

Перший рівень. На першому рівні необхідно визначити, чи буде достатньо для забезпечення зв'язку використовувати вже наявні на об'єктах споруди. Тобто розрахуємо затухання сигналів на трасах їх поширення від ДП до всіх КП. Порівняємо значення затухань з величиною потужності каналів. Якщо величина затухання виявиться меншою величини потужності каналу радіозв'язку, то будемо вважати, що для даної групи об'єктів будувати додаткові вишки не потрібно.

Розглянемо на прикладі групи об'єктів «Зборів» міських підстанцій. Схема розташування об'єктів представлена на рис. 4.1.

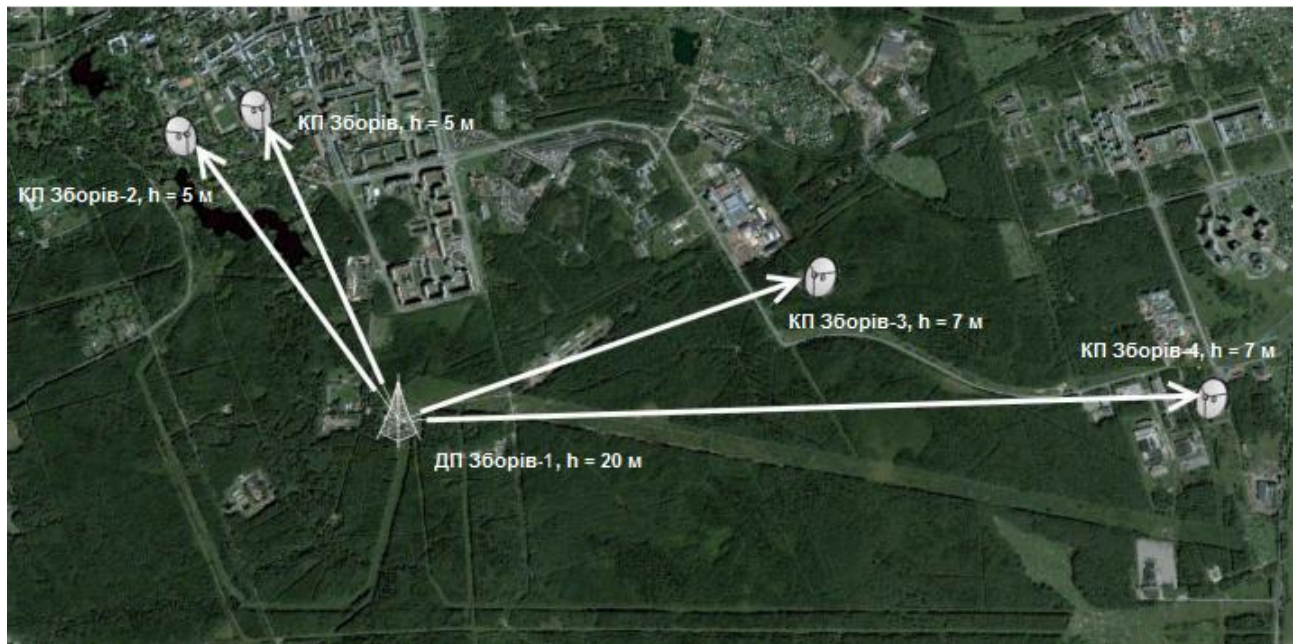


Рисунок 4.1 - Схема розташування міських ПС групи об'єктів «Зборів»

До складу групи об'єктів входять наступні об'єкти:

- диспетчерський пункт: підстанція «Зборів-1»;
- контрольовані пункти: підстанція «Зборів», підстанція «Зборів-2», підстанція «Зборів-3», підстанція «Зборів-4».

Розрахунок затухання для всіх трас представлений в табл. 4.1. Також в таблиці вказано, чи є можливість при заданих значеннях висот антен забезпечити зв'язок між КП і ДП. Якщо величина затухання менше потужності радіоканалу, то є можливість забезпечити зв'язок, і в останній стовпець ставитися значення «так». В іншому випадку ставиться «ні».

Таблиця 4.1 - Рівень затухання сигналу на КП і можливість зв'язку з КП

Висота розміщення антени на ДП 20 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затухання сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Зборів»	5	129	так
	ПС «Зборів-2»	5	127	так
	ПС «Зборів-3»	7	115	так
	ПС «Зборів-4»	7	145	так

Отже, ми можемо констатувати, що для побудови радіомережі на групі об'єктів «Зборів» будівництво додаткових вишок не потрібно і дана мережа відповідає згідно прийнятої нами класифікації Варіант № 1.

Другий рівень. Якщо розрахунок на першому етапі дав негативний результат, необхідно перейти до другого етапу. На другому етапі потрібно розрахувати можливість забезпечення зв'язку від ДП до всіх КП шляхом встановлення вишки тільки на КП. Для цього спочатку потрібно розрахувати можливість зв'язку при максимальному значенні висоти вежі. Якщо можливість зв'язку є, то будемо послідовно зменшувати значення висоти вежі і проводити розрахунок затухання. Як тільки пропаде можливість зв'язку з будь-яким об'єктом або об'єктами, це буде означати, що знайдена мінімально необхідна висота вишки.

Виконаємо розрахунок на прикладі групи об'єктів «Теребовля». Схема розташування об'єктів показана на рис. 4.2.

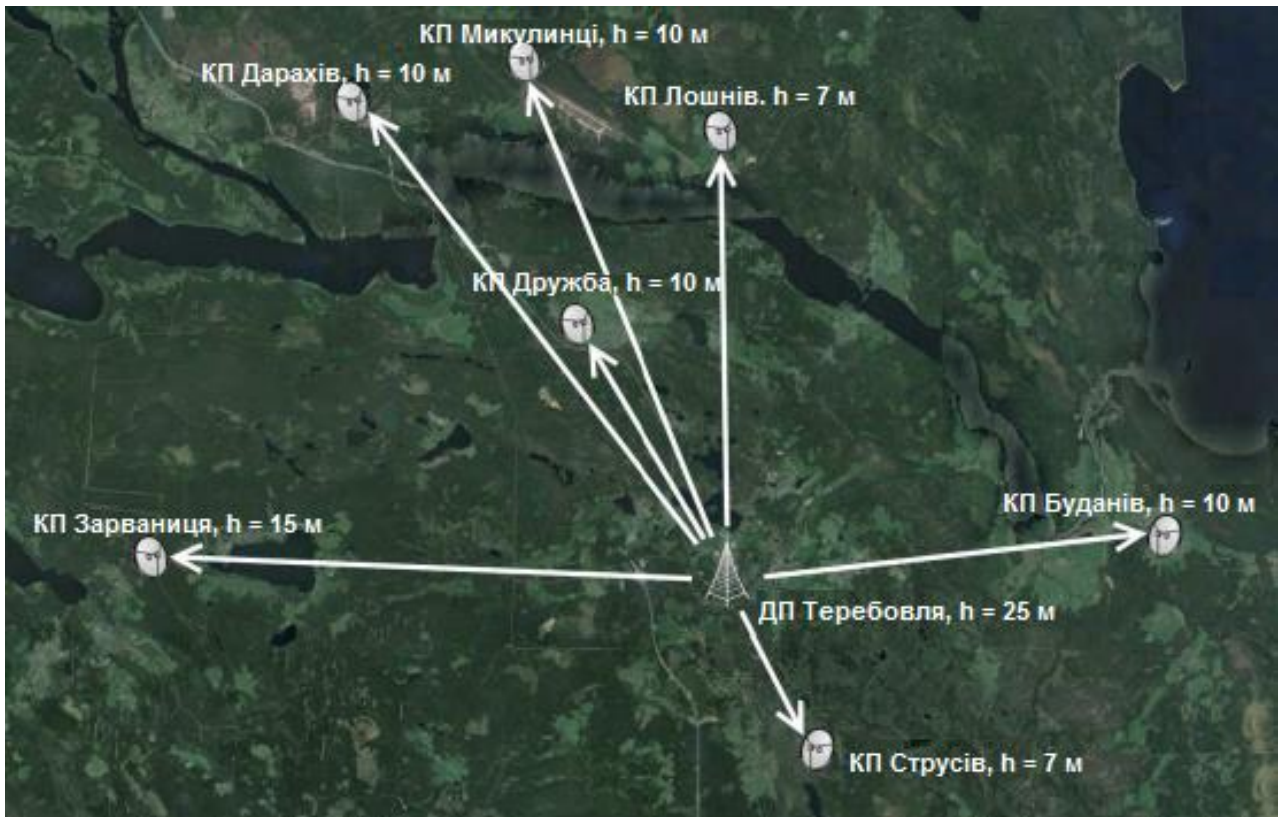


Рисунок 4.2 - Схема розташування ПС групи об'єктів «Теребовля»

До складу групи об'єктів входять наступні об'єкти:

- диспетчерський пункт: підстанція «Зборів-1»;
- контрольовані пункти: підстанція «Струсів», підстанція «Буданів», підстанція «Зарваниця», підстанція «Дарахів», підстанція «Дружба», підстанція «Лошнів», підстанція «Микулинці».

Розрахунок рівня затухання сигналі на КП і можливість зв'язку з КП без встановлення вишок представлено в табл. 4.2.

Розрахунок рівня затухання сигналі на КП і можливість зв'язку з КП при встановленні вишки висотою 45 м представлено в табл. 4.3.

Розрахунок рівня затухання сигналі на КП і можливість зв'язку з КП при встановленні вишки висотою 25 м представлено в табл. 4.4.

Таблиця 4.2 - Рівень затування сигналу на КП і можливість зв'язку з КП без встановлення вишок

Висота розміщення антени на ДП 15 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затування сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Струсів»	7	143	так
	ПС «Буданів»	10	166	ні
	ПС «Дарахів»	10	152	ні
	ПС «Дружба»	10	138	так
	ПС «Лошнів»	7	157	ні
	ПС «Микулинці»	10	153	ні

Таблиця 4.3 - Рівень затування сигналу на КП і можливість зв'язку з КП при встановленні вишки висотою 45 м

Висота розміщення антени на ДП 45 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затування сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Струсів»	7	133	так
	ПС «Буданів»	10	148	так
	ПС «Дарахів»	10	137	так
	ПС «Дружба»	10	129	так
	ПС «Лошнів»	7	133	так
	ПС «Микулинці»	10	134	так

Таблиця 4.4 - Рівень затування сигналу на КП і можливість зв'язку з КП при встановленні вишки висотою 25 м

Висота розміщення антени на ДП 25 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затування сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Струсів»	7	141	так
	ПС «Буданів»	10	149	так
	ПС «Дарахів»	10	144	так
	ПС «Дружба»	10	144	так
	ПС «Лошнів»	7	148	так
	ПС «Микулинці»	10	139	так

Розрахунок на першому рівні для даної групи об'єктів не дає позитивного результату (табл. 4.2). Тому зробимо розрахунок для випадку, коли на ДП встановлена вишка максимальної висоти, тобто 45 м. Результати наведені в табл. 4.3.

Тепер знайдемо мінімальну висоти вежі на ДП, необхідну для забезпечення зв'язку ДП з усіма КП. Зменшуючи значення висоти вежі, отримуємо, що при висоті вишки 25 метрів зв'язок з усіма КП буде можливий.

Підсумок: для побудови радіомережі на куці об'єктів «Сосново» потрібна установка вишки на ДП; мінімальна висота вежі 23 м; мережа має конфігурацію № 1.

Отже, ми можемо зробити висновок, що для побудови радіомережі на групі об'єктів «Теребовля» потрібна установка вишки на диспетчерському пункті мінімальною висотою вежі 25 м і дана мережа буде відповідати згідно прийнятою нами класифікацією - Варіант № 1.

Третій рівень. До третього рівня ми переходимо в разі неможливості забезпечення зв'язку між ДП та будь-яким КП шляхом встановлення вишки тільки на ДП. На третьому рівні перевіряється можливість забезпечення зв'язку шляхом встановлення вишки і на ДП і на КП. Алгоритм розрахунку необхідного числа вишок на 1-3 рівнях показано на рис. 4.3.

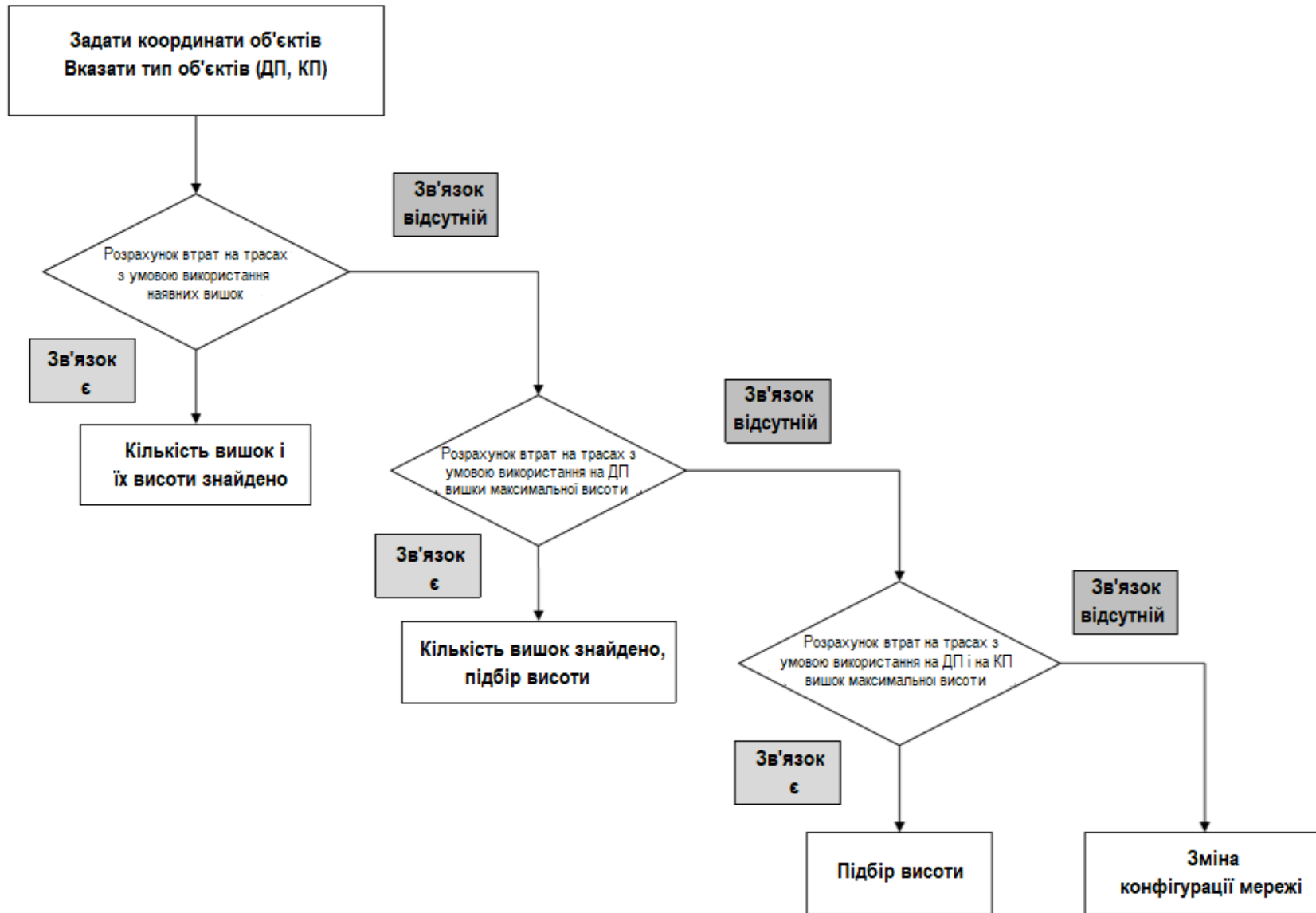


Рисунок 4.3 - Алгоритм розрахунку необхідного числа вишок на 1-3 рівнях

Розрахунок виконаємо наступним чином: розрахуємо затухання при максимальних значення висоти антени на ДП і на КП. Якщо зв'язок при цих значеннях можливий, то приймаємо, що необхідну кількість вишок і схему конфігурації мережі знайдено. Також можна відмітити, що є можливість зменшити висоту вишки на ДП або на КП - або у обох випадках. Але розрахунок не дозволяє відповісти: висоту якої вишки слід зменшити? Тому остаточне рішення про висоту вишок на даному рівні краще приймати, виходячи з міркувань доцільності розміщення вишки певної висоти на певному об'єкті.

Отже, ми можемо отримати кількість вишок, конфігурації мережі та рекомендації до висоти цих вишок.

4.2 Розрахунок радіомережі з важкодоступними КП

Четвертий рівень. До четвертого рівня ми переходимо, якщо немає можливості забезпечити радіозв'язок безпосередньо між ДП та одним або декількома КП. Такі КП будемо називати важкодоступними КП. В даному випадку необхідно пов'язувати важкодоступні КП через інші КП-Т (ретранслятори).

Виконаємо розрахунок на четвертому рівні на прикладі групи об'єктів «Зборів» - районних ПС. Схема розташування об'єктів представлена на рис. 4.4.

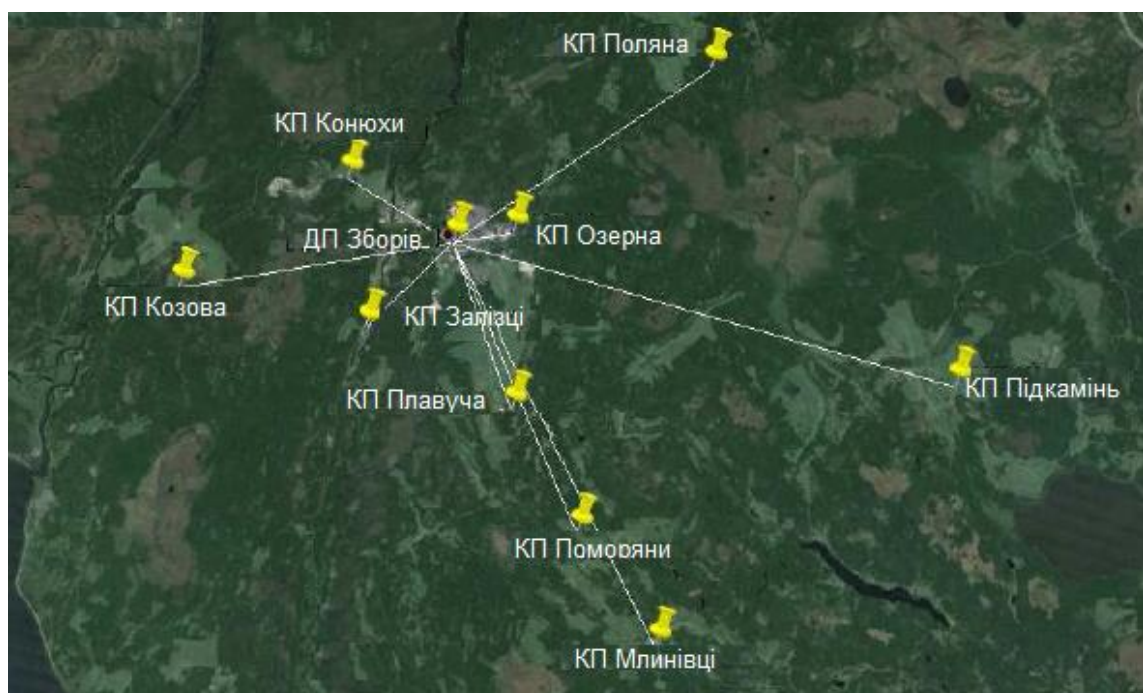


Рисунок 4.4 Схема розташування районних ПС групи об'єктів «Зборів»

До складу групи об'єктів входять наступні об'єкти:

- диспетчерський пункт: підстанція «Зборів»;
- контрольовані пункти: підстанція «Поляна», підстанція «Конюхи», підстанція «Озерна», підстанція «Козова», підстанція «Плавуча», підстанція «Поморяни», підстанція «Млинівці», підстанція «Підкамінь», підстанція «Залізці».

Проведений розрахунок на першому рівні показав, що для забезпечення зв'язку необхідно встановлювати вишку на ДП (табл. 4.5). Розрахунок на другому етапі показав, що встановлення вишки на ДП буде недостатньо (табл. 4.6). На цьому етапі ми отримали список КП, де імовірно необхідно встановити вишки. Це КП Поморяни, КП Млинівці, КП Підкамінь, КП Поляна, КП Козова.

Таблиця 4.5 - Рівень затухання сигналу на КП і можливість зв'язку з КП без установки додаткових вишок

	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затухання сигналу, дБ	Можливість зв'язку
Висота розміщення антени на ДП 25 м	ПС «Озерна»	10	119	так
	ПС «Конюхи»	10	123	так
	ПС «Залізці»	10	165	ні
	ПС «Плавуча»	10	135	так
	ПС «Поморяни»	10	191	ні
	ПС «Млинівці»	10	191	ні
	ПС «Підкамінь»	10	195	ні
	ПС «Поляна»	10	184	ні
	ПС «Козова»	10	199	ні

Алгоритм розрахунку необхідного числа вишок на 4 рівні приведено на рис. 4.5.

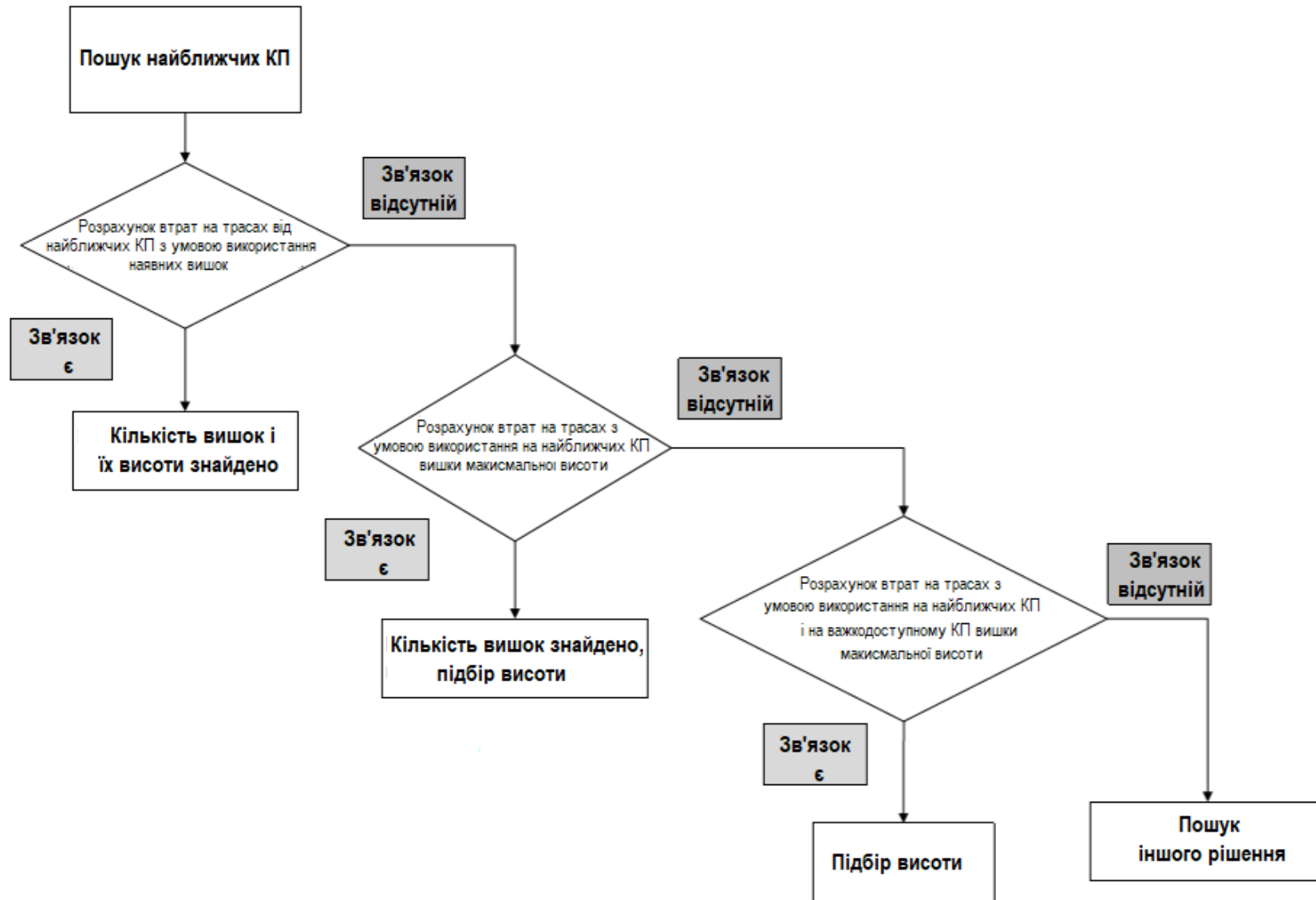


Рисунок 4.5 - Алгоритм розрахунку необхідного числа вишок на 1-3 рівнях

Таблиця 4.6 - Рівень затування сигналу на КП і можливість зв'язку з КП, при установці на ДП вишки висотою 45 м

Висота розміщення антени на ДП 45 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затування сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Озерна»	10	126	так
	ПС «Конюхи»	10	135	так
	ПС «Залізці»	10	137	так
	ПС «Плавуча»	10	129	так
	ПС «Поморяни»	10	185	ні
	ПС «Млинівці»	10	176	ні
	ПС «Підкамінь»	10	183	ні
	ПС «Поляна»	10	159	ні
	ПС «Козова»	10	184	ні

При розрахунку на третьому рівні було отримано такий результат (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Рівень затування сигналу на КП і можливість зв'язку з КП

Висота розміщення антени на ДП 45 м	Назва об'єкта	Висота розміщення антени на КП, м	Рівень затування сигналу, дБ	Можливість зв'язку
	ПС «Озерна»	10	126	так
	ПС «Конюхи»	10	135	так
	ПС «Залізці»	10	137	так
	ПС «Плавуча»	10	129	так
	ПС «Поморяни»	20	143	так
	ПС «Млинівці»	20	161	ні
	ПС «Підкамінь»	20	178	ні
	ПС «Поляна»	20	136	так
	ПС «Козова»	20	136	так

Таким чином, група об'єктів районних підстанцій «Зборів» має в своєму складі два важкодоступних об'єкти: КП Млинівці і КП Підкамінь. Отже, для даної групи об'єктів необхідно змінити конфігурацію і підключити КП Млинівці та КП Підкамінь через інші КП.

Для того, щоб визначити через який КП необхідно виконати зв'язок важкодоступного КП, необхідно:

- знайти всі КП, розташовані поблизу до важкодоступного КП;
- визначити, чи можливе підключення важкодоступного від будь-якого з найближчих КП без установки додаткових вишок;
- визначити, чи можливе підключення важкодоступного від будь-якого з найближчих КП шляхом встановлення вишки на КП-Т.

Розглянемо важкодоступний об'єкт КП Підкамінь. В якості найближчих до нього об'єктів розглянемо наступні об'єкти: КП Поморяни, КП Плавуча, КП Озерна і КП Поляна. Далі знайдемо затухання на трасах від даних КП до КП Підкамінь з урахуванням того, що телекомунікаційні вишки встановлювати не будемо.

Затухання на трасі КП Поморяни – КП Підкамінь: 198 дБ.

Затухання на трасі КП Плавуча – КП Підкамінь: 191 дБ.

Затухання на трасі КП Озерна – КП Підкамінь: 168 дБ.

Затухання на трасі КП Поляна – КП Підкамінь: 168 дБ.

Як видно з величин затухання сигналу, забезпечити зв'язок без побудови вишок неможливо. Розрахуємо висоту вишок, які забезпечать зв'язок з даних КП-Т до КП Підкамінь при умові, що висота вежі на КП Підкамінь дорівнює 7 метрам.

Необхідна висота вишки на КП Поморяни: 111 м.

Необхідна висота вишки на КП Плавуча: 107 м.

Необхідна висота вишки на КП Озерна: 41 м.

Необхідна висота вишки на КП Поляна: 26 м.

Тобто для забезпечення зв'язку ДП «Зборів» з КП Підкамінь необхідно підключити КП Підкамінь до мережі через КП Поляна. Для цього буде потрібно встановити на КП Поляна вишку висотою не менше 26 м.

Провівши аналогічний розрахунок для КП Млинівці отримаємо, що для забезпечення зв'язку з ним необхідно встановити вишку на КП Поморяни висотою не нижче 25 м.

На цьому етапі розрахунків можна зробити такий висновок:

- для забезпечення зв'язку ДП «Зборів» з КП необхідно встановлювати вишку на ДП;
- для забезпечення зв'язку ДП «Зборів» з об'єктами КП Поморяни, КП Поляна, КП Козова на цих об'єктах необхідно встановлювати вишки;
- для забезпечення зв'язку ДП «Зборів» з об'єктами КП Підкамінь і КП Млинівці необхідно встановлювати додаткові приймачі і вишки на об'єктах КП Поляна і КП Поморяни. Причому мінімальна висота вишки на КП Поляна становить 20 метрів, на КП Поморяни 25 м.

Дальше необхідно визначити висоту вишок на ДП «Зборів» і КП Козова. Шляхом розрахунку затухання сигналу було встановлено, що при встановленні на ДП «Зборів» вишки максимальної висоти на КП Поморяни досить поставити вишку висотою 25 м.

Варто відмітити, що для забезпечення зв'язку ДП «Зборів» з КП Поморяни необхідно на КП Поморяни і на ДП «Зборів» встановити вишки максимальної висоти. Тобто висота вишки на КП Поморяни - 25 м, на ДП «Зборів» - 45 м.

В результаті проведених розрахунків нами була отримана схема мережі, яка зображена на рис 4.6 і сформовано наступні висновки:

- для забезпечення зв'язку на групі об'єктів «Зборів» необхідно встановити 4 вишки;
- вишки встановлюються на ДП «Зборів» - 45м, КП Козова - 20 м, КП Поляна - 20 м, КП Поморяни – 25 м;
- мережа має тип Варіант №2: об'єкти КП Підкамінь і КП Млинівці включені в мережу через об'єкти КП Поляна і КП Поморяни відповідно.

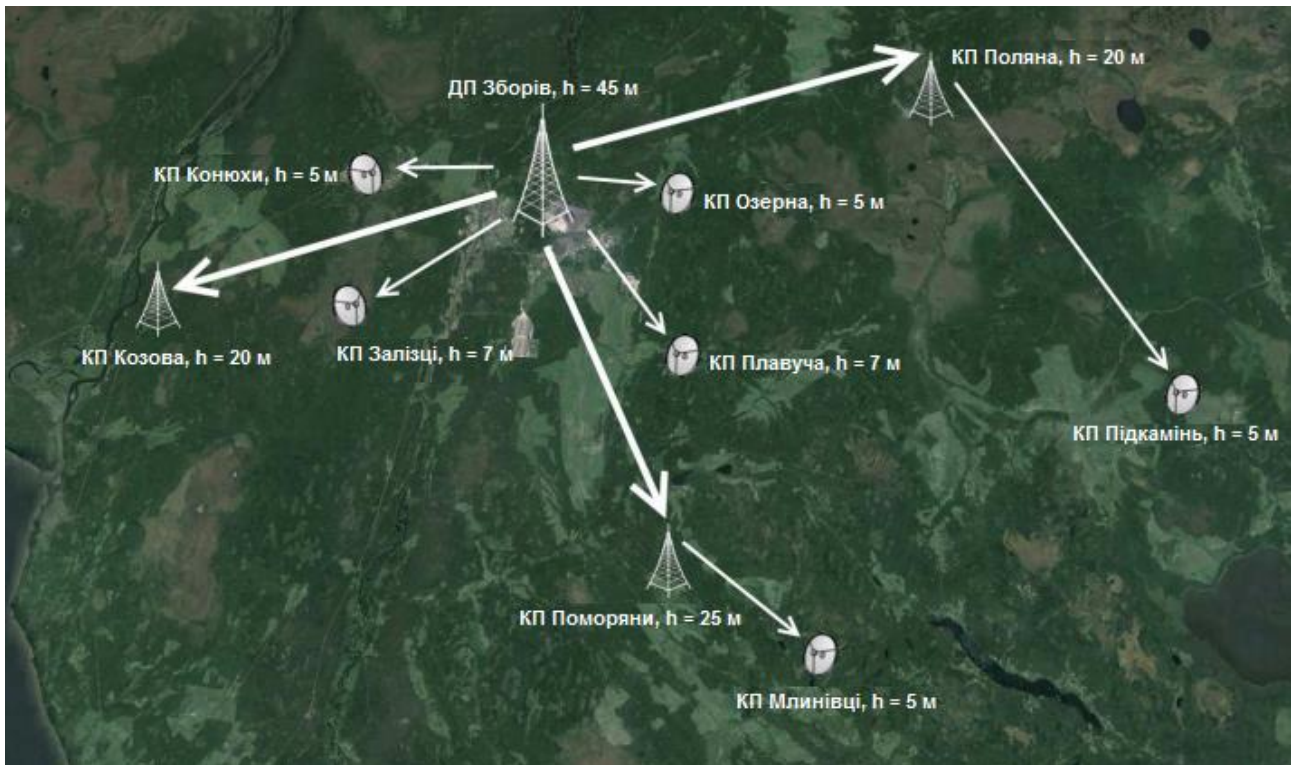


Рисунок 4.6 - Мережа групи об'єктів «Зборів» із зазначенням необхідної висоти розміщення приймачів

4.3 Розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних

При розрахунку показників будемо розглядати наступний цикл передачі даних: відправка обладнанням ДП запиту до заданих КП, повернення КП відповіді на запит ДП. В результаті розрахунку ми повинні маємо розбити цикл передачі на елементарні етапи відправки або обробки інформації, і в підсумку встановити, скільки часу займає цей етап.

Розглянемо схему передачі даних (рис. 4.7).

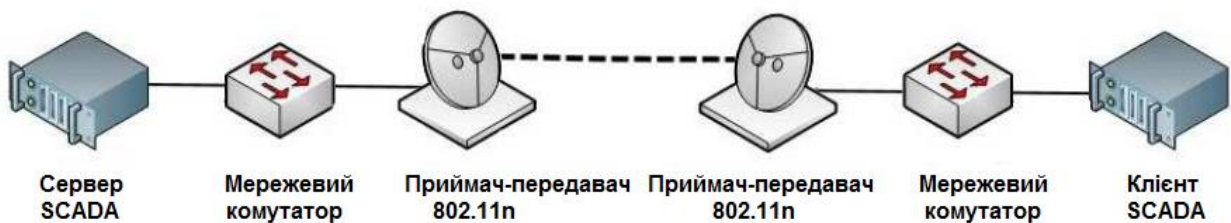


Рисунок 4.7 – Передача сигналів телемеханіки

Розіб'ємо цикл передачі сигналів телемеханіки на наступні етапи (рис. 4.8).

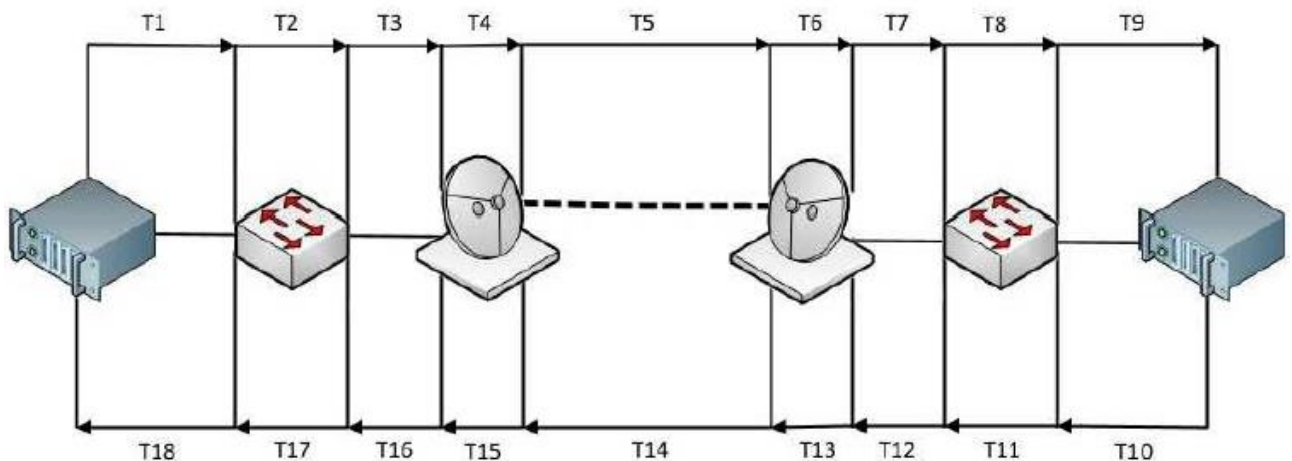


Рисунок 4.8 – Схема етапів передачі циклу «запит-відповідь»

Розрахуємо розміри кадрів, що передаються від сервера SCADA-Енергія (ПЗ обробки результатів телеметрії) на ДП (далі запит ДП) до клієнта з аналогічним програмним забезпеченням, який формує відповідь КП. Довжина запити ДП становить 64 біт. Довжина відповіді КП становить 1024 біт. Врахуємо введення даних програми SCADA в сегмент контролера, далі в пакет шифрування, далі - в кадр Ethernet:

розмір кадру запиту = (заголовок Ethernet + поле контрольної суми Ethernet) + заголовок ip + заголовок udp + дані додатки = $(22 \times 16 \text{ біт} + 4 \times 16 \text{ біт}) + 24 \times 16 \text{ біт} + 8 \times 16 \text{ біт} + 64 \text{ біт} = 1024 \text{ біт}$ або 128 байти.

Врахуємо, що мінімальний розмір кадру в середовищі Ethernet становить 64 байт. Таким чином довжина кадру запити становить 128 байт.

Аналогічно знайдемо довжину кадру відповіді. Вона складе з урахуванням заголовків 128 байт.

Виконаємо пояснення змінних, які присутні на рис. 4.8.

T1 - час передачі запити від сервера SCADA-Енергія (це є запит ДП) мережного комутатора. Швидкість передачі даного з'єднання може становити 100 Мб/с. Таким чином час на передачу склало б: $T1 = 64 \text{ біт} / 100 \text{ Мб/с} = 6400 \text{ нс}$, але враховуючи, що мінімальна довжина кадру по протоколу FastEthernet становить 128 байт отримуємо: $T1 = 128 \times 8 \text{ біт} / 100 \text{ Мбіт/с} = 10,24 \text{ мкс}$.

T2 - час обробки комутатором кадру. Містить запит ДП до моменту початку передачі кадру на лінію *мережевий комутатор - приймач*. З урахуванням використання мікропроцесорної техніки нового покоління цю величину можна оцінити значенням 5-10 нс. Тобто $T2 = 0.005 - 0,01$ мкс.

T3 - час передачі кадру. Містить запит ДП на лінії *мережевий комутатор - приймач*. Обчислюється аналогічно T1, тому $T3 = 10, 24$ мкс.

T4 - час обробки кадру приємпередатчиком до моменту початку мовлення в середу передачі даних. Цей параметр в характеристиках приймачів не вказано, але покладаючись на [24] оцінимо цей параметр в 1000 нс. Тобто $T4 = 0,01$ мкс.

T5 - час передачі кадру від приймача ДП до приймача КП. При використанні режиму передачі з часовим поділом каналу надання доступу до каналу не відбувається. Тому цей час визначається швидкістю передачі даних. У свою чергу, швидкість передачі даних визначається потужністю сигналу. У дипломній роботі ми розраховували, що енергія сигналу становить -100 дБм.

Для антен NBE виробника *Ubiquiti* цій енергії прийому відповідає схема кодування *MSC* і відповідно до цієї схеми кодування відповідає максимальна швидкість 100 Мб/с. Таким чином кадр, що містить запит ДП, передається за наступний час:

$$T5 = 64 \cdot 8 \text{ біт} / 100 \text{ Мб} / \text{с} = 5,12 \text{ мкс.}$$

T6 - визначається аналогічно T4. Тобто $T6 = 0,01$ мкс.

T7 - визначається аналогічно T3. Тобто $T7 = 10,24$ мкс.

T8 - визначається аналогічно T2. Тобто $T8 = 0.005 - 0,01$ мкс.

T9 - визначається аналогічно T1. Тобто $T9 = 10,24$ мкс.

T10. Так як час на формування відповіді КП вимагається значно менше часу на передачу відповіді, то в розрахунку ми ним нехтуємо. T10 визначається аналогічно T1, з тією різницею, що довжина відповіді дорівнює 256 біт, тобто довжина кадру відповіді дорівнює 124 байт. $T10 = 256 \times 8 \text{ біт} / 100 \text{ Мб} / \text{с} = 20,48$ мкс

T11 - визначається аналогічно T2. Тобто $T11 = 0.005 - 0,01$ мкс.

T12 - час передачі кадру, що містить запит КП на лінії «Мережевий комутатор - Приймач». Обчислюється аналогічно T10. $T12 = 20,48$ мкс.

T13 - визначається аналогічно T4. Тобто $T6 = 0,01$ мкс.

T14 - час передачі кадру від приймача КП до приймача ДП. Аналогічно T5 обчислимо його: $T14 = 1024 \text{ біт} / 100 \text{ Мб} / \text{с} = 1,02$ мкс.

T15 - визначається аналогічно T4, $T15 = 0,01$ мкс.

T16 - визначається аналогічно T10, $T16 = 20,48$ мкс.

T17 - визначається аналогічно T2, $T17 = 0.005 - 0,01$ мкс.

T18 - визначається аналогічно T10, $T18 = 20,48$ мкс.

Таким чином, підсумувавши усі змінні, отримаємо час опитування однієї станції, який становить приблизно 100 мкс (рис. 4.9)

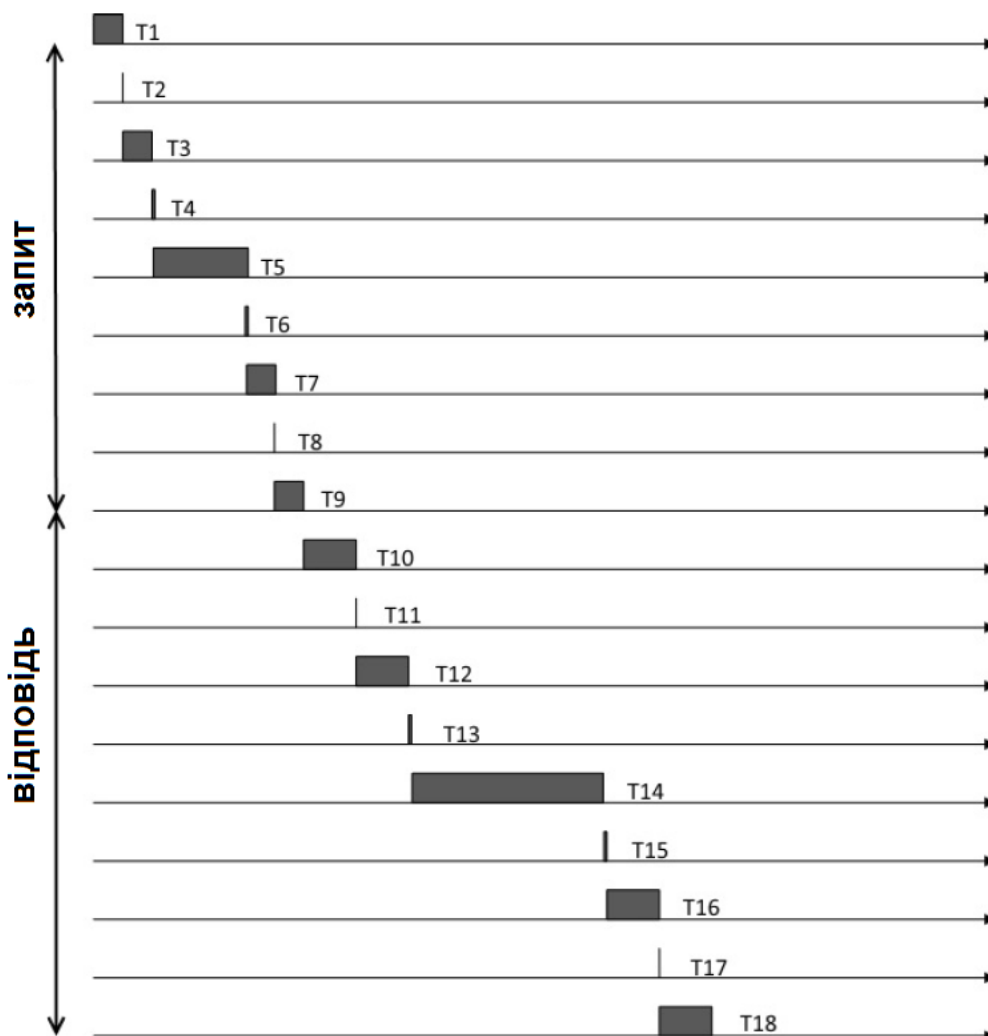


Рисунок 4.9 - Діаграма часу при формуванні циклу «запит-відповідь»

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Обґрунтування застосування мережі Wi-Fi в навчальних закладах

Нині в багатьох освітніх закладах впроваджують сучасне обладнання, яке забезпечує можливість провести фізичний експеримент на сучасному, високому рівні. Технічно новим навчальним інструментом є цифрові вимірювальні комплекси. Використання цих навчальних засобів дозволяє з досить високою точністю проводити вимірювання широкого спектру фізичних величин, виконувати команди керування, а також здійснювати реєстрацію даних вимірювань у вигляді графіків і таблиць з можливістю збереження результатів для їх подальшої обробки і аналізу. Однак такі вимірювальні системи мають досить високу вартість. Як альтернативу таким пристроям можна розглянути використання програмованих логічних контролерів *Arduino*, які дозволяють реалізувати передачу телеметричних даних в електроенергетичній галузі, не використовуючи при цьому радіоканал промислового частотного діапазону.

В цьому розділі дипломної роботи потрібно було практично розробити швидку, надійну і безкоштовну мережу *Wi-Fi* для передачі телеметричних даних. Вона повинна охоплювати передачу даних між диспетчерським пунктом і контрольованими пунктами, які можуть бути розміщені на всіх поверхах навчального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя. Вона повинна підтримувати роботу з виконавчим електротехнічним обладнанням, а також забезпечувати захищене підключення для диспетчерського керування.

Обмежені бюджети і ресурси ІТ-відділу університету вимагають реалізації нового підходу для вирішення цього завдання, зокрема, реалізація такої ідеї на базі програмованого логічного контролера *Arduino* пройшла цей тест на відмінно.

Однією з основних проблем освітніх установ є необхідність роботи мережі в середовищі з високою концентрацією користувачів і перешкодами від інших пристроїв, наприклад: в лекційних класах, спортивних залах і аудиторіях. Забезпечуючи доступ до бездротової мережі відразу цілої низки пристроїв *Wi-Fi*,

система на базі контролера *Arduino* може забезпечити надання кращого в своєму класі рішення, що гарантує підтримку високої пропускну здатності при паралельній роботі користувачів бездротової мережі. За рахунок застосування технології адаптивної антени, яка забезпечує користувачам швидке підключення і відключення від мережі *Wi-Fi*, ця технологія в поєднанні з такими можливостями, як балансування навантаження, ефірна рівнодоступність, управління смугою частот і обмеження швидкості для користувача, забезпечує можливість підключення сотень користувачів до однієї точки доступу, що надає надійне і швидке з'єднання *Wi-Fi*.

Навчальні заклади, зокрема і ТНТУ ім. Івана Пулюя, часто охоплюють великі території, які включають в себе кілька будівель. Побудова надійної мережі *Wi-Fi* з повним покриттям будь-якої точки кожної з будівель без установки величезної кількості точок доступу раніше представляло реальну проблему. Серія продуктів на базі програмованого логічного контролера *Arduino* може забезпечити краще покриття мережі *Wi-Fi* за рахунок застосування нової технології зв'язку, яка направляє сигнали клієнтам, вибираючи найефективніші шляхи і пригнічуючи перешкоди. Система *Arduino* збільшує покриття в 2-4 рази при зменшенні кількості точок доступу, а також знижує грошові витрати і час на розгортання. Тепер вищі навчальні заклади можуть легко і просто надавати доступ в мережу *Wi-Fi* там, де це було раніше неможливо.

В розпорядженні лінійки продуктів *Arduino* є повністю інтегровані рішення, що полегшують процес адаптації інтелектуальних пристроїв в мережі як для адміністраторів, так і для простих користувачів. По-перше, ми оптимізуємо існуючі ресурси за допомогою інтеграції рішень з урахуванням поточної сегментації мережі і архітектури систем безпеки, протоколів аутентифікації і служб каталогів. По-друге, за допомогою пристроїв *Arduino* вдалося створити простий і інтуїтивно зрозумілий процес підготовки і адаптації пристрою, який безпроблемно виконується користувачами і легко реалізується персоналом ІТ-відділів. По-третє, такі функції, як «відбитки» пристроїв і управління доступом,

дозволяють використовувати диференційовані політики для різних типів пристроїв і користувальницьких ролей, а також використовувати розширені функції моніторингу і більшу прозорість для поліпшення мережевих операцій, усунення несправностей і зміни політик з плином часу. Надійна робота бездротової мережі дозволяє користувачам підключатися і залишатися на зв'язку, що робить впровадження ініціатив *Arduino* успішним.

У багатьох навчальних закладах мережу *Ethernet* прокладено у всіх аудиторіях і навчальних лабораторіях. На відміну від інших рішень *WLAN*, система *Arduino* пропонує інтелектуальну мережу, що дозволяє навчальним закладам швидко організувати *Wi-Fi*, просто підключивши живлення до точок доступу. Це виключає необхідність прокладки додаткових кабелів *Ethernet* та інші обов'язкові витрати. Удосконалена антенна решітка забезпечує безпрецедентну надійність мережі за рахунок мінімізації втрат пакетів і управління сигналами з вибором оптимальних шляхів, що призводить до збільшення відстані між вузлами мережі.

Більшість навчальних закладів змушені витратити надзвичайно великі суми на забезпечення фіксованого смуги пропускання до кожного навчального корпусу. Нові високоефективні мости 802.11n з 5 ГГц успішно усувають необхідність таких регулярних витрат, дозволяючи навчальним закладам економити значні суми бюджету в кожному навчальному році. Пара мостів *Wi-Fi*, які реалізовані на новій платформі *Arduino*, може забезпечити передачу даних на відстань 1,5 км зі швидкістю до 190 Мбіт/с і пропонує швидкість до 50 Мбіт/с при відстані в 10 км.

5.2 Розробка Wi-Fi радіомодуля передачі телеметричних даних для навчальної лабораторії

Під час роботи над дипломною роботою було розроблено радіомережу на платформі *Arduino* для навчальної лабораторної установки основою є контролер ATmega328P з обв'язкою радіомодуля NRF24L01+ та інтерфейсної мікросхеми Max232 для зв'язку з контрольованими пристроями електричних підстанцій (рис. 5.1).

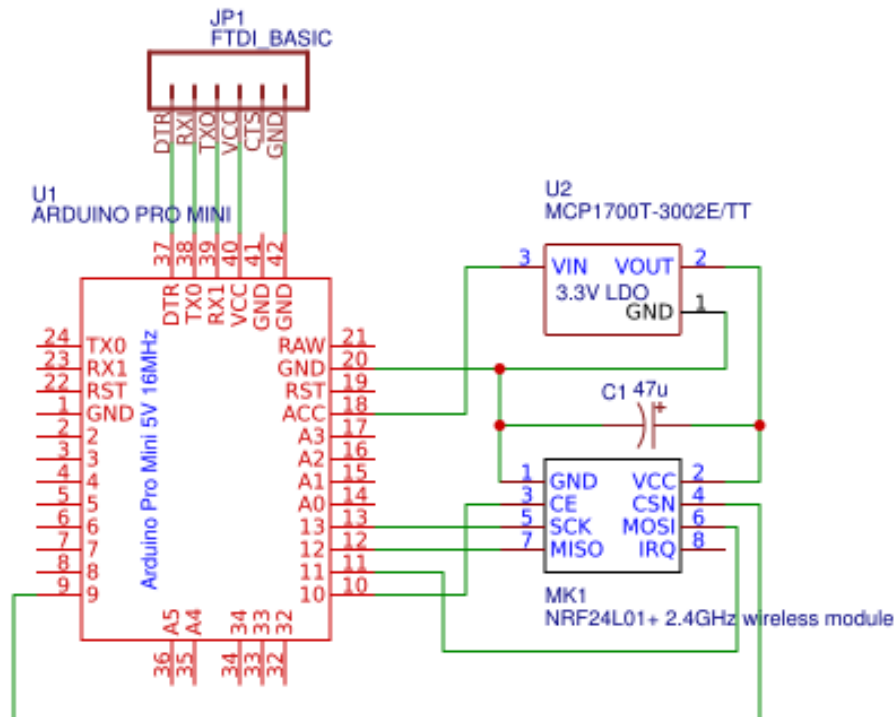


Рисунок 5.1 – Схема підключення радіомодуля по шині SPI

Передавальна станція побудована на основі мікроконтролера ATmega328P з об'язкою радіо модуля NRF24L01+ та інтерфейсної мікросхеми COM-порту *FT232RL*. Дана установка дозволяє створити радіомережу в частотному діапазоні *Wi-Fi* для демонстрації роботи телекерування радіоканалом навчальними підстанціями та зняття з них телеметричних даних.

Мікросхема *FT232RL* є високо інтегрованим перехідником *USB - UART* і дозволяє використовуючи мінімум зовнішніх компонентів, організувати послідовний обмін даними між зовнішнім пристроєм на мікроконтролері і комп'ютером через шину *USB*. У порівнянні з попередніми версіями мікросхеми у *FT232RL* на одному кристалі інтегровані тактовий генератор, незалежна пам'ять EEPROM, частина зовнішніх пасивних компонентів. Мікросхема може працювати в режимі послідовного обміну і в режимі *bit-bang*.

Характеристики та особливості мікросхеми *FT232RL* (рис. 5.2):

- одночіповий перехідник з *USB* в асинхронний послідовний інтерфейс передачі даних (*UART*),
- протокол *USB* повністю реалізований в мікросхемі;

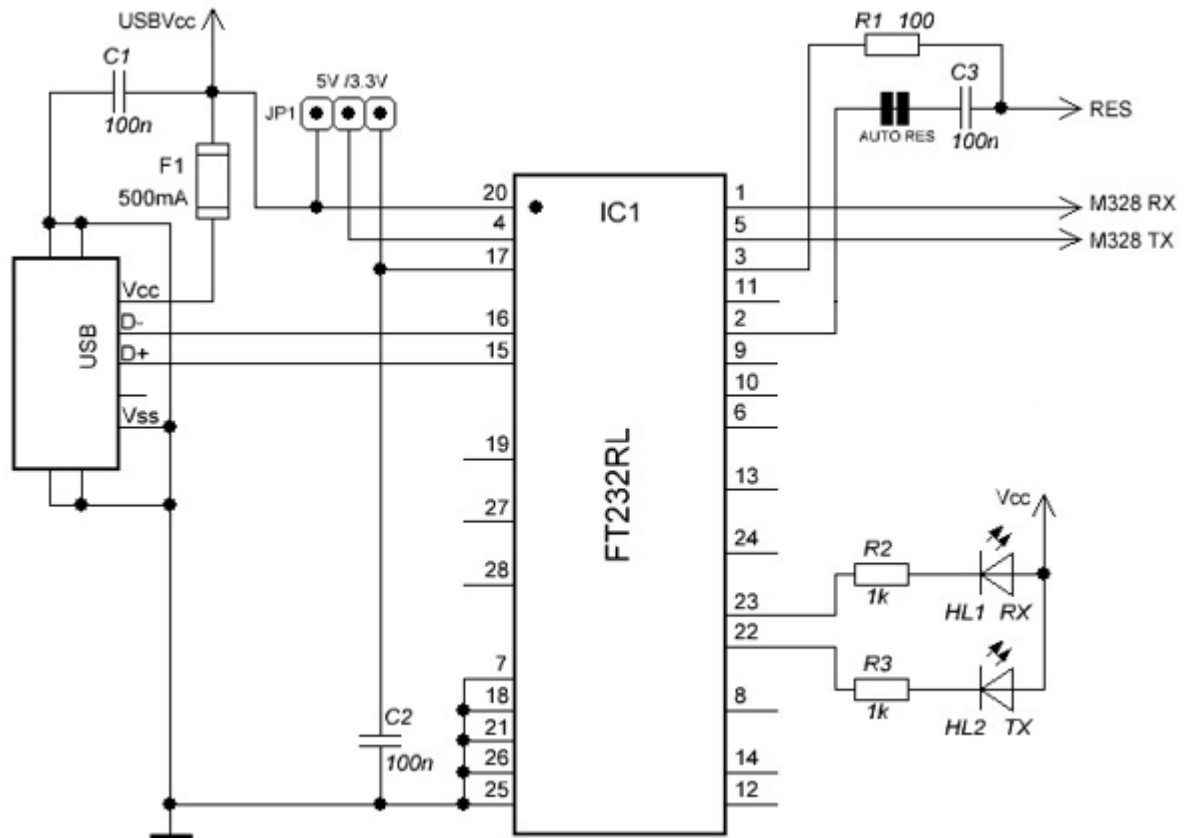


Рисунок 5.2 – Схема USB-UART перетворювача

- інтерфейс UART підтримує режими передачі 7 і 8 біт даних, 1 та 2 степових біти, різні режими контролю парності;
- підтримка управління потоком даних програмного X-On/X-Off і апаратного;
- швидкості передачі від 300 Бод до 3 МегаБод для RS422/RS485/TTL і від 300 Бод до 1 МегаБод для RS-232;
- безкоштовні VCP (віртуальний COM-порт) і D2XX (DLL) драйвери для розробників;
- нова можливість - вбудований унікальний ідентифікаційний номер (FTDIDChip-ID™) - може бути використаний для створення ключа захисту;
- можливість виведення стану *прийому/передачі* на зовнішні світлодіоди;
- можливість подачі тактового сигналу на зовнішні мікросхеми, контролери, ПЛІС частоти 6, 12, 24 і 48 МГц;
- буфери FIFO на прийом і передачу для високошвидкісної передачі даних;
- налаштовується *timeout* для приймального буфера;

- покращений режим *bit bang* - виводи CBUS можуть служити для формування стробів читання і запису;
- вбудована енергонезалежна пам'ять EEPROM об'ємом 1024 байт;
- підтримка режимів живлення від шини, від шини з великим споживанням і від зовнішнього джерела;
- вбудований стабілізатор на 3,3В з навантажувальною здатністю до 50 мА;
- вбудований перетворювач для напруг зовнішніх сигналів на висновках UART і CBUS від 1.8 до 5 В;
- справжня підтримка рівнів 5В/3.3В/2.8В/1.8В CMOS на виході і TTL на вході виводів;
- висока здатність навантаження виходів;
- вбудоване коло скидання з живлення;
- вбудований генератор - не потрібно зовнішніх;
- вбудований фільтр живлення - не потрібен зовнішній RC-фільтр;
- можливість інверсії сигналу UART;
- робота мікросхеми при напрузі живлення від 3,3 до 5,25 В;
- низьке споживання, режим енергозбереження;
- сумісність з хост-контролерами UHCI/OHCI/EHCI;
- сумісність з USB 2.0 Full Speed;
- розширений робочий температурний діапазон: від -40 °С до +85 °С;
- корпус SSOP-28.

Радіомодуль NRF24L01 - це одночіповий трансивер (приймач) виконаний на базі мікросхеми nRF24L01+, що працює під загальним діапазоном ISM 2,4-2,5 ГГц (рис. 5.3). Бездротовий приймач включає в себе частотний генератор, покращений контролер режиму *SchockBurst™*, підсилювач потужності, кристалічний підсилювач, модулятор і демодулятор. Вибір вихідного каналу потужності і протокол можуть бути встановлені за допомогою інтерфейсу SPI. Він має дуже низьке споживання струму. У режимі передачі його передає потужність становить 6 дБм, а споживання струму складає 9,0 мА. У режимі

прийому струм становить 12,3 мА. Споживання ще нижче в режимі відключення живлення і в режимі очікування.

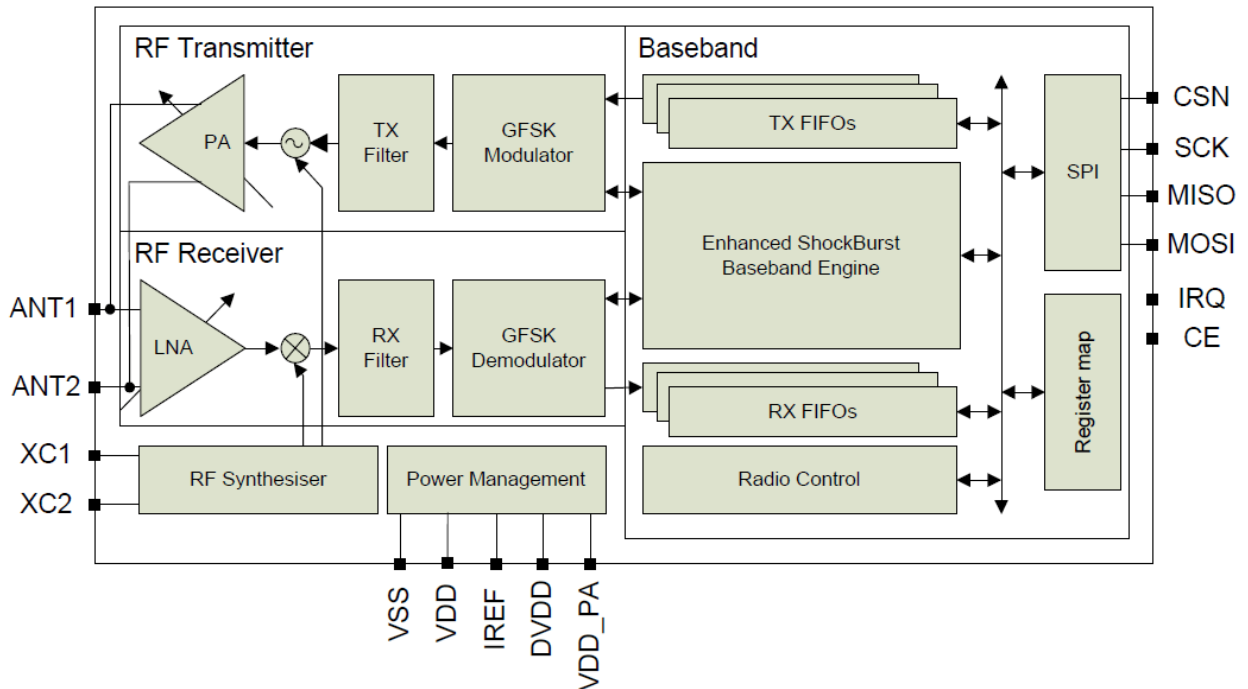


Рисунок 5.3 – Функціональна схема радіомодуля NRF24L01

Модуль підтримує роботу зі швидкістю 250 Кбіт/с, 1 Мбіт/с або 2 Мбіт/с, і може працювати на 126 незалежних каналах, тому відразу кілька пристроїв можуть спілкуватися між собою не заважаючи один одному. Для передачі даних використовується власний протокол.

Бездротовий модуль NRF24L01+ з підсилювачем і зовнішньою антеною може працювати на відстані до 1100 метрів при швидкості 250 Кбіт/с, при 1 Мбіт/с - 750 метрів, при швидкості 2 Мбіт/с - 520 метрів. NRF24L01+ дозволяє передавати інформацію в обох напрямках і об'єднувати кілька пристроїв в мережі типу «зірка». Приймач підтримує отримання даних по шести каналам, в залежності від переданого адреси (рис. 5.4). Канали 1-5 розрізняються лише молодшим байтом адреси. Адреса каналу 0 може бути налаштований незалежно, але при передачі цей канал використовується для отримання підтверджень прийому.

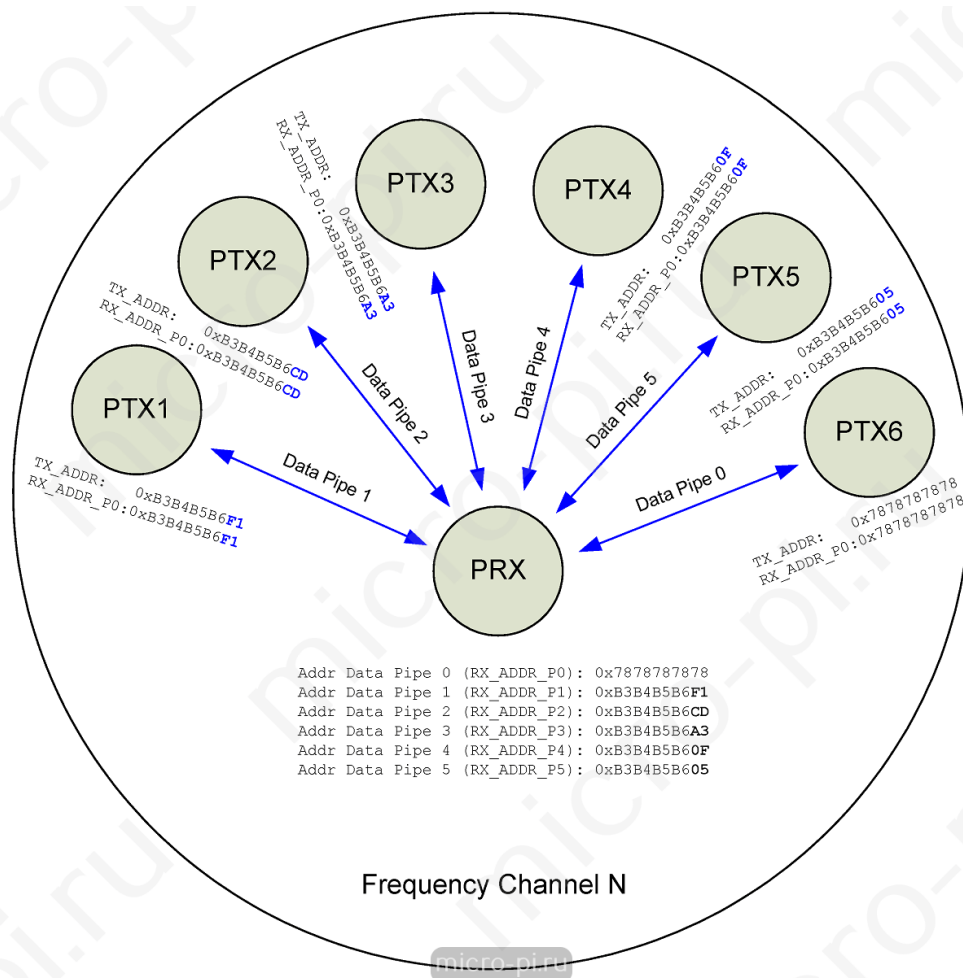


Рисунок 5.4 – Принцип передачі даних радіомодулем NRF24L01

Технічні характеристики NRF24L01+:

- напруга живлення: 1,9 В – 3,6 В;
- максимальна вхідна напруга логічної одиниці: 5,0 В;
- вихідна напруга логічної одиниці: 3,3 В;
- струм при потужності 0dBm: 11,3 мА;
- струм при передачі 2 Мбіт: 13,5 мА;
- частота: 2,4 ГГц;
- програмована вихідна потужність: 0, 6, 12 і 18 dBm;
- швидкість передачі даних: 250 - 2000 Кбіт/с;
- дальність зв'язку при прямій видимості: до 1100 м;
- дальність зв'язку в приміщенні: до 30 м;
- розміри: 29 x 16 x 11 мм.

Команди. Сеанс обміну починається з установки низького рівня на лінії CSN. Перший переданий після цього від мікроконтролера байт є командою. Одночасно з байтом команди від мікроконтролера до мікроконтролера по лінії MISO передається байт статусу. Всі байти даних, супутні команді повинні бути *передані/отримані* протягом одного сеансу обміну. Сеанс обміну завершується установкою високого рівня на лінії CSN.

Режими роботи NRF24L01+. NRF24L01+ може перебувати в одному з чотирьох станів: вимкненому (*Power Down*), режимі очікування (*Standby*), прийому (*RX*) або передачі (*TX*). Перехід з одного стану в інший може відбуватися при зміні рівня на виводі CE, очищенні буфера передачі та інші події.

Алгоритм прийому. Відповідні канали прийому повинні бути дозволені в регістрах `EN_AAi` `EN_RXADDR`, і їх адреси налаштовані в регістрах `RX_ADDR_Px`. Прослуховування ефіру починається з появою на лінії CE високого рівня. Приймач аналізує ефір і намагається виділити адресовані йому пакети з збігається контрольною сумою. Коли черговий такий пакет отриманий, виставляється біт `RX_DR` в регістрі `STATUS`, і на лінії переривання з'являється низький рівень. Три біта починаючи з `RX_P_NO` в регістрі `STATUS` показують номер каналу, по якому прийшов пакет. Прочитати вміст отриманого пакета можна командою `R_RX_PAYLOAD`. Скинути біт `RX_DR` в регістрі `STATUS` можна шляхом запису в нього одиниці.

Алгоритм передачі. У регістри `TX_ADDRi` `RX_ADDR_P0` повинна бути завантажена адреса віддаленої сторони. Після цього дані для відправки поміщаються в чергу передавача командою `W_TX_PAYLOAD`. Початок передачі ініціалізується коротким, але не менше 10 мкс, імпульсом на лінії CE. Якщо пакет переданий успішно і підтвердження отримано, в регістрі `STATUS` виставляється біт `TX_DS`, якщо перевищено допустиму кількість повторів, а підтвердження передачі ніхто не почув, виставляється біт `MAX_RT`. Обидві ситуації призводять до виставлення на лінії `IRQ` низького рівня. Якщо виставлений біт `MAX_RT`, то переданий пакет залишається в черзі передавача, видалити його можна командою `FLUSH_TX`. Скинути біти `TX_DSi` `MAX_RT` в

реєстрі **STATUS** можна шляхом запису в них одиниць. Поки біт **MAX_RT** становлений, подальший радіообмін неможливий.

Швидкість передачі даних. Для прийому і передачі даних можна вибрати швидкість 250 кбіт/с, 1 Мбіт/с, 2 Мбіт/с. Зниження швидкості прийому дозволяє збільшити чутливість приймача, проте при високій швидкості обміну інформацією знижується середнє споживання струму і ймовірність виникнення колізій, тобто виникнення ситуації одночасної передачі з іншими пристроями. Швидкість передачі даних в ефірі встановлюється бітом **RF_DR** в реєстрі **RF_SETUP**. Передавач і приймач повинні бути запрограмовані з однаковою швидкістю передачі даних для зв'язку один з одним. NRF24L01+ повністю сумісний з NRF24L01. Для сумісності з NRF2401A, NRF2402, NRF24E1 і NRF24E2 швидкість передачі даних повинна бути встановлена на 250 Кбіт/с або 1 Мбіт/с.

Радіочастота несучої / номер радіоканалу. Для передачі використовується 126 частотних каналів, кожен канал займає смугу частот менше 1 МГц при швидкості передачі 250 Кбіт/с і 1 МГц на швидкості передачі 1 МГц. Для виключення взаємовпливу каналів відстань між центральними частотами має становити не менше 2 МГц. Також існує можливість настройки коефіцієнта посилення вихідного підсилювача потужності.

Частота каналу РЧ встановлюється реєстром **RF_CH** за такою формулою:

$$F_0 = 2400 + RF_CH \text{ [MHz]}. \quad (5.1)$$

Потрібно запрограмувати передавач і приймач на одну і ту ж частоту для зв'язку один з одним.

Мікросхема MAX232. Як відомо, комунікаційний послідовний інтерфейс RS-232 працює в діапазоні напруг (від -15 В до +15 В), які не сумісні з логічними рівнями сучасних комп'ютерів. З іншої сторони, традиційна TTL-логіка комп'ютера працює між 0В ... +5В. У сучасних схемах з малим енергоспоживанням логічні рівні можуть бути в діапазоні від 0В і до +3,3 В або навіть нижче.

Виходить, що максимальні рівні сигналів RS-232 дуже високі для електронної логіки сучасних комп'ютерів, не кажучи вже про негативні рівнях напруги інтерфейсу RS-232. Тому, щоб отримувати послідовні дані з інтерфейсу RS-232, напруга повинна бути знижена і інвертована для лог. 0 і лог. 1. У зворотному ж напрямку (відправка даних з будь-якого зовнішнього пристрою в сторону RS-232) напругу низького логічного рівня необхідно підвищувати, а також формувати від'ємну напругу для високого логічного рівня RS-232 (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Логічні рівні RS-232 і TTL-логіки

Логічний рівень	RS-232	TTL
1	-15В...-3В	+2В...+5В
0	+3В...+15В	0В...+0,8В

Звичайно ж, всі ці перетворення можна організувати і за допомогою звичайних аналогових компонентів, наприклад, роздільного живлення і пари транзисторів або використовувати мікросхеми IN1488 (передавач) і IN1489 (приймач).

Мікросхеми IN1488 і IN1489 призначені для обслуговування передачі даних в стандарті RS-232. Мікросхема IN1488 містить 4 лінійних приймачі, а мікросхема IN1489 - 4 передавачі. Стандартна величина вихідного струму знаходиться в районі ± 10 мА, вихідний опір більше 300 Ом. IC IN1489 забезпечена ідентичними входами, які логічно об'єднані за «І», а IN1488 має входи «заборона», що фіксують на виході сигнал в стані логічної одиниці.

Однак, оскільки більш десяти років RS-232 є популярним стандартом в аматорській радіоелектроніці, то для узгодження сигналу RS-232 з логікою зовнішніх пристроїв часто використовують інтегральну мікросхему з сімейства MAX232 (зазвичай MAX232A або його аналог). І насправді, в аматорській електроніці важко знайти схему, яка працює зі стандартом RS-232, що не має в своєму складі мікросхему MAX232.

Мікросхема MAX232 - перша створена інтегральна схема для RS-232, яка в одному корпусі містить все необхідне для узгодження рівнів RS-232 з дискретною логікою TTL: два передавачі і два приймачі (рис. 5.5). Свою популярність мікросхема MAX232 заслужила через використання однополярного живлення в 5 В, а рівні напруги RS-232 (-10 В і +10 В) генеруються самою мікросхемою.

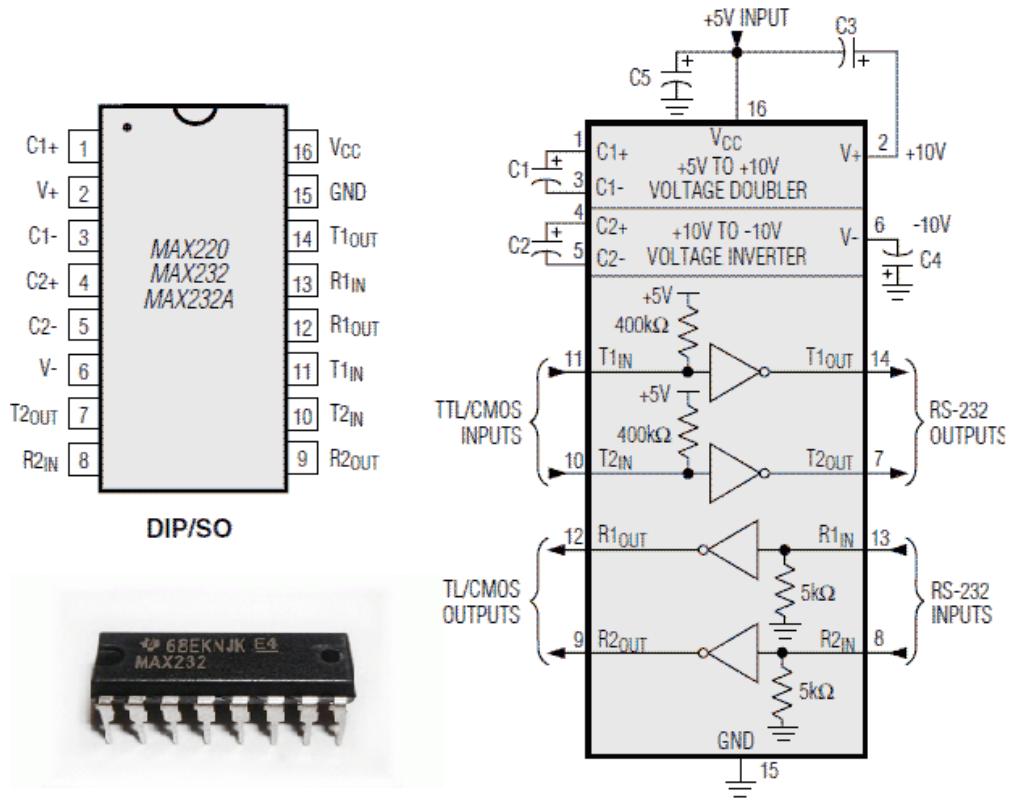


Рисунок 5.5 – Мікросхема MAX232

Це значно спрощує конструкцію схеми управління. При створенні пристроїв тепер немає необхідності використовувати живлення з трьома напругами (наприклад, -12 В, + 5 В, і + 12 В), а потрібно просто забезпечити просте однополярне 5 В джерело живлення, наприклад, за допомогою простого регулятора напруги 78L05. Слід зазначити, що мікросхема MAX232 і її аналоги є тільки *приймачем/передавачем* сигналів. Вона не створює необхідну для RS-232 послідовність даних у часі і не декодує RS-232 сигнал. Вона так само не є перехідником *послідовного/паралельного* порту. MAX232 виконує тільки перетворення напруги логічних рівнів. На рис. 5.6 приведено схему підключення MAX232 до COM-порту.

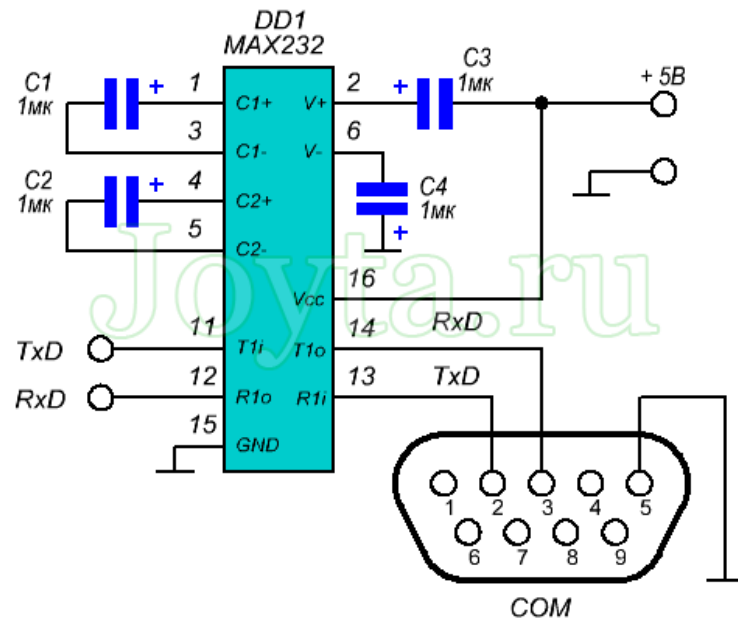


Рисунок 5.6 – Підключення MAX232 до COM-порту

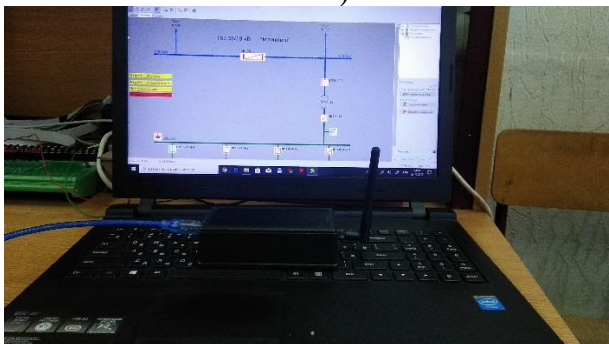
На рис. 5.7 приведено фотографії розробленого устаткування для організації передачі телеметричних за допомогою мережі Wi-Fi.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 5.7 – Обладнання для організації Wi-Fi мережі:

- а), в) передавальний модуль; б) передавальний і приймальний модулі;
г) приймальний модуль на контрольованому пункті

5.3 Розрахунок зони захисту від електромагнітного поля

В даній дипломній радіомережі використовуються антени, що працюють в НВЧ діапазоні 5 ГГц. Вплив електромагнітних полів на організм людини, пов'язаний з цілою низкою небезпечних і шкідливих факторів. Зокрема, в цьому розділі ми розглянемо питання впливу на людину електромагнітного випромінювання, яке може мати місце при роботі розробленого проекту.

При опроміненні живого організму електромагнітним полем високої частоти частина енергії проникає в поверхневі тканини, що призводить до коливання іонів, що містяться в них, і дипольних молекул води. Іони тканин починають рухатися, тобто в тканинах виникають високочастотні струми, що супроводжуються тепловим ефектом [33].

Поглинена енергія на частотах понад 100 МГц залежить від ефективної поверхні тіла, щільності потоку енергії, що падає на цю поверхню, відстані, пройденого хвилею від поверхні шкіри в глиб тіла, коефіцієнта відбиття від кордону середовищ (повітря-шкіра, шкіра-жир, шкіра-м'язи).

Оскільки ефективна поверхня тіла і коефіцієнт відбиття сильно залежать від частоти, то поглинена енергія НВЧ поля також буде визначатися частотним діапазоном. Найбільше поглинання спостерігається при довжинах хвиль 10-30 см (до 100%). Однак, хоча і поглинання енергії при довжинах хвиль 30-300 см дещо менше (30-40%), шкода може бути завдано більше, так як впливу піддаються в цьому випадку внутрішні органи внаслідок більш глибокого проникнення випромінювання в тіло людини.

Найбільшому впливу НВЧ полів схильні органи людини, що володіють найкращим поглинанням і найгіршим тепловідведенням, наприклад, спинний і головний мозок, очі.

Головний і спинний мозок чутливі до змін тиску і тому підвищення температури в результаті опромінення голови може мати серйозні наслідки. Кістки черепної коробки викликають сильні відбиття, через що оцінити поглинену енергію дуже важко. Підвищення температури мозку відбувається найшвидше, коли голова опромінюється зверху або коли опромінюється грудна клітка, так як

нагріта кров з грудної клітини безпосередньо прямує до мозку. Опромінення голови викликає стан сонливості з подальшим переходом до несвідомого стану.

Око - це один з найбільш чутливих до опромінення органів, тому що він має слабку терморегуляційну систему і теплота, що виділяється не може відводитися досить швидко.

Однак вплив на живий організм електромагнітних полів виявляється і при інтенсивності, нижче теплового порогу (100 Вт/м^2). Тривалий і систематичний вплив полів НВЧ на обслуговуючий персонал навіть з малою інтенсивністю призводить до функціональних змін в організмі. Ці зміни пов'язані з електричними мікропроцесами, що протікають в організмі під впливом полів. Так, наприклад, еритроцити і лейкоцити крові шикуються в ланцюжки, витягнуті паралельно до силових ліній поля. Поляризуються і орієнтуються по силових лініях поля бічні ланцюги макромолекул тканин і ін. В результаті може відбуватися розрив міжмолекулярних зв'язків, порушуватися структура і функції тканин, їх хімічний склад. Ці зміни найбільшим чином пов'язані з тканинами периферичної та центральної нервових систем. Порушуються нервові зв'язки в організмі, навіть змінюється структура нервових клітин. Це призводить до порушення раніше вироблених умовних рефлексів, зміни характеру і інтенсивності фізіологічних, біологічних процесів в організмі, нервової регуляції серцево-судинної системи і ін. Внаслідок чого сповільнюється пульс (брадикардія), підвищується кров'яний тиск (гіпотонія), змінюється склад крові. Крім того, з'являється головний біль, порушується сон, підвищується дратівливість. При опроміненні очей можлива катаракта (помутніння кришталика ока). Ступінь впливу залежить від інтенсивності їх опромінення, його тривалості, діапазону частот, форми сигналу, режиму опромінення (безперервного, імпульсного), коефіцієнта спрямованої дії випромінювача, відстані від джерела і індивідуальної чутливості організму.

Відповідно до рекомендацій *Санітарних норм і правил*, які регулюють гранично допустимі рівні щільності потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц - 300 ГГц в залежності від тривалості впливу на організм людини, отримаємо, що при

тривалості опромінення людини від 8 і більше годин гранично допустимий рівень щільності потоку енергії становить $0,25 \text{ Вт/м}^2$.

Розрахуємо біологічно небезпечну зону для даного передавача, тобто область, де щільність потоку енергії електромагнітного поля (ЩПЕ ЕМП), випромінюваного антеною, не нижче $0,25 \text{ Вт/м}^2$. Вихідними даними для розрахунку будуть:

- потужність передавача: $0,4 \text{ Вт}$;
- коефіцієнт підсилення в горизонтальному напрямку: $79,4$;
- коефіцієнт підсилення в вертикальному напрямку: $- 1$.

Розрахунок проводиться за наступною формулою [33]:

$$R = \sqrt{\frac{G \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot \GammaЩЕ}}, \quad (5.2)$$

де G - коефіцієнт підсилення антени (безрозмірний);

P - вихідна потужність, Вт ;

$\GammaЩЕ$ - гранично допустиме значення щільності потоку енергії, 10 Вт/м^2 .

Таким чином отримаємо розмір біологічно небезпечної зони є наступним: по горизонталі 100 см , по вертикалі $0,12 \text{ см}$. Отже, для розробленого передавача не потрібно обмежувати санітарно-захищену зону.

Виконаємо розрахунок щільності потоку енергії, що випромінюється антеною для рівня 2 м (рис. 5.8). Для цього проведемо на висоті двох метрів лінію, паралельно лінії, що проходить в напрямку головної пелюстки діаграми спрямованості. Цю лінію розіб'ємо на відрізки по 5 метрів . Для кожного кінця відрізка знайдемо величину щільності потоку енергії, який випромінюється антеною в його напрямку. Результати розрахунку наведено в табл. 5.2.

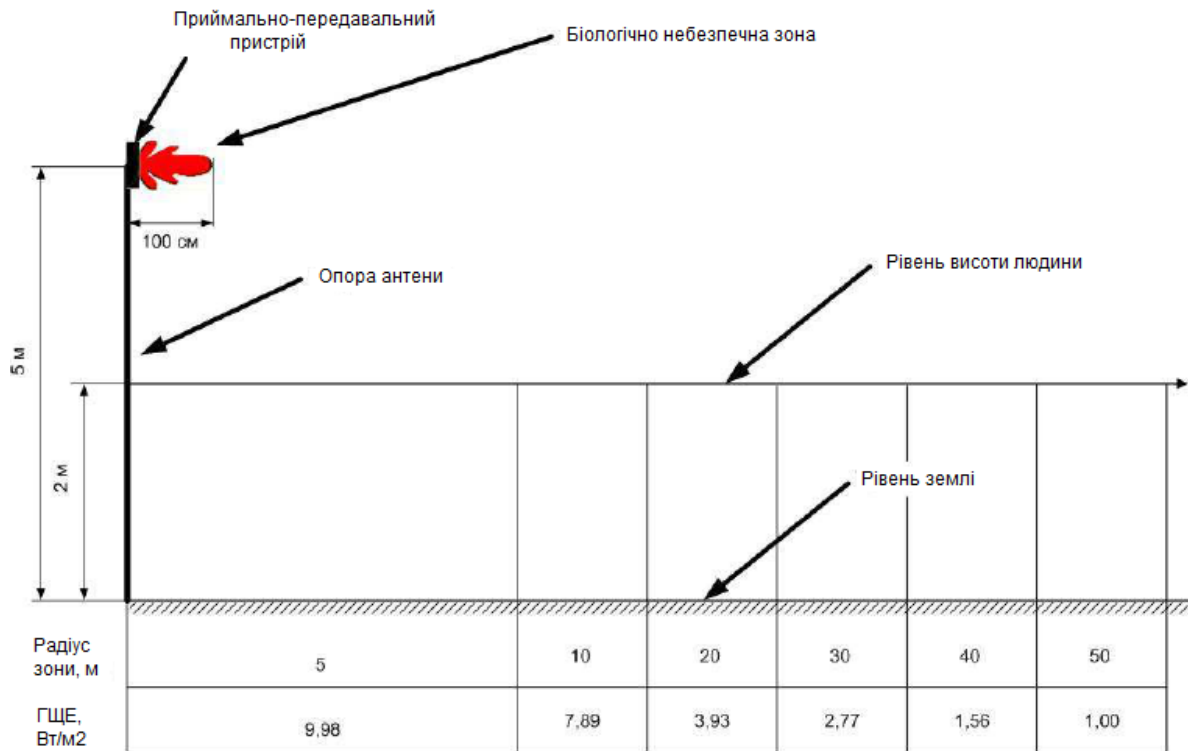


Рисунок 5.8 - Біологічно небезпечна зона, розподіл ГЩЕ за зонами

Таблиця 5.2 - Гранично допустиме значення електромагнітного випромінюваного антеною для рівня 2 м

Розмір зони	ГЩЕ, Вт/м ²
5	9,98
10	7,89
15	5,56
20	3,93
25	3,17
30	2,77
35	2,04
40	1,56
45	1,23
50	1,00

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок, що санітарно-захищеної зона для використовуваного обладнання не потрібно. Біля опори вишки необхідно закріпити табличку з попередженням про знаходження в зоні електромагнітного випромінювання.

6 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень

Методика оцінки економічної ефективності інженерних рішень допускає виконання наступного комплексу робіт [25]:

- вибір об'єкта для порівняння;
- вибір системи показників, які відображають особливості рішень, які аналізуються, і виявлення переваг рішення, яке пропонується порівняно з базовим;
- підготовка і збір вихідної інформації;
- розрахунок і аналіз показників економічної ефективності.

Вимоги до вибору бази для порівняння варіантів інженерного рішення відрізняються в залежності від того, на якому етапі проводиться аналіз. На етапі формування планів науково-дослідницьких і експериментально-конструкторських робіт в якості бази для порівняння приймаються показники найкращої техніки.

На етапі формування планів по освоєнню перших промислових серій, введення прогресивної технології, нових методів організації виробництва і праці, а також введення і експлуатації нової техніки – показники техніки, що замінюється.

Необхідно мати на увазі, що в якості бази порівняння необхідно приймати аналоги не по конструктивних якостях, а по призначенню, по тих функціях, які має виконувати виріб. При створенні засобів механізації і автоматизації, які не мають аналогів, в якості об'єктів для порівняння необхідно приймати комплект засобів, який забезпечує виконання тих самих операцій.

Система показників, необхідних для техніко-економічних розрахунків, виявляється в процесі встановлення переваг інженерних рішень, що розглядаються, порівняно з базовим варіантом. При цьому конкретно визначається, за рахунок чого може боти отриманий економічний ефект.

При визначенні річного економічного ефекту повинно бути забезпечене співвідношення порівнюваних варіантів нової і базової техніки по об'єму виготовленої з допомогою нової техніки продукції (роботи), якісних параметрах, фактору часу, соціальним факторам виробництва і використання продукції.

6.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати – це грошові кошти на створення нових і реконструкцію діючих основних фондів. Капітальні витрати складаються з витрат на придбання устаткування і приладів, транспортних витрат, витрат на монтаж. Підставою для складання кошторису є: специфікація на устаткування, прейскуранти цін, цінники на монтаж.

Для виготовлення лабораторних приймачів-передавачів безпроводної радіомережі на базі технології Wi-Fi необхідно електротехнічне устаткування, антена, антенний підсилювач, кабельна продукція, програмований логічний контролер Arduino Nano, перетворювач сигналу RS-232/485, стабілізований блок живлення 12/5В, секційний мікроперемикач. (дані щодо вартості на устаткування та капітальних витрат приведені в табл. 6.1).

6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати розраховуються за статтями собівартості, що змінюються, і до них відносять: амортизаційні відрахування, витрати на утримання технічних навчальних лабораторій, витрати на електроенергію, витрати на заробітну плату.

Амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{річні}} = \frac{K \cdot H}{100\%}, \text{ грн.} \quad (6.1)$$

де K - капітальні витрати;

H - норма амортизаційних відрахувань ($H = 12\%$).

$$A_{\text{річні}} = \frac{12821.76 \cdot 12}{100} = 1538.61 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.1 - Кошторис-специфікація на устаткування

Найменування устаткування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість, грн.	
			Одиниці	Всього
Радіоантена з підсилювачем	к-ть	4	90.00	360.00
Програмований логічний контролер <i>Arduino Nano</i>	к-ть	4	2190.00	8700.00
Перетворювач сигналу RS-232/485	к-ть	4	225.00	900.00
Стабілізований блок живлення 12/5В	к-ть	4	70.00	280.00
Кабель силовий	м	2	11.00	22.00
Кабель монтажний	м	15	3.00	45.00
Секційний мікроперемикач	к-ть	4	40.00	160.00
Разом вартість устаткування: 10467.00 грн.				
Транспортні витрати, 7.5% від вартості устаткування			$10467.00 \cdot 7.50 / 100$	785.02
Будівельно-монтажні роботи (БМР), 10% від вартості устаткування			$10467.00 \cdot 10 / 100$	1046.5
Накладні витрати (НВ), 21% від БМР			$1046.5 \cdot 21 / 100$	219.76
Планові накопичення, 8% від суми БМР і НВ			$(1046.5 + 219.76) \cdot 8 / 100$	303.48
Вартість капітальних витрат на устаткування			$785.02 + 1046.5 + 219.76 + 303.48$	2354.76
Разом вартість капітальних витрат: 12821.76 грн.				

Витрати на експлуатацію і поточний ремонт

$$B_{np} = \frac{K \cdot H_p}{100\%}, \text{ грн.} \quad (6.2)$$

де H_p - норма відрахувань на експлуатацію і поточний ремонт (H_p складає 6% від вартості устаткування).

$$B_{np} = \frac{12821.76 \cdot 6}{100} = 769.3, \text{ грн.}$$

6.4 Заробітна плата технічного персоналу

Режим роботи персоналу лабораторії – однозмінний.

Заробітна плата інженерно-технічних працівників розраховується згідно системи посадових окладів. Для роботи з лабораторним стендом і обслуговування обчислювальної техніки необхідний наступний склад персоналу (табл. 6.2):

- лаборант;
- інженер I-ї категорії.

Таблиця 6.2 – Штатна відомість

Найменування спеціальності	Оклад, грн.	Всього
Лаборант	2800	1
Інженер I-ї категорії	3500	1

Річний фонд оплати праці – це сума коштів для оплати праці працівників підприємств.

Розрахунок річного фонду оплати праці інженерно-технічних працівників

Оклад старшого лаборанта складає 2800.00 гривень. Заробітна плата за рік (дванадцять місяців):

$$ЗП = \text{Оклад} \cdot 12, \text{ грн.} \quad (6.3)$$

$$ЗП = 2800 \cdot 12 = 33600.00 \text{ грн.}$$

Доплата за шкідливість:

$$ЗП_{шк} = \frac{ЗП \cdot E}{100\%}, \text{ грн.} \quad (6.4)$$

де E – відсоток доплати за шкідливість і складає 15%.

$$ЗП_{\text{ук}} = \frac{33600.00 \cdot 15}{100} = 5040.00 \text{ грн.}$$

Розрахунок фонду оплати праці з урахуванням районного коефіцієнта для інженера I-ї категорії:

$$\Phi ЗП = (ЗП + ЗП_{\text{ук}}) \cdot 1.25, \text{ грн.} \quad (6.5)$$

де 1.25 – районний коефіцієнт.

$$\Phi ЗП = (33600.00 + 5040.00) \cdot 1.25 = 48300.00 \text{ грн.}$$

Оклад інженера I-ї категорії складає 3500.00 гривень. Заробітна плата за рік за формулою (6.3):

$$ЗП = \text{Оклад} \cdot 12, \text{ грн.}$$

$$ЗП = 3500.00 \cdot 12 = 42000.00 \text{ грн.}$$

Доплата за напруженість роботи обчислюємо за формулою (6.4)

$$ЗП_{\text{ук}} = \frac{ЗП \cdot E}{100\%}, \text{ грн.}$$

$$ЗП_{\text{ук}} = \frac{42000.00 \cdot 15}{100} = 6300.00 \text{ грн.}$$

Розрахунок фонду оплати праці з урахуванням районного коефіцієнта для інженера I-ї категорії виконуємо за формулою (6.5):

$$\Phi ЗП = (ЗП + ЗП_{\text{ук}}) \cdot 1.25, \text{ грн.}$$

$$\Phi ЗП_2 = (42000.00 + 6300.00) \cdot 1.25 = 60375.00 \text{ грн.}$$

Загальний фонд оплати праці працівників:

$$\Phi ОП = 48300.00 + 60375.00 = 108675.00 \text{ грн.}$$

6.5 Позабюджетні фонди та експлуатаційні витрати

Розрахунок з позабюджетними фондами виконуємо за формулою:

$$ПФ = \frac{ФОП \cdot T}{100\%}, \text{ грн.} \quad (6.6)$$

де *ФОП* – загальний фонд оплати праці;

T – тариф відрахування в деякий позабюджетний фонд, %.

Розрахунок з фондом соціального страхування:

$$ПФ = \frac{108675.00 \cdot 5.4}{100} = 5868.45 \text{ грн.}$$

Розрахунок з пенсійним фондом:

$$ПФ = \frac{108675.00 \cdot 28}{100} = 30429.00 \text{ грн.}$$

Розрахунок з державним фондом зайнятості населення:

$$ПФ = \frac{108675.00 \cdot 1.5}{100} = 1630.12 \text{ грн.}$$

Розрахунок з фондом обов'язкового медичного страхування:

$$ПФ = \frac{108675.00 \cdot 3.6}{100} = 3912.30 \text{ грн.}$$

Відрахування в позабюджетні фонди складають 38% від річного фонду оплати праці:

$$ПФ = \frac{108675.00 \cdot 38}{100} = 41296.50 \text{ грн.}$$

Експлуатаційні витрати визначаємо за формулою:

$$P_{експ.} = A + \Phi + B_{пр}, \text{ грн.} \quad (6.7)$$

де A – річні амортизаційні відрахування;

Φ – плата в держбюджет за користування основними фондами, *грн.*;

$B_{пр}$ – витрати на експлуатацію і поточний ремонт;

$$\Phi = \frac{6}{100} K, \text{ грн.} \quad (6.8)$$

де K – витрати на впровадження устаткування, *грн.*

$$\Phi = \frac{6}{100} \cdot 769.3 = 46.158 \text{ грн.}$$

$$P_{експ.} = 1538.61 + 46.158 + 769.3 = 2354.06 \text{ грн.}$$

Висновок: Виконані в дипломній роботі розрахунки показали, що капітальні витрати на розробку і впровадження радіоблоків бездротового зв'язку на базі технології Wi-Fi для лабораторії телеметрії та дистанційного керування енергооб'єктами ТНТУ ім. І. Пулюя склали 12821.76 *грн.*

Експлуатаційні витрати при роботі з лабораторним обладнанням складуть 2354.06 *грн.*

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Заходи по забезпеченню безпеки при проведенні лабораторних робіт

Розроблені в дипломній роботі станції бездротового зв'язку для передачі даних телемеханіки електричних підстанцій на базі технології Wi-Fi встановлюються в лабораторії електроприводу кафедри електричної інженерії.

Станції універсальні і дозволяють працювати в трифазних мережах з ізольованою і заземленою нейтраллю. Живлення станцій здійснюється від джерела постійного струму напругою 5 В. Під час експлуатації розроблених приладів виникає небезпека механічних ушкоджень і ураження електричним струмом персоналу, який працює з виконавчими механізмами, які під'єднані до станцій. З метою запобігання цим факторам безпеки всі механічні вузли електроприводу, які обертаються, закриті захисними і металевими кожухами. В силових струмопроводах застосована подвійна ізоляція, швидке відключення схеми в аварійних режимах, яке здійснюється автоматичним вимикачем. Корпуси електричних машин і апаратури керування заземлені.

На передній панелі розробленого приладу розміщений програмований перемикач і індикаторні лампи, що сигналізують про наявність напруги на стенді.

Так як в розроблений прилад входять компоненти, що легко загоряються, то в лабораторії передбачені засоби пожежогасіння [26]. Матеріали, які можуть загорітися в процесі експлуатації електроустаткування внаслідок перегріву, це є: ізоляція проводів; фарба, якою покриті корпуси машин; елементи кола керування і лабораторний стіл.

Основні засоби пожежогасіння, що знаходяться в лабораторії:

- вогнегасник повітряно-пінний типу ОВП-5;
- ящик із сухим піском.

7.2 Розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії

Роботи в діючих електроустановках, як до так і вище 1000 В входять до переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 р. № 15.

Розроблений лабораторний стенд на базі програмованого логічного контролера фірми Arduino для передачі сигналів телемеханіки з трансформаторних підстанцій двигуна не є потенційним джерелом випадкового ураження студентів і технічного персоналу електричним струмом. Так як розроблений прилад буде експлуатуватися в новоствореній лабораторії телеметрії та дистанційного керування енергооб'єктами, було прийнято рішення виконати розрахунок захисного заземлення цієї лабораторії.

Електробезпека експлуатації електричних установок (ЕУ) у разі виникнення напруги непрямого дотику і напруги кроку забезпечує захисне заземлення. *Захисне заземлення* – це заземлення точки або точок електричної системи та струмопровідних частин ЕУ з метою безпечного функціонування та використання [27]. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції і появи напруги на корпусі ЕУ. Принцип дії – перетворення замикання на корпус в однофазне замикання (замикання між фазним та нульовим проводами), яке здатне забезпечити спрацювання систем захисту і автоматичне від'єднання пошкодженої ЕУ від джерела живлення (ДЖ). Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) обмежують найбільші опори заземлення [28]:

- для електроустановок напругою до 1000 В:
- при сумарній потужності генераторів або трансформаторів в мережі живлення не більше 100кВт або 100 кВА – 10 Ом;
- в інших випадках – 4 Ом.

У мережах із заземленою нейтраллю до 1 кВ використання занулення і захисного заземлення зменшує потенціал корпусу до безпечної величини і забезпечує

швидке та надійне вимикання пошкоджених ЕУ за рахунок спрацювання струмового захисту, оскільки струм замикання I_k в цьому випадку дорівнює сумі двох складових: струму I_k' через занулення і струму через захисне заземлення I_k'' , а потенціал корпусу: $I_k' = I_k'' > R$ [37].

Згідно ПУЕ, в установках вище 1000 В із малими струмами замикання на землю опір заземлюючого контуру (пристрою) повинен задовольняти умову:

$$10 \geq R_3 \leq \frac{250}{I_3} \quad (7.1)$$

де 250 - потенціал землі, В;

I_3 - розрахунковий струм замикання на землю, який протікає через заземлювач, А.

В нашому випадку заземлюючий пристрій при потребі може використовуватися для установок напругою вище 1000 В, а також для установок до 1000 В і для приєднання до заземлюючого контуру грозозахисту з метою захисту обладнання стенду. В цьому випадку згідно ПУЕ опір заземлення не повинен перевищувати 4 Ом:

$$R_3 \geq 4 \text{ Ом}$$

Знаходимо опір вертикально забитого в землю електрода:

$$R_{el} = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2e}{d} + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t+l}{4t-l} \right) \right) \quad (7.2)$$

де ρ - опір землі 120 Ом;

l - довжина електрода, м;

t - відстань від центру електрода до поверхні землі.

$$R_{el} = \frac{120}{2\pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \times 5}{0.012} + 0.5 \ln \frac{(4 \times 3.3 + 5)}{(4 \times 3.3 - 5)} \right) = 27.1 \text{ Ом}.$$

Знаходимо необхідну кількість вертикально забитих електродів

$$n = \frac{R_{el}}{\eta R_{don}}, \quad (7.3)$$

де η - коефіцієнт використання заземлювачів - 0,66.

$$n = \frac{27.1}{0.66 \times 4} = 10.3 \approx 11 \text{ шт}$$

Знаходимо опір з'єднувальної полоси

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi e} \ln \frac{l_n^2}{0.5 \nu n h}, \quad (7.4)$$

де l_n - довжина полоси, м ;

ν - ширина полоси, м;

h - глибина заложення полоси, м.

$$R_n = \frac{120}{2\pi \cdot 120} \ln \frac{120^2}{0.5 \times 0.04 \times 0.8} = 6.3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = \frac{R_{el}}{n\eta} = R / \left(\frac{R_{el}}{n\eta} + R_n \right) = \frac{27.1}{11 \times 0.66} 6.3 / \left(\frac{27.1}{11 \times 0.66} + 6.3 \right) = 2.3 \text{ Ом}$$

Цей опір менший від потрібного, і так як різниця не дуже велика і цим підвищуються умови безпеки. Отже, приймаємо цей результат як кінцевий.

7.3 Заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках

З метою забезпечення нормальних умов праці і життєдіяльності технічного персоналу та студентів при роботі із розробленим електротехнічним приладом були застосовні такі технічні захисні заходи: мала напруга, контроль пошкодження ізоляції, забезпечення недоступності струмопровідних частин,

захисне заземлення і занулення, подвійна ізоляція і захисне відключення [29, 30].

Мала напруга - це напруга не більше 42 В між фазами і відносно землі, що застосовується для зменшення небезпеки ураження електричним струмом. У виробничих умовах ПУЕ передбачають застосування двох малих напруг 12 і 36 або 42 В. Напруга до 42 В включно повинна застосовуватися в приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних для живлення таких електроприймачів: ручних електрифікованих інструментів без подвійної ізоляції, переносних ламп, світильників місцевого стаціонарного освітлення з лампами накачування, світильників загального освітлення звичайної конструкції з лампами розжарювання, розміщених над підлогою на висоті менше 2,5 м. Напруга не вище 12 В повинна застосовуватися для живлення ручних переносних ламп в особливо небезпечних приміщеннях при особливо несприятливих умовах роботи: в обмежених умовах або при зіткненні працюючого з великими металевими заземленими конструкціями.

Електрична ізоляція - це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, якими покривають поверхні струмопровідних елементів або якими струмопровідні елементи відокремлюють від інших частин.

В електроустановках застосовують такі види ізоляції:

робоча ізоляція - електрична ізоляція струмопровідних частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом;

додаткова ізоляція - електрична ізоляція, передбачена додатково до робочої ізоляції для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції;

подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої та додаткової ізоляції;

посилена ізоляція - поліпшена робоча ізоляція, що забезпечує таку ж ступінь захисту від ураження електричним струмом, як і подвійна ізоляція.

Блокування безпеки - це пристрої, що запобігають потраплянню технічного персоналу і студентів під напругу внаслідок помилкових дій. В дипломній роботі було використано механічне, електричне і електромагнітне блокування.

Механічне блокування застосовується в електричних апаратах (рубильниках, пускачах, автоматичних вимикачах), а також в комплектних розподільних пристроях.

Електрична блокування застосовується в технологічних електроустановках напругою до 1000 В і випробувальних стендах при будь-яких напругах. Блокування відключає напругу від електроустановки при відкриванні дверей огорожень і дверцят кожухів або при знятті кришок. Для відключення напруги служать блокувальні контакти, які можуть включатися безпосередньо в силове коло або в коло управління пускового апарату, якщо управління електроустановкою дистанційне.

Електромагнітне блокування (ЕМБ) вимикачів, роз'єднувачів і заземлювальних ножів широко застосовується при різних схемах з'єднання обладнання і забезпечує певну послідовність включення і відключення цих апаратів. ЕМБ дозволяє виключити виникнення небезпечних ситуацій: включення або відключення роз'єднувача під навантаженням, включення заземлювальних ножів на ділянку лінії під напругою, подачу напруги на заземлений ділянку лінії.

Крім того, в роботі розраховано та використано *захисне заземлення* (пункт 7.2 дипломної роботи), яке призначене для усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку дотику до корпусу та інших неструмопровідних частин електроустановок, які опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус та інших причин.

8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

Повітря є фізичною сумішшю різних газів, які утворюють атмосферу Землі. Чисте повітря – це суміш газів у відносно постійному об'ємному співвідношенні: азот – 78,09%, кисень – 20,95%, аргон – 0,93 % і діоксид вуглецю – 0,03%. Крім того, повітря містить незначну кількість інших газів, тобто таких, як водень, озон і оксиди азоту. Густина повітря при 0 °С і 760 мм рт. ст. (101,33 кПа) складає 1,293 г/л. Вміст пари води в повітрі може досягати чотирьох об'ємних часток у відсотках залежно від конкретних умов, що впливають на стан навколишнього середовища, і характеру діяльності людини [31].

Так, повітря може містити до 0,5% діоксиду вуглецю, різні кількості аерозолів і, крім того, ще до 1% органічних і неорганічних домішок. Якщо концентрація кисню в повітрі нижче 17%, то у працівника з'являються симптоми нездужання, при 12% і менше виникає небезпека для життя, при концентраціях кисню нижче 11% настає втрата свідомості, а при 6% припиняється дихання [31].

Свіже повітря повинно також мати певний іонний склад. В атмосферному повітрі містяться негативні і позитивні іони, які по своїй рухомості поділяються на легкі і важкі. Важкі іони утворюються в результаті осідання легких іонів на різні матеріальні частинки: пилінки, краплі туману і т.п. В чистому повітрі переважно знаходяться легкі іони, а в забрудненому – важкі. Дослідження показують, що на життєдіяльність людського організму сприятливо впливають негативні іони кисню повітря.

На виробництві повітря рідко має природний склад, оскільки багато технологічних процесів супроводжуються виділенням в повітря виробничих приміщень шкідливих речовин – парів, газів, пилу.

Шкідливі речовини проникають в організм людини головним чином через дихальні шляхи, а також через шкіру і з їжею. За дією на людину вони діляться на дві групи: неотруйні і отруйні (токсичні).

Неотруйні речовини тільки подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів, шкіру, очі, практично не потрапляючи в коло кровообігу внаслідок поганої розчинності в біологічних середовищах (крові, лімфі та інших рідинах).

Отруйні речовини, які добре розчиняються в біологічних середовищах, здатні вступати з ними у взаємодію, викликаючи порушення нормальної життєдіяльності. В результаті дії отруйних речовин у людини виникає хворобливий стан – отруєння, небезпека якого залежить від тривалості дії, концентрації (мг/м^3) і виду отрути. Багато речовин, які вважаються неотруйними, в надзвичайних умовах можуть здійснювати токсичний вплив на людину. Наприклад, інертні гази при атмосферному тиску шкідливі лише в тій мірі, в якій вони своєю присутністю знижують вміст кисню в повітрі, а при застосуванні цих газів під тиском вони стають сильними наркотиками.

Надходження в повітря виробничих приміщень тієї або іншої шкідливої речовини залежить від технологічного процесу, сировини, що використовується, а також від проміжних і кінцевих продуктів.

8.2 Джерела електромагнітного випромінювання

В дипломній роботі при експлуатації розроблених станції бездротового зв'язку для передачі даних телемеханіки з електричних підстанцій на базі технології Wi-Fi місце *електромагнітні поля*, які бувають природного і штучного походження. Навколо Землі існує електричне поле середньої напруженості біля 130 В/м. Воно зменшується від середніх широт до полюсів та до екватора, а також з віддаленням від земної поверхні. Спостерігають річні, добові та інші варіації цього поля. Також це поле постійно змінюється під впливом грозових розрядів, опадів та інших природних катаклізмів.

Також існує магнітне поле напруженістю 47,8 А/м та 39,8 А/м на північному та південному полюсах відповідно. Магнітне поле напруженістю 19,9 А/м присутнє на магнітному екваторі. Це поле інколи змінюється під впливом магнітних бур. Також земля постійно знаходиться під впливом електромаг-

нітного поля, що випромінюється сонцем. Діапазон частот цього випромінювання приблизно дорівнює 10 МГц - 10 ГГц. Слід взагалі зазначити, що електромагнітне поле Землі постійно змінюється через низку факторів, як то сонячна активність, процеси у земних надрах та інше.

Ці поля впливають на біологічні об'єкти протягом всього часу їх життя. Тому у процесі еволюції людина пристосувалася до їх впливу і виробила здатність захищатися від можливих ушкоджень за рахунок природних чинників. Проте науковцями спостерігається зв'язок між спалахами сонячної активності і змінами електромагнітного поля, що спричиняється цим процесом та деякими групами захворювань людей.

Також, вивчаючи це явище, вчені помітили зміну умовно-рефлекторної діяльності тварин у рамках цього процесу. Систематичні дослідження щодо впливу електромагнітних полів на організм людини почалися десь з 50-х років.

З шаленим темпом розвитку науки та техніки існує така номенклатура діапазонів згідно регламенту радіозв'язку:

30-300 кГц	НЧ
300-3000 кГц	СЧ
3-30 МГц	ВЧ
30-300 МГц	метрові
300-3000 МГц	УВЧ
3-30 ГГц	СВЧ
30-300 ГГц	КВЧ

Електромагнітні поля НЧ часто використовують у термічній обробці, ВЧ у радіозв'язку, медицині, телебаченні, радіомовленні. Простір коло джерела поля поділяють на зони: ближню (зона індукції) та дальню (зона випромінювання). В залежності від розташування зони характеристиками поля є:

- у ближній зоні – складова вектора напруженості електромагнітного поля;
- у дальній – енергетична характеристика, інтенсивність щільності енергетичного потоку.

8.3 Заходи щодо захисту від дії електромагнітного поля

Для захисту технічного персоналу лабораторії та студентів в діючих електроустановках від дії електричного та електромагнітного полів передбачаються наступні заходи: на виробничих ділянках над шляхами регулярних обходів устаткування і місцях управління устаткуванням (агрегатні шафи повітряних вимикачів, шафи управління роз'єднувачами і тому подібне) встановлені пристрої біологічного захисту у вигляді сітчастих тунелів над маршрутами обходів і металевих козирків над шафами управління. Стаціонарні захисні пристрої виконуються відповідно до вимог по проектуванню підстанцій

За допомогою таких пристроїв рівень напруженості електричного поля знижується до величин, що не перевищують 5 кВ/м.

У місцях періодичного перебування технічного персоналу та студентів в зонах впливу електричного поля, не обладнаних стаціонарними пристроями біологічного захисту, для захисту обслуговуючого персоналу від дії електричного поля відповідно до «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок» передбачаються наступні заходи:

- при напруженості електричного поля до 5 кВ/м час перебування персоналу не обмежується і не потрібно будь-яких захисних засобів;
- при напруженості поля 10-20 кВ/м перебування персоналу в цій зоні обмежується часом від 3-х годин до 30 хвилин (якщо не застосовуються індивідуальні захисні засоби);
- при напруженості поля 20-25 кВ/м час перебування обмежений до 10 хвилин;
- при напруженості поля понад 25 кВ/м забороняється входити в таку зону без спеціальних засобів захисту.

Основними напрямками в процесі розробки засобів захисту від дії ЕМП радіочастот є: зменшення інтенсивності опромінювання безпосередньо від самого джерела, екранування джерела опромінювання, екранування робочого

місця або віддалення його від джерела опромінювання, застосування засобів індивідуального захисту.

Засоби захисту мають відповідати таким вимогам:

- не викривляти істотно електромагнітне поле;
- не знижувати якості технічного обслуговування і ремонту;
- не знижувати продуктивності праці.

Зменшення густини потоку енергії безпосередньо біля джерела випромінювання — один з найефективніших заходів захисту обслуговуючого персоналу, який виконує регулювання, налаштування і випробування передавачів РЛС і генераторів НВЧ. Для цієї мети замість антени встановлюють узгоджене з вихідним каскадом передавача навантаження - еквівалент антени (поглинач потужності). В еквіваленті антени потужність, що генерується, повністю поглинається, не викликаючи тим самим порушення режиму роботи НВЧ генератора.

Зниження інтенсивності ЕМП в робочій зоні може бути досягнуте екрануванням джерел опромінювання металевими суцільними і сітчастими екранами. Інтенсивність опромінення може бути знижена також за допомогою поглинаючих покриттів (часто матеріалом екрану є фольга).

Генератори НВЧ енергії можуть екрануватися повністю (замкнутий екран) або частково (незамкнутий екран).

Поглинаючі екрани (покриття) застосовують у тих випадках, коли відбита електромагнітна енергія від внутрішніх поверхонь суцільних металевих екранів може значною мірою порушувати режим роботи НВЧ генератора. Тому поглинаючі покриття повинні по можливості повністю поглинати енергію. Цього досягають відповідним підбором діелектричної й магнітної проникності поглинального матеріалу.

В якості захисного покриття застосовують гумові килимки з конічними шипами, магнітоелектричні пластини покриття на основі пінополіуретану, які поглинають електромагнітну енергію відповідно в діапазоні 0,8-10,6 см тощо.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

У дипломній роботі приведені результати теоретичних досліджень та вирішена науково-технічна задача, що полягає в розробці проекту радіомережі на основі технології Wi-Fi для збору телеметричних даних з електричних підстанцій. На базі отриманих результатів та розробок зроблено наступні висновки:

1. Проведено порівняльний аналіз існуючих систем передачі даних в електроенергетиці, вказано на їх переваги та недоліки.
2. Проведено дослідження використання радіомереж у енергетиці та запропоновано методику реалізації технологічної радіомережі обміну даними.
3. Виконано дослідження впливу завад радіосигналів при побудові безпроводних мереж на базі Wi-Fi технології.
4. Проведено технологічний аналіз обладнання для радіомережі та виконано розрахунок потужності радіоканалу.
5. Розроблено алгоритм розрахунку необхідної кількості вишок.
6. Виконано розрахунок радіомережі з важкодоступними контрольованими пунктами.
7. Виконано розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних.
8. Виконано розрахунок часових характеристик радіомережі.
9. Розроблено обладнання для навчальної лабораторної установки для організації Wi-Fi мережі з метою передачі та прийому телеметричної інформації між диспетчерським пунктом і контрольованими пунктами електричних підстанцій.
10. Проведено розрахунок санітарно-захищеної зони.
11. Розроблено та запропоновано заходи щодо охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та охорони навколишнього середовища при реалізації проекту на базі виконаної дипломної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ерохін Г.А., Чернов О.В., Козирєв Н.Д. Розповсюдження радіохвиль і антенно-фідерні системи. М.: Радіо і зв'язок, 1996.
2. Милютин Е.Р., Василенко Г.О., Сиверс М.А., Волков А.Н., Певцов Н.В. Методи расчёта поля в системах связи ДЦМ-диапазона. СПб: Триада, 2003.
3. Бабков В.Ю., Цикин И.А., Сотовые системы мобильной радиосвязи: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2011. – 426 с.
4. Крук Б.І., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекомунікаційні системи і мережі. - М.: Телеком, 2004.
5. «Про затвердження. Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору». Наказ № 430/210 від 11.05.2018. Державна авіаційна служба України, Міністерство оборони України.
6. 802.11n-2009 - IEEE Standard for Information technology. Local and metropolitan area networks. Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput
7. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №6. – С. 223.
8. Стеклов В.К., Кильчинський Є.В., Колченко О.В. Архітектура мережі управління телекомунікаціями: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів – К.: 2001.
9. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наук. думка, 2008. – 328 с.
10. Варгаузин В. Радиосети для сбора данных от сенсоров, мониторинга и управления на основе стандарта IEEE 802.15.4 // ТелеМультиМедиа №6, 2005.
11. Романюк В.А. Архітектура системи оперативного управління тактичними радіомережами / В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2009. – № 3. – С. 70-76.

12. Гура, В.І. Перспективи використання бездротових комунікаційних технологій стандарту IEEE 802.11 в агропромисловому комплексі України [Текст] / В.І. Гура // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – 2009. – Т. 1, № 13. – С. 212-218.

13. Бунин С.Г., Войтер А.П., Ильченко М.Е., Романюк В.А. Самоорганизующиеся радиосети со сверхширокополосными сигналами. – К.:НПП «Издательство «Наукова думка» НАН Украины». – 444 с.: ил.

14. CalAmp is a telematics pioneer leading transformation in a global connected economy [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: <https://www.calamp.com>

15. Подготовка к внедрению LTE в Украине набирает обороты/ Forbes Украина. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: URL: <http://forbes.ua/opinions/1343438-podgotovka-k-vnedreniyu-lte-v-ukraine-nabiraet-oboroty> 15.12.2012

16. Використання каналів радіозв'язку в системах диспетчерського керування електропостачанням / Б.Оробчук, О.Рафалюк, С.Бабюк // Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. Випуск 3/2009 (56). Частина 1 – С.131-134 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-3-1\(56\)/131.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-3-1(56)/131.PDF)

17. IEEE P802.11s/D1.08. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, January 2008.

18. Закон України «Про радіочастотний ресурс України» від 1 червня 2000 року N 1770 - III.

19. IEEE Std 802.11-2007. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, June 2007.

20. Вишне夫斯基 В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.

21. IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. – IEEE, August 1999.

22. IEEE P802.11s/D1.00. Amendment: Mesh Networking. – IEEE, November 2006.

23. Особенности параметров расчета сети Mobile WiMax. Дмитриев В.Н., Шалаев И.Г. – Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010, №2.

24. Ubiquiti Networks – WiFi і Мережеве обладнання. – [Електронний ресурс] – Режим доступу:- URL: [http:// http://www.ubnt.su/](http://www.ubnt.su/) (Дата звернення: 07.12.2019).
25. Менеджмент організацій: Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних робіт для студентів ІКТА, ІТРЕ / Укл.: Ю.В. Войцеховська, Н.П. Любомудрова, - Львів: Видавництво Львівської політехніки, - 2010
26. Лут М.Т. Охорона праці в галузі. Методичні вказівки щодо виконання розділу у дипломних проектах студентів зі спеціальності 7.091901 «Енергетика сільськогосподарського виробництва». К.:НАУ,2000.-136с.
27. Основи охорони праці: підручник для студентів вищих навчальних закладів // За ред. д.т.н., проф. М.П. Гандзюка - К.: Каравела, 2003. - 408 с
28. Правила улаштування електроустановок. – Харків: «Форт», 2009. 770 с.
29. Рекомендації щодо організації роботи кабінету промислової безпеки та охорони праці. Затверджені Головою Держгірпромнагляду 16.01.2008 р.
30. Закон України “Про захист людини від надзвичайних ситуацій техногенного та природного походження”, ВРУ, № 1809 – 111. – К., 2000.
31. Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцюк Р.А. Основи екології та охорона навколишнього середовища. - Львів: Афіша, 2001.
32. Влияние электромагнитного излучения на жизнедеятельность человека и способы защиты от него. Учебное пособие – Захаров С. Г., Каверзнева Т. Т. СПб.: СПбТТУ, 1992, 74 с., ил.
33. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications // IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 2006. – 802.11.
34. Євтух П.С., Буняк О.А., Оробчук Б.Я. Решетник В.Я. Зміст та тематика дипломних проектів (робіт) за спеціальністю 7.05070103 (8.05070103) електро-технічні системи електроспоживання // Методичні вказівки. - Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2012.