

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

**СТАРИК ЮРІЙ ІВАНОВИЧ**

УДК 621.311

**ПРОЕКТ РАДІОМЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ  
Wi-Fi ДЛЯ ЗБОРУ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ ДАНИХ З  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДСТАНЦІЙ**

141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**Автореферат**

дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль

2019

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії  
**Оробчук Богдан Ярославович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук,  
ст. викл. кафедри фізики  
**Мочарський Віталій Сергійович,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 27 грудня 2019 р. о 09<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії № 39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, навчальний корпус № 7, ауд. 310

## ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

**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 пропускнуною 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. 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 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.**

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. (м. Тернопіль)

## **Структура роботи.**

Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (34 найменування).

Загальний обсяг текстової частини: 100 сторінок, 13 таблиць, 32 рисунки.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** подано загальну характеристику роботи: стан розробки наукової проблеми й актуальність, мету і завдання роботи, об'єкт та предмет дослідження, описану наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів.

У **першому розділі «Аналітична частина»** виконано аналіз побудови радіомереж НВЧ діапазону, приведено методику розрахунку радіорелейних ліній, розглянуто використання телекомунікаційних веж, виконано огляд технології Wi-Fi і передачу відеоінформації в локальних обчислювальних мережах, сформульовано мету і завдання дипломної роботи.

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.

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 мобільної мережі КиївСтар не охоплює всі питання, що цікавлять об'єкти ВАТ «Тернопіль-обленерго», 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.

Тому метою цієї дипломної роботи є розробка проєктних 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.

У другому розділі «Науково-дослідна частина» сформовано загальні вимоги до створення промислових радіомереж, виконано дослідження використання радіомереж у енергетиці, досліджено реалізацію технологічної радіомережі обміну даними та впливу завад радіосигналів при побудові безпроводних мереж на базі Wi-Fi технології.

В цьому розділі дипломної роботи виконано дослідження проблем, які пов'язані з реалізацією проміжного рівня типової АСУ для 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.

До роботи АСУ та технологічних радіомереж передачі даних на повітряних лініях електропередачі пред'являються підвищені вимоги до надійності і живучості. Комутація УКВ-обладнання технологічної радіомережі управління телемеханікою підвищеної надійності і живучості представлена на рис. 1.

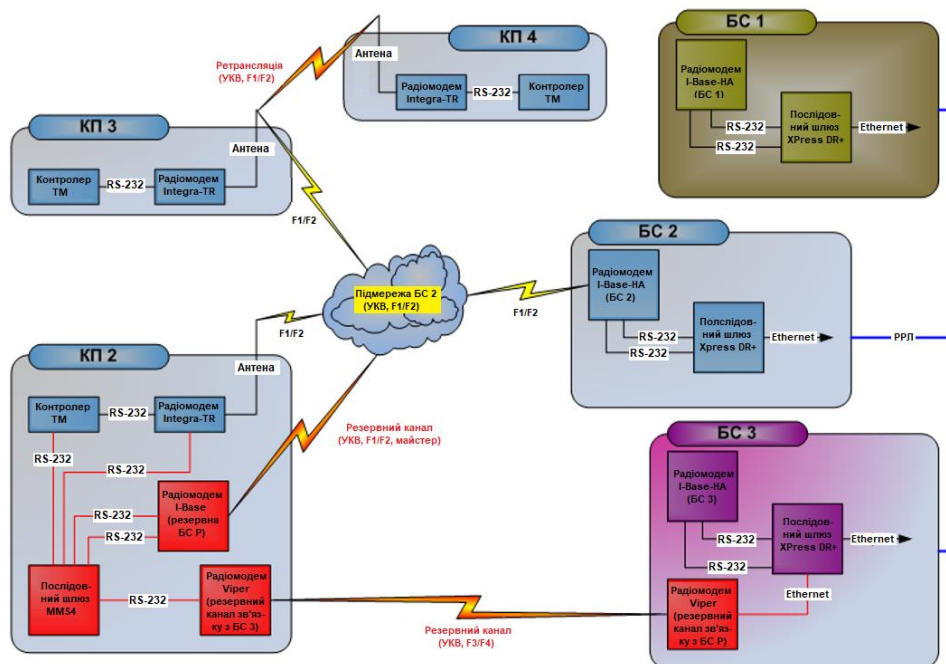


Рисунок 1 – Схема комутації обладнання технологічної радіомережі управління телемеханікою підвищеної надійності і живучості

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

У третьому розділі «Технологічна частина» проведено технологічний аналіз обладнання для радіомережі, виконано розрахунок потужності радіоканалу.

В якості пристроїв для проектування радіомережі ми плануємо використовувати пристрої, що працюють на основі технології широкосмугового бездротового доступу. 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 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*.

У дипломній роботі спроектовано 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, спроектована радіомережа дозволить передавати дані відеоспостереження, організовувати телеконференції.

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÷20 м.

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. 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.

У четвертому розділі «Проектно-конструкторська частина» виконано розрахунок алгоритму необхідної кількості вишок, розрахунок радіомережі з важкодоступними контрольованими пунктами та розрахунок телемеханічних характеристик передачі даних.

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.

Другий рівень. На другому рівні потрібно розрахувати можливість забезпечення зв'язку від ДП до всіх КП шляхом встановлення вишки тільки на КП.

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.

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).

При розрахунку показників телемеханічних характеристик передачі даних було розглянуто наступні цикл передачі даних: відправка обладнанням ДП запиту до заданих КП, повернення на КП відповіді на запит ДП. В результаті розрахунку ми маємо розбити цикл передачі на елементарні етапи відправки або обробки інформації, і в підсумку встановити, скільки часу займає цей етап. Схема передачі даних показана на рис. 2.

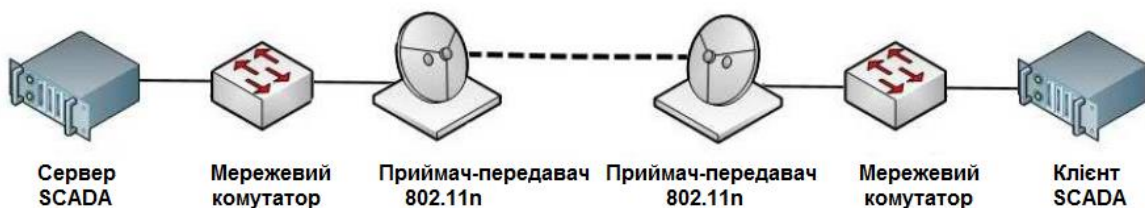


Рисунок 2 – Передача сигналів телемеханіки

У п'ятому розділі «Спеціальна частина» виконано обґрунтування застосування мережі Wi-Fi в навчальних закладах, описано проведену практичну розробку Wi-Fi радіомодуля передачі телеметричних даних для навчальної лабораторії, здійснено розрахунок зони захисту від електромагнітного поля.

В цьому розділі дипломної роботи було виконано практичну розробку швидкої, надійної і безкоштовної мережу *Wi-Fi* для передачі телеметричних даних. Розроблена мережа на базі платформи Arduino охоплює передачу даних між диспетчерським пунктом і контрольованими пунктами лабораторної установки кафедри електричної інженерії, які можуть бути розміщені на всіх поверхах навчального корпусу №7 ТНТУ ім. І. Пулюя. Розроблена радіомережа підтримує роботу з виконавчим електротехнічним обладнанням, а також забезпечує захищене підключення для системи диспетчерського керування.

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.

На рис. 3 приведено зображення розробленого устаткування для організації передачі телеметричних за допомогою мережі *Wi-Fi*.

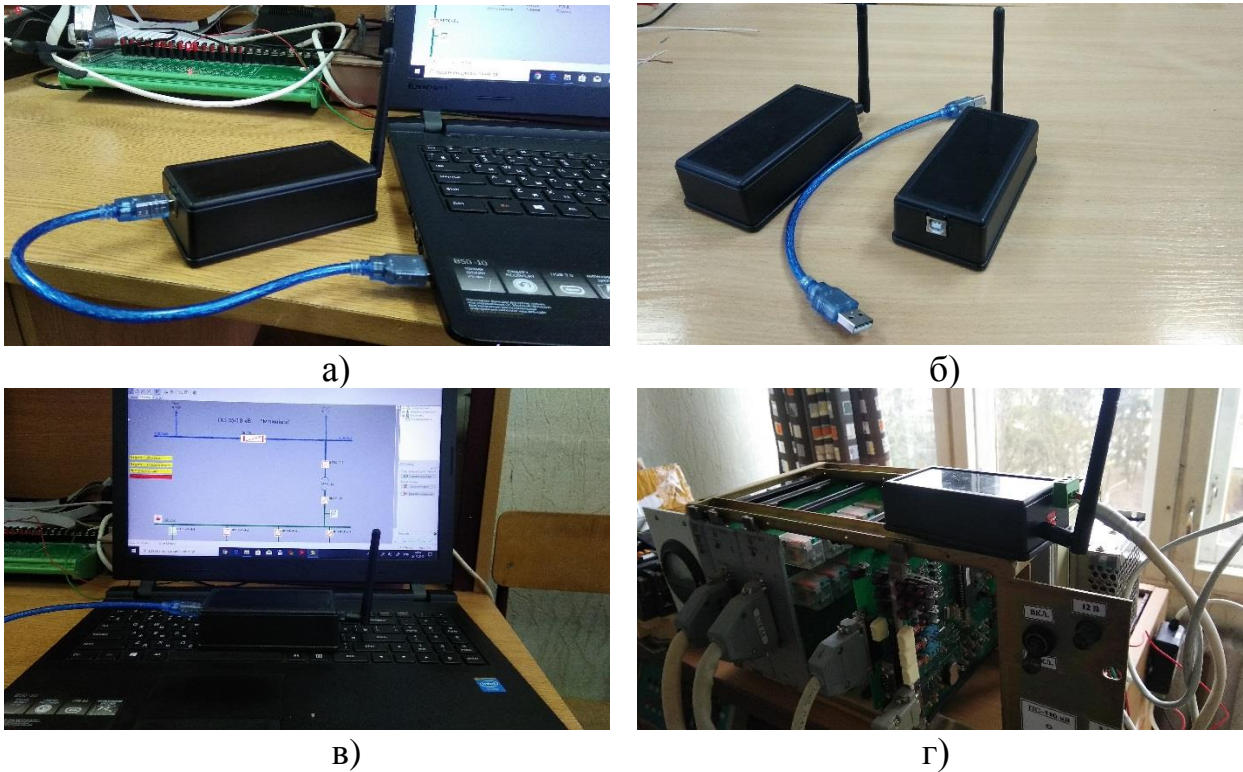


Рисунок 3 – Обладнання для організації *Wi-Fi* мережі:

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

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

У шостому розділі «Обґрунтування економічної ефективності» розглянуто методику оцінки економічної ефективності інженерних рішень, виконано розрахунок капітальних витрат та заробітної плати технічного персоналу, а також розраховані позабюджетні фонди та експлуатаційні витрати.

У сьомому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто заходи по забезпеченню безпеки при проведенні лабораторних робіт, виконано розрахунок захисного заземлення обладнання лабораторії та розроблено заходи безпеки життєдіяльності в електроустановках.

У восьмому розділі «Екологія» розглянуто питання актуальності охорони навколишнього середовища, проаналізовані можливі джерела електромагнітного випромінювання та запропоновано заходи щодо захисту від дії електромагнітного поля.

## ВИСНОВКИ

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 методика 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. Старик Ю.І. «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.

## 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

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.

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.