

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Методи та засоби підвищення заводозахисності та продуктивності
цифрових систем передачі інформації»**

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

Морозюк О.В. Морозюк О.В..

Керівник: д.т.н., професор каф. ІКСТ
Кичак В.М. Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС
Осадчук В.С. Осадчук В.С.

« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

Кичак В.М. д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

ницький національний технічний університет
 ультет інформаційних електронних систем
 едра інфокомунікаційних систем і технологій
 нь вищої освіти II-й (магістерський)
 зь знань - 17 – Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

ціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

ітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

“14” 09 2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Морозюку Олександр Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Методи та засоби підвищення заводозахищеності та
уктивності цифрових систем передачі інформації

зник роботи Кичак Василь Мартиноич, доктор технічних наук, професор

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

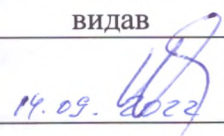
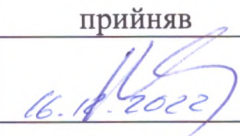

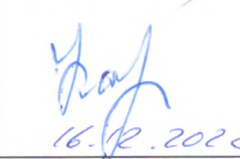
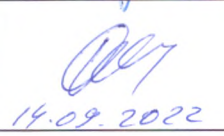
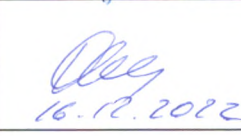
рджені наказом вищого навчального закладу від “14” 09 2022 року № 203
 рок подання студентом роботи 12 грудня 2022 року

іхідні дані до роботи: Заводозахищеність ЦСПІ – 20 дБ; робоча частота – 2,45
дальність роботи точки доступу – 100 м; діаграми спрямованості антен на
утах: 2,403 ГГц, 2,484 ГГц, 2,434 ГГц; ADSL – смуга частот на кожній під
цій 4,3125 кГц; максимальна спектральна щільність потужності передачі для
L -40 дБм/Гц

іст текстової частини:; Методи та засоби підвищення завадо захищеності
I; Методи та засоби підвищення продуктивності ЦСПІ; Економічна частина
іко-економічне обґрунтування розробки та аналіз економічної ефективності;
она праці та безпека життєдіяльності

релік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
уктурна схема енергетичного приймача-виявника апріорі невідомого
ду; Розширення спектру методом прямої послідовності; Структурна схема
авача; Структурна схема приймача; Бездротова точка доступу D-Link DWL-
Діаграми спрямованості при розвороті антен; Залежності швидкості
ачі інформації від довжини лінії зв'язку

Консультанти розділів роботи

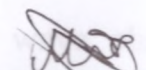
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Кичак В. М., зав. кафедри ІКСТ	 14.09.2022	 16.12.2022
Аналіз економічної ефективності розробки	Кавецький В.В. доцент кафедри ЕПВМ	 14.09.2022	 16.12.2022
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Дембійська С.В. професор кафедри ЕПВМ	 14.09.2022	 16.12.2022

Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

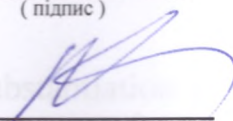
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2022р.	
2.	Аналіз методів та засобів підвищення завадо захищеності ЦСПІ	07.10.2022р.	
3.	Аналіз методів та засобів підвищення продуктивності ЦСПІ	28.10.2022р.	
4.	Багатофакторний аналіз продуктивності ЦСПІ з xDSL технологіями	18.11.2022р.	
5.	Техніко-економічне обґрунтування розробки та аналіз економічної ефективності розробки	25.11.2022р.	
6.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	02.12.2022р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	09.12.2022р.	
8.	Нормоконтроль МКР	12.12.2022р.	
9.	Попередній захист МКР, опонування МКР	14.12.2022р.	
10.	Захист МКР ЕК	19.12.2022р.	

Студент


 (підпис)

Морозюк О.В.

Керівник роботи



Кичак В.М.

АНОТАЦІЯ

Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності цифрових систем передачі інформації. Магістерська кваліфікаційна робота / О.В. Морозюк – ВНТУ, 2022 р. – 124 с., 42 рис., - українською мовою.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз методів та засобів підвищення продуктивності та захищеності цифрових систем передачі інформації. У роботі проведено вибір критеріїв оцінювання, аналіз та удосконалення методів підвищення заводо захищеності радіоканалів цифрових систем передавання інформації, проаналізовані та удосконалені методи та моделі підвищення продуктивності, промодельована продуктивність та заводо захищеність радіоканалів при розповсюдженні радіохвиль в хвильових каналах архітектурних споруд.

Виконано техніко-економічне обґрунтування розробки, розроблений розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ANNOTATION

Methods and means of improving immunity and productivity of digital information transmission systems. Master's qualification thesis / O.V. Morozjuk - VNTU, 2022 - 124 pp., 42 figs., - in Ukrainian.

The purpose of the master's qualification work is the analysis of methods and means of increasing the productivity and security of digital information transmission systems. The selection of evaluation criteria, analysis and improvement of methods for improving the immunity of radio channels of digital information transmission systems was carried out in the work, methods and models of productivity improvement were analyzed and improved, the performance and immunity of radio channels during the propagation of radio waves in the wave channels of architectural structures was modeled.

The technical and economic substantiation of the development was carried out, the section on labor protection and life safety was developed..

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	11
1.1 Аналіз критеріїв оцінювання завадозахищеності цифрових систем передачі інформації.....	11
1.2 Аналіз методів оцінювання завадозахищеності цифрових систем передачі інформації.....	15
1.3 Методи підвищення завадозахищеності з використанням технології розширення спектру.....	21
1.4 Висновки до розділу.....	29
2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	31
2.1 Підвищення продуктивності радіоканалів ЦСПІ при розповсюдженні радіохвиль в хвильових каналах архітектурних споруд.....	31
2.2 Аналіз методів оцінювання продуктивності безпроводних мереж.....	41
2.3 Висновки до розділу.....	47
3 ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ.....	48
3.1 Оцінювання граничної швидкості передавання сигналів у системах зв'язку.....	48
3.2 Оцінювання пропускної здатності безпроводових ліній зв'язку.....	57
3.3 Висновки до розділу.....	67
4 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ТА ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	68
4.1 Оцінювання наукового ефекту	68
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	72
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	72
4.2.2 Відрахування на соціальні заходи.....	75

4.2.3 Сировина та матеріали.....	75
4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	77
4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	77
4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт.....	78
4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	79
4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей.....	80
4.2.9 Службові відрядження.....	81
4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	81
4.2.11 Інші витрати.....	82
4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати	82
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	83
4.4 Висновки до розділу.....	85
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ.....	86
5.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування	86
5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця.....	86
5.1.2 Електробезпека.....	88
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	89
5.2.1 Мікроклімат.....	89
5.2.2 Склад повітря робочої зони.....	90
5.2.3 Виробниче освітлення	91
5.2.4 Виробничий шум та вібрації	92
5.2.5 Електромагнітні випромінювання.....	92
5.3 Пожежна безпека.....	93
5.4 Висновки до розділу.....	95
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
ДОДАТКИ.....	100
Додаток А Технічне завдання.....	101
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	

на наявність текстових запозичень.....	107
Додаток В Структурна схема енергетичного приймача-виявника апріорі невідомого сигналу.....	109
Додаток Г Розширення спектру методом прямої послідовності	111
Додаток Д Структурна схема передавача (а). Структурна схема приймача (б)....	113
Додаток Е Бездротова точка доступу D-Link DWL-1000.....	115
Додаток Ж Діаграми спрямованості при розвороті антен	117
Додаток З Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для SHDSL технології з кодуванням TC-PAM-16 та TC-PAM-32 для КЛЗ типу ТПП-0,5.....	119
Додаток К Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для технології ADSL з модуляцією DMT для КЛЗ типу ТПП-0,5.....	121
Додаток Л Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для VDSL технології для КЛЗ типу ТПП-0,5.....	123

ВСТУП

Актуальність роботи. Технологічною базою розвитку сучасного інформаційного суспільства є телекомунікаційні системи, які забезпечують неперервний обіг інформації. Недостатньо лише накопичувати інформацію – потрібно ще доносити її до користувачів, причому так, щоб користувачі не відчували дискомфорту в процесі приймання та сприйняття інформації. Саме забезпечення функціонування інфраструктури всебічного обміну інформацією є головною задачею телекомунікаційних систем (ТКС). Інтенсивний розвиток інформаційних технологій потребує не менш значного розвитку ТКС, але при цьому телекомунікації мають випереджати у своєму розвитку техніку накопичення інформаційних ресурсів, щоб не гальмувати доступ до них користувачів.

З метою забезпечення якості передавання інформації з урахуванням усіх можливих умов розміщення користувачів ТКС удосконалюються та трансформуються, підвищуючи пропускну здатність та завадозахищеність. У результаті цього з'являється велика кількість принципово нових видів ТКС і спостерігається подальший процес їхньої конвергенції та інтелектуалізації. Особливе місце при розвитку ТКС займають цифрові системи передавання інформації. Одними із головних вимог які висуваються при створенні інтегрованих високопродуктивних корпоративних систем зв'язку є підвищення продуктивності та забезпечення завадозахищеності каналів зв'язку. В наш час є низка об'єктивних причин у підвищенні загроз інформації, зокрема, таких, що викликані лібералізацією суспільних та державних відносин. Сучасний етап розвитку ЦСП пов'язаний з технологічним проривом в галузі мікроелектроніки та глобальною інтеграцією різних технологій як за призначенням, так і за принципом дії [1, 2].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз останніх наукових досліджень та розробок в напрямку підвищення продуктивності та завадостійкості ЦСП показує, що більшість робіт направлені на побудову теоретичних моделей

безпроводних мереж та оцінювання впливу зовнішніх дій на параметри радіоканалів [1,7].

Питання підвищення завадостійкості та продуктивності безпроводних каналів та цифрових систем передавання інформації досить широко представлені в роботах вітчизняних та закордонних авторів, а саме у таких як В.М. Шокало, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, А.В. Лемешко, М.А. Бірков, Б.Я. Костік, та ін. [3, 5]. Але в більшості випадків ці роботи спрямовані на побудову теоретичних моделей безпроводових мереж та радіоканалів. Тому важливим є проведення детальнішого аналізу існуючих методів підвищення завадозахищеності та продуктивності в радіоканалах архітектурних споруд та оцінювання пропускної здатності безпроводових каналів зв'язку [4, 6].

Мета та постановка задачі. Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз методів та засобів підвищення продуктивності та захищеності цифрових систем передачі.

Задачами даної магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз та удосконалення методів підвищення завадозахищеності радіоканалів цифрових систем передавання інформації;
- вибір критеріїв оцінювання завадозахищеності ЦСПІ.
- аналіз та удосконалення методів та моделей підвищення продуктивності ЦСПІ;
- моделювання продуктивності та завадозахищеності радіоканалів при розповсюдженні радіохвиль в хвильових каналах архітектурних споруд.

Об'єктом досліджень є перетворення інформаційних сигналів в цифрових системах передавання інформації.

Предметом дослідження є методи забезпечення завадозахищеності цифрових систем передавання інформації та підвищення їх продуктивності.

Методи дослідження. В роботі використовувались методи та основні положення теорії електров'язку, основи теорії завадостійкості, методи та засоби захисту інформації, основи теорії кіл та сигналів, методи аналізу випадкових процесів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- удосконалено метод підвищення заводо захищеності, суть якого полягає у застосуванні технології розширення спектру, що дає можливість підвищити прихованість та заводо захищеність безпроводових каналів зв'язку;

- отримано вирази для розрахунку продуктивності радіоканала та функціональної залежності згасання сигналу в каналі, що дає можливість підвищити продуктивність ЦСП.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована близька до оптимальної, схема розміщення робочих місць і базової станції в приміщенні навчального закладу. Застосування теорії розширення спектру дає можливість підвищити заводо захищеність безпроводового каналу зв'язку.

Матеріали досліджень доповідались на науковому семінарі кафедри інфокомунікаційних систем і технологій Вінницького національного технічного університету у 2022 році.

1 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ЦСПІ

1.1 Аналіз критеріїв оцінювання завадозахищеності цифрових систем передачі інформації

Розглянемо критерії оцінки завадозахищеності ЦСП, що показують здатність КСЗ протистояти впливу перешкод як природного так, і штучного походження. Оскільки завадозахищеність також залежить від низки випадкових факторів, то її кількісною мірою може бути також імовірнісний критерій, що має такий вигляд [1]

$$P_{ПЗ} \geq P_{ПЗД} \quad (1.1)$$

де $P_{ПЗ}$ – ймовірність функціонування системи зв'язку із заданим рівнем завадозахищеності.

Для цього розглянемо більш детально структурну схему відповідного каналу в режимі перехоплення, наведену на рис. 1.1.

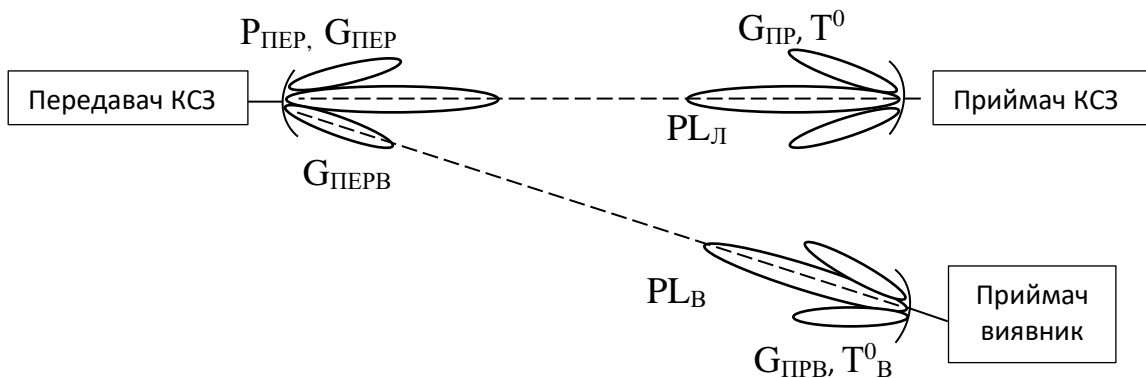


Рисунок 1.1 – Структурна схема відповідного каналу в режимі перехоплення

Будемо вважати, що ЦСП працює зі швидкістю передачі інформації $R=1/T$ (біт/сек), із заданими показником якості (з необхідною ймовірністю бітовою помилкою P_b) і за певного виду модуляції сигналу, яка задає значення енергії сигналу на біт інформації E_b .

Тоді умова перехоплення сигналу КСЗ може бути виражена нерівністю [1], яку можна представити у вигляді кількох співмножників, що характеризують основні параметри каналу зв'язку

$$\underbrace{\left(\frac{G_{\text{ПР}}}{T^0}\right)}_1 \cdot \underbrace{\left(\frac{G_{\text{ПЕР}}}{G_{\text{ПЕРВ}}}\right)}_2 \cdot \underbrace{\left(\frac{PL_{\text{Л}}}{PL_{\text{В}}}\right)}_3 \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{k_3}\right)}_4 \cdot \underbrace{\left[\frac{1}{\left(\frac{2E_{\text{В}}}{N_{\text{В}}}\right) \frac{1}{T} \left(\frac{T_{\text{I}}}{F}\right)}\right]}_5 \leq \underbrace{\left[\frac{G_{\text{ПРВ}}}{T_{\text{В}}^0 z_{\text{В}}}\right]}_6 \quad (1.2)$$

де 1 – характеристики приймача ЦСПІ: коефіцієнт спрямованої дії антени приймача $G_{\text{ПР}}$, шумова температура приймача T^0 ;

2 – характеристики передавальної антени ЦСПІ: коефіцієнт спрямованої дії антени передавача $G_{\text{ПЕР}}$ і коефіцієнт спрямованої дії антени передавача у напрямку приймача-виявника $G_{\text{ПЕРВ}}$;

3 – втрати лінії зв'язку: для легітимного каналу $PL_{\text{Л}}$ і каналу порушника $PL_{\text{В}}$;

4 – коефіцієнт запасу потужності k_3 ;

5 – коефіцієнт визначальний параметри модуляції та широкосмугової сигналу: $E_{\text{в}}$ – енергія сигналу на біт інформації; $N_{\text{В}}$ – спектральна щільність шуму; $F \cdot T = B_{\text{С}}$ – база сигналу; T_{I} – час інтегрування сигналу в приймачі-виявнику;

6 – параметри приймача-виявника, що характеризують його технічну досконалість та небезпеку перехоплення: коефіцієнт спрямованої дії антени приймача-виявника $G_{\text{ПРВ}}$ шумова температура приймача-виявника T^0 , поріг виявлення $z_{\text{В}}$.

З виразу (1.2) впливає кілька важливих висновків для практики побудови захищених каналів зв'язку. На збільшення енергетичної скритності легітимного каналу зв'язку тобто, зменшення відношення сигнал/шум на виході лінійної частини приймача виявника необхідно: використовувати передачу з мінімально можливим показником якості; використовувати в каналі спрямовані антени з мінімально можливим рівнем бічних пелюсток; використовувати приймач з мінімальним рівнем своїх шумів; втрати на поширення електромагнітної енергії сигналу на трасі легітимного каналу повинні бути значно меншими, ніж втрати на трасі порушника ($PL_{\text{Л}} \ll PL_{\text{В}}$); використовувати як сигнал-переносник складні сигнали з найбільшим значенням бази ($B_{\text{С}} \gg 1$) [1].

Оцінюючи скритність ВСЗ у присутності шумів не можна обмежитися тільки таким загальним критерієм, як відношення сигнал/шум на вході приймача-виявника. Виникає необхідність враховувати більш тонкі статистичні властивості процесів обробки при виявленні сигналів, які дають можливість кількісно оцінити достовірність даних про захищеність системи зв'язку.

Якщо припустити, що порушник має обмежені апіорні дані про сигнал, що підлягає виявленню (наприклад, повна їх відсутність), то приймач-виявник може виносити рішення про наявність або відсутність сигналу тільки на основі аналізу його потужності P_C , за умови що потужність прийманого сигналу більша за потужність власного шуму приймача-виявника.

Оцінка потужності вхідного процесу забезпечується енергетичним приймачем, узагальнена структура якого наведено на рис. 1.2.

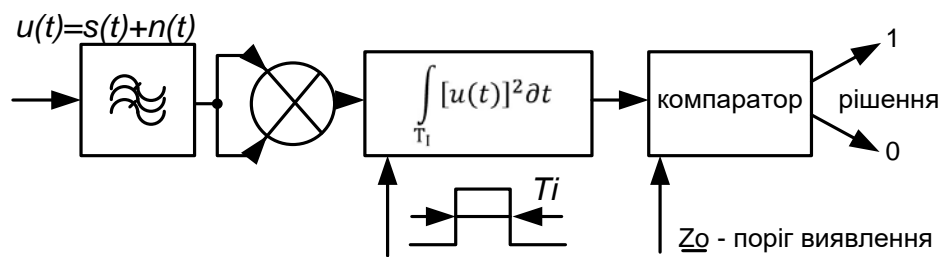


Рисунок 1.2 – Структурна схема енергетичного приймача-виявника апіорі невідомого сигналу

Приймач-виявник включає вхідний фільтр смуги частот Δf , корелятор з опорним зразком того ж вхідного сигналу $u(t)$, інтегратор з часом інтегрування T_i і компаратор прийняття рішень щодо виявлення з порогом виявлення z_B . При виявленні сигналу $s(t)$ у присутності шуму $n(t)$ у приймачі спостерігатимуться помилки різного роду. По-перше, це помилкові тривоги – це рішення прийому сигналу за умови, що його на вході приймача немає. По-друге, пропуски сигналу за умови, що реалізація вхідного коливання цей сигнал містить. Якість роботи такого енергетичного приймача-виявника характеризується ймовірностями правильного виявлення P_B та помилкової тривоги $P_{ПТ}$. Запишемо умову роботи

приймача-виявника використовуючи відношення енергії вхідної реалізації до спектральної щільності шуму q_P [1]

$$q_P = \left(\frac{2E_B}{N_B}\right)_B = \frac{2}{N_B} \int_0^{T_1} [u(t)]^2 \partial t = \begin{cases} q_1 = \frac{2}{N_B} \int_0^{T_1} [s(t)+n(t)]^2 \partial t \\ q_0 = \frac{2}{N_B} \int_0^{T_1} [n(t)]^2 \partial t \end{cases} \quad (1.3)$$

Ймовірності правильного виявлення сигналу P_B і помилкової тривоги $P_{ПТ}$ залежатимуть від розподілу ймовірностей $W_1(q)$ і $W_0(q)$, які відповідають наявності та відсутності сигналу (1.3), а також значення порога z_B . Розподіл процесу на вході вирішального пристрою РТР 2 [2] не підпорядковується нормальному закону.

Пороговий рівень z_B визначається прийнятим та використовуваним критерієм виявлення сигналу. У теорії та практиці побудови систем РТР часто використовуються критерій Неймана-Пірсона, який мінімізує умовну ймовірність пропуску сигналу при заданій фіксованій ймовірності помилкової тривоги $P_{ПТ}$ [1, 2]. При великій кількості ступенів свободи сигналу $(n=2 \cdot F \cdot T + 1 \approx B) \gg 30$ розподілу ймовірностей $W_1(q)$ і добре апроксимуються нормальним законом [3] і тоді ймовірність помилкової тривоги можна визначити з виразу [4]

$$P_{ПТ} = \int_{z_B}^{\infty} W_0(q) dq = 1 - \Phi \left[\frac{z_B - n}{\sqrt{2 \cdot n}} \right], \quad (1.4)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-y^2/2} dy$ – інтеграл ймовірності.

При цьому ймовірність правильного виявлення сигналу дорівнюватиме

$$P_B = \int_{z_B}^{\infty} W_1(q) dq = 1 - \Phi \left[\frac{z_B - (n - q_1)}{(2n + 4q_1)} \right] \quad (1.5)$$

Знаючи необхідну ймовірність помилкової тривоги $P_{ПТ}$ з виразу (1.4) визначається величина порога z_B , а потім із формули (1.5) знаходиться ймовірність виявлення сигналу P_B .

Ймовірність розкриття структури сигналу $P_{\text{СТР}}$ можна визначити з виразу довірчої ймовірності помилки вимірювання його параметрів [5]:

$$P_{\text{СТР}}(|\varepsilon| \leq \varepsilon_0) = \Phi\left(\frac{3 \cdot \varepsilon_0}{2 \cdot \sigma_\varepsilon}\right) \quad (1.6)$$

де ε – випадкова помилка оцінки параметра сигналу, що підпорядковується нормальному закону розподілу;

$\Phi(x)$ – інтеграл ймовірності;

ε_0 – межа довірчого інтервалу;

σ_ε^2 – дисперсія помилки оцінки параметра сигналу.

Ймовірнісні критерії оцінки скритності реалізують похід, що характеризує можливість успішного виявлення події (факту передачі інформації) в заданий час. Однак це, перш за все, міра успіху РТР, а не зусиль, спрямованих на виявлення стану об'єкта перехоплення. Крім того, ймовірнісна міра скритності незручна чисельно, наприклад, значення ймовірностей успіху 0,94 і 0,99 близькі, проте для їх досягнення можуть знадобитися різні часові витрати.

Інший підхід передбачає оцінювати скритність об'єкта через витрати на виявлення його стану із заданою достовірністю (ймовірністю правильного рішення). Він точніше характеризує сутність терміну «прихованість». Чим більше тимчасові та апаратні витрати при розкритті невизначеності стану об'єкта перехоплення, тим краще воно «заховано» від розвідки.

1.2 Аналіз методів оцінювання завадозахищеності цифрових систем передачі інформації

Основною причиною існування перешкод на вході бездротових ЦСП є конфлікт електромагнітних спектрів діючих РЕМ і ЦСП, особливо при застосуванні їх у ВСЗ. В реальних умовах зв'язку постановником перешкод для бездротової ЦСП з Wi-Fi технологією стандарту IEEE 802.11b є велика кількість телекомунікаційних систем.

Зазначимо, що вплив РТС, що працюють поблизу частоти 2,45 ГГц, є «найважчим» за наслідками випадків впливу перешкоди тоді, коли вона створює заважаюче електромагнітне поле в робочій смузі бездротової ЦСПП. При дії безперервної перешкоди з частотою, що дорівнює центральній частоті робочої смуги ЦСПП, остання припиняє функціонування.

Відомо [8], що зменшити рівень перешкоди на вході зв'язкового приймача можна за рахунок застосування різних методів селекції: часової, частотної, поляризаційної, просторової.

При нарощуванні числа видів селекції запишемо такий вираз

$$\frac{P_j}{P_s} = \frac{P_{Tj}}{P_{Ts}} \cdot \frac{G_j}{G_s} \cdot K_p \cdot \left(\frac{r_s}{r_j}\right)^n \quad (1.7)$$

де K_p – загальний коефіцієнт ослаблення потужності перешкоди, що діє на вхід зв'язкового приймача

$$K_p = \prod_{i=1}^k K_{pi} \quad (1.8)$$

K_{pi} – коефіцієнт ослаблення при селекції сигналу i -мою ознакою, K – число використовуваних ознак селекції.

У випадку, коли завада з частотою f безперервна і потрапляє в смугу бездротової ЦСПП, то її потужність, віднесена до потужності сигналу, можна розрахувати так:

$$\frac{P_j}{P_s} = \frac{P_{Tj}}{P_{Ts}} \cdot \left(\frac{\sin \frac{2\pi f}{f_0}}{\frac{2\pi f}{f_0}}\right)^2 \cdot K_p \quad (1.9)$$

Визначимо вимоги до величини коефіцієнта ослаблення, при якому досягається ефективна робота бездротової ЦСПП.

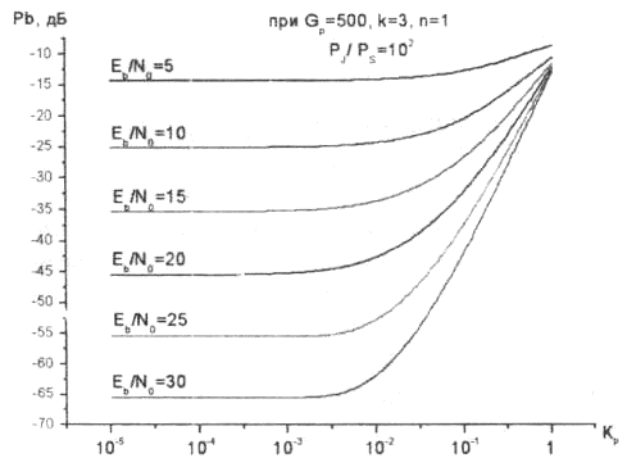


Рисунок 1.3– Залежність BER від величини K_p

На рис. 1.3 наведено розрахунки $P_b = f(K_p)$ при $\lambda_p = 12,25$ см, $P_i/P_s = 10$ у ближній зоні. Зазначимо, що хороша якість бездротової ЦСПІ (P_b краще – 60 дБ) настає при $c < -20$ дБ. Отриманий результат дозволяє припустити, що між постановником перешкод та приймачем ЦСПІ повинен бути встановлений просторово-частотний селектор (ПЧС) у вигляді захисного екрану (рис. 2.4). У [9, 10] показано, що такі екрани забезпечують $K_p = -20$ дБ у дальній зоні та за відсутності перевідбиття. Завдання полягало в доказі можливості їх застосування для багатопроменевого поширення у ближній зоні роботи радіоканалу ЦСПІ з технологією Wi-Fi стандарту IEEE 802.11b.

Важливо було перевірити, наскільки розрахунки екранів (багатокільцевих, багатошліпінних, одношліпінних), виконані [10], справедливі для закритих приміщень і малих відстаней. Всі типи екранів, описані в [10], розглядалися на основі одного підходу – Гюйгенса-Френеля. З цієї причини для досягнення поставленої мети достатньо дослідити найпростішу конструкцію ПНС – одношліпінний захисний екран (рис. 1.4). Далі такі конструкції називатимемо просторовими фільтрами (ПФ).

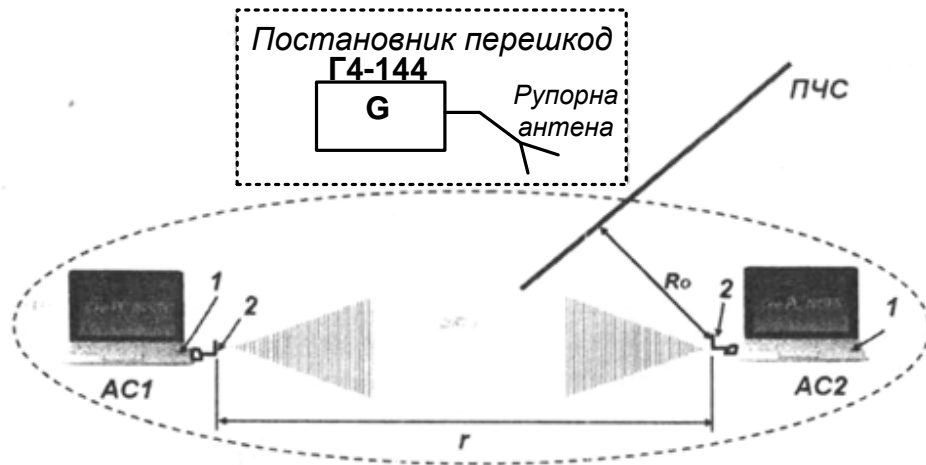


Рисунок 1.4 – Схема експерименту з просторово-частотним селектором

За умови падіння плоскої хвилі з напівпростору $Z = -\infty$ для однощільного захисного екрану можна отримати такий вираз для величини ослаблення K_p на довжині хвилі λ_p у точці спостереження M , розташованій на відстані R_0 від нескінченних смуг просторового фільтра:

$$K_p = \left| \int_{-\infty}^{\infty} dy \left[\int_{-\infty}^{\infty} \xi(x, y) dx - \int_{-x_2}^{x_1} \xi(x, y) dx - \int_{-x_1}^{x_2} \xi(x, y) dx \right] \right|^2 \quad (1.10)$$

$$\text{де } \xi = \frac{\exp(-i\beta \sqrt{R_0^2 + x^2 + y^2})}{\sqrt{R_0^2 + x^2 + y^2}}$$

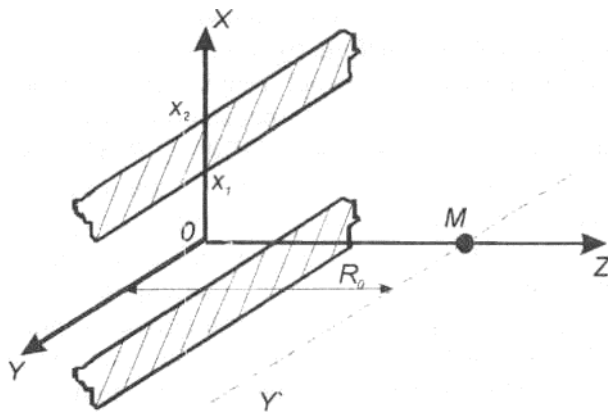


Рисунок 1.5 – Однощільний просторовий фільтр

Наближений вираз (1.10) справедливий для випадку, коли R_0 перевищує відстань далекої зони.

Аналіз (1.10) показує, що рівність $K_p=0$ виконується, якщо x_1 і x_2 задовольняють системі рівнянь:

$$\begin{cases} C\left[x_2\sqrt{2/\lambda_p R_0}\right] - C\left[x_1\sqrt{2/\lambda_p R_0}\right] = 1/2 \\ S\left[x_2\sqrt{2/\lambda_p R_0}\right] - S\left[x_1\sqrt{2/\lambda_p R_0}\right] = 1/2 \end{cases} \quad (1.11)$$

де $C[\omega]$ та $S[\omega]$ – косинус та синус-інтеграли Френеля відповідно.

Мінімальні корені системи (2.11) дорівнюють:

$$x_1 = 0,19\sqrt{\lambda_p R_0}, x_2 = 0,76\sqrt{\lambda_p R_0}. \quad (1.12)$$

Вирази (1.12) були використані для розрахунку захисного фільтра на довжині хвилі $\lambda_p = 0,1225$ м ($f = 2,45$ ГГц). Отримані такі результати: $x_1 = 0,067$ м, $x_2 = 0,27$ м.

При експерименті канал зв'язку складався з абонентських AC1 та AC2 (див. рис. 1.4). При цьому використовувалися ноутбуки (1) із модулями PC Wi-Fi. Наявність цих радіомодулів спеціального інтерфейсу дозволяло контролювати співвідношення сигнал/шум (S/N) в каналі зв'язку. Як постановник безперервної перешкоди використовувався генератор Г4-144, навантажений на рупорну антену.

Звернемося до рис. 1.6. На ньому крива 1 відображає результати вимірювань частотної залежності S/N при випромінюванні безперервної завади такого рівня, що виконувалося співвідношення $S/N = 0$ дБ і канал зв'язку не працював. При установці захисного однощілинного фільтра функціонування каналу зв'язку відновлювалося (рис. 1.6, крива 2) із приблизним співвідношенням $S/N \approx 3 \div 5$ дБ у смузі бездротової ЦСП, тобто дія завади частково компенсувалася.

На рис. 1.6, крива 3 - це ослаблення в діапазоні частот суцільного екрану, який має таку ж площу, як і досліджений однощілинний фільтр.

Зазначимо, що розрахункові та вимірні значення резонансних частот f_p однощілинного екрана суттєво відрізняються. При розрахунковій частоті $f_p = 2,45$ ГГц ($\lambda_p = 12,25$ см) експериментальне значення $f_p = 2,415$ ГГц.

Далі проаналізуємо залежності ослаблення екрана у смузі робочих частот ЦСП за умови зміни розмірів щілини Δx (рис. 1.7) і довжини смуг l (рис. 1.8).

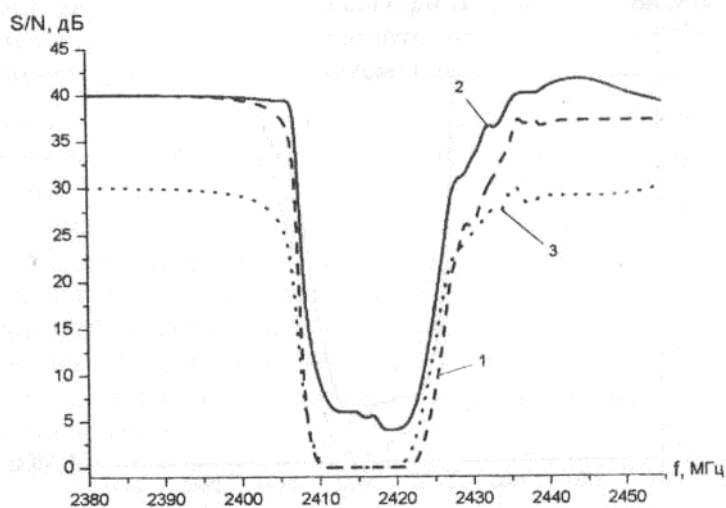


Рисунок 1.6– Результати експерименту з однощілинним фільтром та суцільним екраном

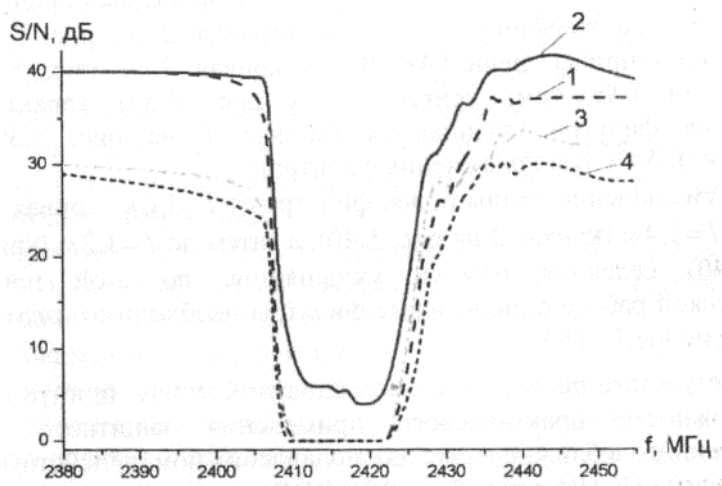


Рисунок 1.7– Результати експерименту з однощілинним фільтром з різною шириною щілини

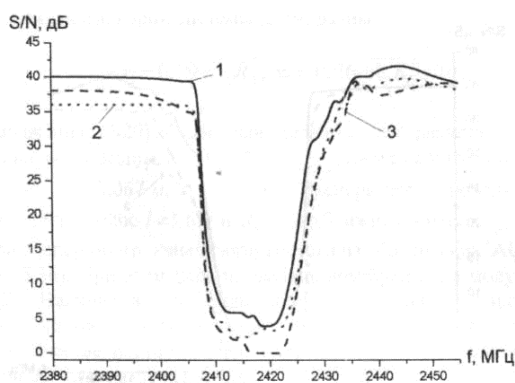


Рисунок 1.8– Результати експерименту з однощілинним фільтром при різних довжині смуг

Можна зробити такі висновки:

- при розрахунковому значенні $\Delta x = 6,7$ см однощілинний фільтр має найхарактерніші значення ослаблення (крива 2 на рис. 2.7); при збільшенні ширини щілини ($\Delta x = 8$ см, крива 3 на рис. 1.7) та її зменшенні ($\Delta x = 4$ см, крива 4 на рис. 1.7) характеристики ослаблення фільтра погіршуються (крива 1 на рис. 2.7 – це залежність S/N без застосування фільтра);

- зі зменшенням довжини смуг фільтра від $l = 1,6$ м (крива 1 на рис. 1.8) до $l = 1,4$ м (крива 2 на рис. 1.8), а потім до $l = 1,2$ м (крива 3 на рис. 1.8) селекція перешкоди погіршується, тому у практичній роботі однощілинні фільтри необхідно виготовляти з довжиною смуг $l \approx 15\lambda_p$.

Можна дійти висновку про можливість практичного застосування захисного фільтра, встановленого в ближній зоні для придушення завад, які діють у бездротових ЦСПІ під час роботи РЛС КСЗ.

1.3 Методи підвищення завадозахищеності з використанням технології розширення спектру

Особливістю методів розширення спектру є висока стійкість спектру до придушення. До основних переваг методу розширення спектру слід віднести високу стійкість до дії різного роду завад. Розширення спектру дає можливість приховувати та шифрувати сигнали, оскільки відновити зашифровані дані зможе тільки користувач, якому відомий код розширення спектру.

До переваг слід віднести що декілька користувачів можуть одночасно використовувати одну смугу частот, що використовуються в системах мобільного зв'язку – багаточисельний доступ з кодовим розділенням (CDMA – code division multiple access)/

Одним із видів використання розширення спектру є метод прямої послідовності, комбінації цифрового інформаційного сигналу та псевдовипадкової послідовності з використанням виключного АБО (рис.1.12).

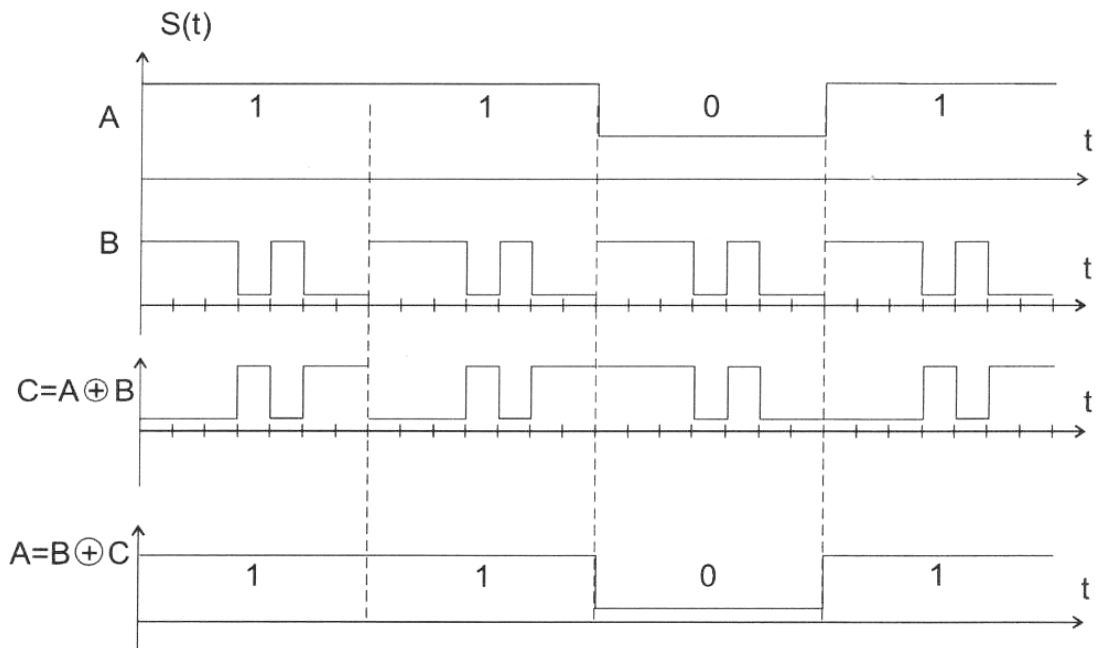


Рисунок 1.9 - Розширення спектру методом прямої послідовності:
 A – дані; B-M – послідовність; C – інформаційний сигнал з розширеним спектром



Рисунок 1.10 - Структурна схема передавача

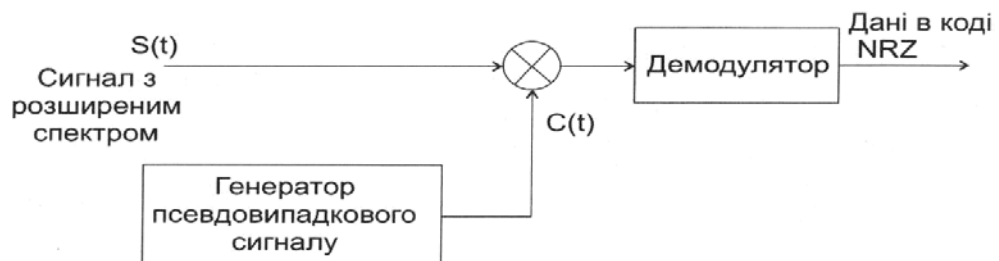


Рисунок 1.11 – Структурна схема приймача

Застосування широкосмугових сигналів (ШПС) з різними технологіями розширення спектру призводить до підвищення, як скритності, так і перешкодозахищеності каналів бездротових сегментів КСЗ. Однак повної теоретичної оцінки залежності скритності та перешкодозахисності систем зв'язку з ШПС від бази сигналу поки що немає.

Теоретичні основи широкосмугових комунікацій, заснованих на розширенні спектра радіосигналу, впливають з теореми Шеннона-Хартлі [6] про пропускну здатність ідеального каналу зв'язку, в якому єдиною причиною спотворень є білий гаусівський шум $P_{\text{ш}}$ та середня потужність сигналу $P_{\text{с}}$ обмежена

$$C = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right) \quad (1.13)$$

де W - ширина смуги частот каналу зв'язку Гц.

Модифікуємо відомий вираз (2.13) і перейдемо від двійкового до натурального логарифму

$$\frac{C}{W} = \log_2 \left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right) = \frac{\ln \left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)}{\ln 2} = 1,443 \cdot \ln \left(1 + \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right) \quad (1.14)$$

Застосовуючи розкладання в ряду натурального логарифму для функції виду $\ln(1 + x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^2}{3} - \frac{x^2}{4} + \dots + (-1)^{k+1} \cdot \frac{x^k}{k} + \dots$ отримуємо наступне

$$\frac{C}{W} = 1,443 \cdot \left[\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)^2 + \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)^3 - \dots \right] \quad (1.15)$$

Зважаючи на те, що однією з основних особливостей систем зв'язку з розширенням спектра є використання режиму роботи з низьким значенням відношення сигнал/шум, тобто. $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} \ll 1$. Тоді вираз (1.15) набуває вигляду

$$\frac{C}{W} = 1,443 \cdot \frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \quad (1.16)$$

Наближено можна вважати, що $C/W \approx P_C/P_{\text{ш}}$ або $P_C/P_{\text{ш}} \approx W/C$. Останнє співвідношення показує, що для передачі інформації без помилок по каналу зв'язку з низьким ставленням сигнал/шум необхідно значно розширювати смугу сигналу W (*Spread Spectrum*).

Існують кілька технологій розширення спектру [7], але основна ідея одна – істотне розширення спектра радіосигналу вище значення необхідного для передачі корисної інформації із заданою швидкістю, внаслідок чого енергія сигналу розподіляється в більшій смузі, а значить питома спектральна щільність потужності (*PSD*) сигналу дуже мала, що ускладнює виявлення таких сигналів і забезпечує високу скритність зв'язку.

Характеристикою розширення спектра радіосигналу є база сигналу B_C , що визначається виразом

$$B_C = W \cdot T = \frac{W}{R} \gg 1 \quad (1.17)$$

де W – смуга частот сигналу; $T = \tau_{\text{ел}}$ – тривалість інформаційного імпульсу (елемента, чіпа) сигналу; R – швидкість цифрового потоку.

Захищена система зв'язку крім скритності повинна також володіти високою стійкістю до перешкод, що безпосередньо пов'язано з використанням складних сигналів з розширенням спектра, оскільки ШСЗ є потужним інструментом нейтралізації перешкод [7].

Розглянемо дві основні моделі перешкод, починаючи з нагоди вузькосмугової перешкоди.

Даний тип перешкод найбільш характерний для ситуацій, коли деяка розташована в зоні розгортання бездротової ЦСПП радіотехнічна система або системи створюють перешкоди лише внаслідок свого нормального функціонування.

На рис. 1.12 у вигляді прямокутників представлені амплітудний спектр корисного сигналу $|S(f)|$ і спектральна густина потужності перешкоди $J(f)$ на тлі рівномірної спектральної густини потужності адитивного білого гаусівського шуму $N_0/2$ (АБГШ). Назвемо перешкоду вузькосмуговою, оскільки займана нею

смуга W_J менше смуги, що займає сигнал W , і є області, де спектр сигналу не схильний до спотворення перешкодою. Вузкосмугова перешкода такого виду, крім того, може бути визначена як частково-смугова, гармонійна і т.д. [7].

Припустимо, що аналізована бездротова ЦСП не вживає жодних спеціальних заходів для протидії перешкоді крім лише відповідного вибору сигналу і використовує для обробки сигналу в приймачі узгоджений фільтр (УФ). Тоді при прямокутному спектрі сигналу амплітудна функція передавальна фільтра рівномірна в смузі сигналу W і дорівнює нулю поза нею тобто. $|S(f)| = S$ у смузі W та $|S(f)| = 0$ поза нею.

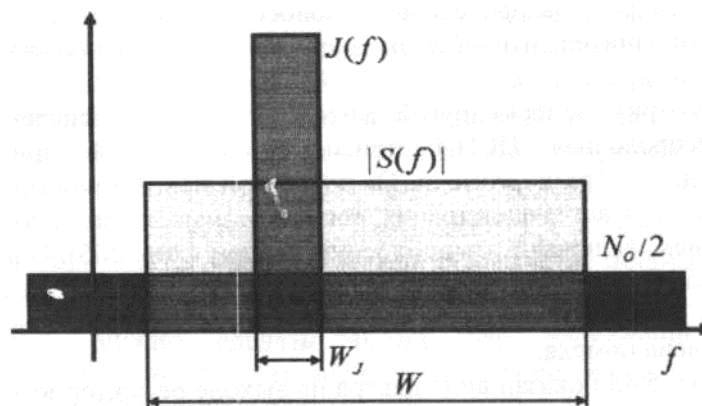


Рисунок 1.12 – Спектри широкосмугового сигналу, перешкоди та АГБШ

У цій схемі, перешкода, трактована як випадковий процес, проходить вихід узгодженого фільтра без зміни своєї потужності J , тоді як відфільтроване значення потужності шуму складе $N_o \cdot W$. З іншого боку, фільтр узгоджений з корисним сигналом і, отже, когерентно підсумовує всі гармонійні складові сигналу, забезпечуючи максимальне значення амплітуди на його виході

$A_{OUT} = \int_{-\infty}^{\infty} |S(f)| df = 2W \cdot S^2$, де враховано рівномірність спектра смуги сигналу W , а подвоєння обумовлено вкладом негативних частот.

Використовуючи наведені вище припущення та співвідношення, визначимо відносини потужностей сигналу та заважає $SINR_{IOUT}$ (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) на виході узгодженого фільтра

$$SINR_{IOUT} = \frac{(A_{OUT})^2}{J + N_o \cdot W} = \frac{4W^2 \cdot S^2}{J + N_o \cdot W} = \frac{2E}{N_o + \frac{J}{W}} \quad (1.18)$$

де $E = \int_{-\infty}^{\infty} |S(f)| df = 2W \cdot S^2$ - енергія сигналу, яка визначається за допомогою теореми Парсеваля [7].

З виразу (1.15) випливає, що, незважаючи на конкретне значення смуги перешкоди W_J , відношення $SINR_{IOUT}$ на виході узгодженого фільтра поводить ся так, якби потужність перешкоди була рівномірно розподілена у смузі W сигналу (не завади), утворюючи додатковий «білий шум» зі спектральною щільністю J/W .

Розглянемо тепер інший варіант побудови системи зв'язку, коли бездротова ЦСПІ пристосовує свій приймач до діючого зразка перешкод. Оптимальною процедурою обробки в цьому випадку вважається фільтрація, узгоджена з повним впливом, що заважає, включаючи і вузькосмугову перешкоду [6, 7]. Однак якщо перешкода значно перевершує фоновий шум (АБГШ), то подібна обробка еквівалентна вирізу частотного інтервалу, в якому зосереджена перешкода.

На рис. 1.13 показаний вид спектру на виході режекторного фільтра (РЖФ). Спостерігається повна відсутність перешкод, але при цьому також вирізуються частотні компоненти корисного сигналу в межах смуги перешкоди, так само як і шуму.

Модель спектра сигналу на рисунку 1.13 можна трактувати, як зразок, в якому вихідний сигнал займає лише частину смуги W , вільну від перешкод, і має енергію, що дорівнює $E(1 - W_J/W)$.

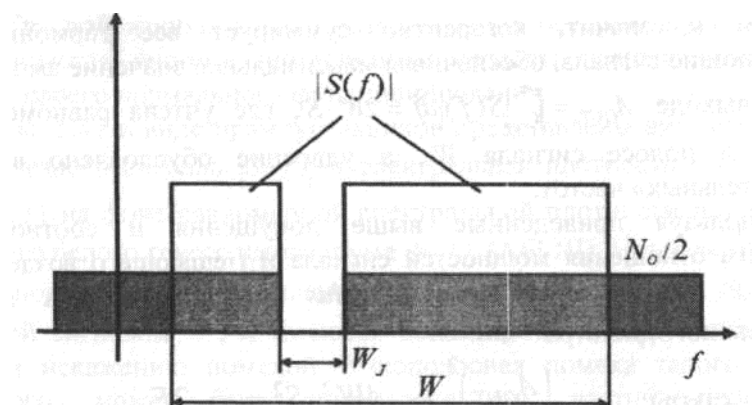


Рисунок 1.13 – Модель спектра сигналу на виході фільтра режектора

Тоді узгоджений фільтр, очищаючи цей залишковий сигнал від АБГШ, забезпечує вихідне відношення потужностей сигналу та шуму у вигляді

$$SINR_{J\ OUT} = \frac{2E(1-W_J/W)}{N_0} = SNR \cdot (1 - W_J/W) \quad (1.19)$$

де SNR – відношення потужностей сигналу та шуму на виході узгодженого фільтра без перешкоди.

З аналізу співвідношень (1.18) і (1.19), можна помітити, що вони свідчать про переваги широкосмугових сигналів з точки зору протистояння впливу перешкод. Дійсно, чим ширша смуга сигналу W у порівнянні зі смугою перешкоди w_J тим менша додаткова спектральна щільність у першому випадку і енергетичні втрати - у другому (за сталості потужності перешкоди J), і отже, більше відношення $SINR_{IOUT}$ і $SINR_{JOUT}$.

Звідси можна дійти невтішного висновку, що досягнення високої перешкодостійкості стосовно вузькосмугової перешкоди (не вдаючись до збільшення енергії сигналу чи пікової потужності) можливо максимально розширюючи спектр сигналу незалежно від його тривалості.

Як було показано раніше порушник, що знаходиться в зоні роботи бездротової ЦСПІ може порушувати її нормальну роботу, впливаючи на канал зв'язку постановником перешкод. При цьому може створюватися не тільки вузькосмугова перешкода, але й так звана загороджувальна перешкода, спектр якої покриває весь спектр сигналу без проміжку (див. рис. 1.14).

Загороджувальна перешкода впливає на сигнал як додатковий АБГШ із спектральною щільністю потужності, що дорівнює $N_j=J/W$.

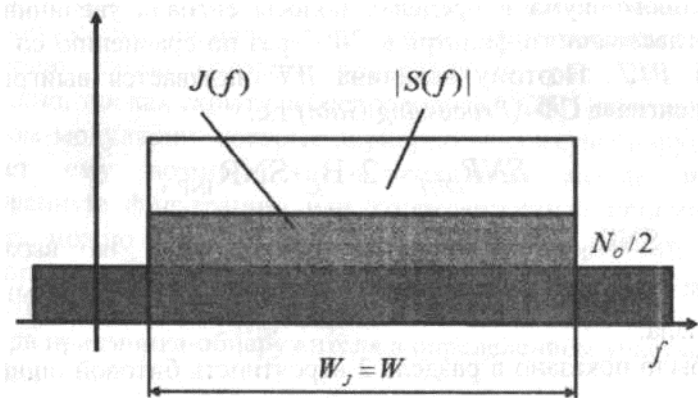


Рисунок 1.14 – Спектр сигналу, загороджувальної перешкоди та АБГШ

Тому відношення SNR_J по потужності на виході узгодженого фільтра системи зв'язку в цьому випадку визначатиметься як

$$SNR_J = \frac{2E}{N_0 + N_J} = \frac{2E}{N_0 + \frac{J}{W}} \quad (1.17)$$

Як видно, отриманий вираз повністю збігається з $SINR_I$ (1.18).

Для того, щоб забезпечити постановником перешкод значно більший ефект придушення порівняно з білим шумом, необхідно, щоб виконувалося співвідношення $J/W \gg N_0$.

Тоді вираз (1.17) трансформується у наступне співвідношення

$$SNR_J = \frac{2E}{\frac{J}{W}} = \frac{2E \cdot W}{J} = \frac{2P \cdot (WT)}{J} = \frac{2P \cdot B_C}{J} \quad (1.18)$$

З (1.18) видно, що з накладення обмежень, як у пікову потужність корисного сигналу, і ресурс потужності постановника перешкод, єдиним способом підвищення імунітету бездротової ЦСП до загороджувальної перешкоди є застосування сигналів з великою базою. Крім того, відношення потужностей сигналу та рівномірного шуму в межах смуги сигналу збільшується на виході узгодженого фільтра у $2WT$ разів у порівнянні з вхідним значенням P/J . Тому величина WT називається виграшем від обробки сигналу СФ (Processing Gain) тобто.

$$SNR_{OUT} = 2 \cdot B_C \cdot SNR_{INP} \quad (1.19)$$

де SNR_{INP} – відношення сигнал/перешкода на виході СФ приймача; SNR_{INP} - відношення сигнал/шум на вході приймача; B_C - база сигналу.

Як було показано в розділі 2 ймовірність бітової помилки P_b у каналі передачі бездротової ЦСПІ з модуляцією $BPSK$ та когерентним виявленням (без канального кодування) визначається виразом

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \right) \quad (1.20)$$

За наявності каналу зв'язку бездротової ЦСПІ загороджувальної перешкоди спектральна щільність потужності шумів на вході легітимного приймача збільшується з N_0 до $N_0 + N_J$ і тоді ймовірність бітової помилки P_b у каналі передачі бездротової ЦСПІ з модуляцією $BPSK$ і когерентним виявленням за наявності широкопasmового шуму дорівнює

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + N_J}} \right) = Q \left[\sqrt{\frac{2E_b/N_0}{1 + (E_b/N_0) \cdot (J/S) \cdot B_C}} \right] \quad (1.21)$$

На рис. 1.12 та рис. 1.13 наведено залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал/шум E_b/N_0 при заданому значенні J/S та різних значеннях бази B_C ШПС.

Отримані чисельні результати показують, що розширення спектра сигналу є ефективним засобом боротьби із загороджувальною перешкодою для забезпечення необхідної якості передачі інформації в легітимному каналі зв'язку.

1.4 Висновки до розділу

На основі аналізу критеріїв оцінки захищеності корпоративних систем зв'язку з відвідним каналом запропоновано використати як критерій захищеності відомчі системи зв'язку ймовірність бітової (BER) і пакетної похибок (PER), які виникають в легітимному та відвідному каналах ВСЗ. Запропоновано підхід до оцінки захищеності відомчих систем зв'язку з відвідним каналом на основі їх

матричного опису. Такий підхід дає можливість розглядати завадозахищеність та скритність сучасних систем з єдиних позицій.

У процесі проведеного аналізу показано, що розширення спектра сигналу є ефективним засобом боротьби із загороджувальною перешкодою для забезпечення необхідної якості передачі інформації в легітимному каналі зв'язку.

2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЦСПІ

2.1 Підвищення продуктивності радіоканалів ЦСПІ при розповсюдженні радіохвиль в хвильових каналах архітектурних споруд

Одним із можливих застосувань бездротових мереж рівня LAN усередині приміщень є побудова освітніх інформаційних мереж в університетах. Оцінимо потенційну продуктивність і захищеність таких мереж на прикладі бездротової мережі, що створюється в закритих приміщеннях.

Елементами цієї розгалуженої структури є базові станції (ТД - точки доступу) розташовані в різних громадських місцях та абонентські станції, якими можуть виступати ноутбуки з модулями Wi-Fi, малогабаритні комп'ютери PDA та інші мобільні пристрої, які мають бездротовий інтерфейс. Точки доступу з'єднуються кабелем із центральним комутатором, який забезпечує інтеграцію численних ТД у єдину систему, моніторинг за станом мережі та керування обліковими записами абонентів.

Дальність роботи однієї ТД становить близько 100 м, що дозволяє кількома базовими станціями покрити значну площу університету та забезпечити доступ до інформаційних ресурсів студентам та співробітникам у різних місцях: конференц-залі, близько деканатів, читальній залі тощо. Структура дослідного сегменту бездротової мережі наведена на рис. 2.1.

У бездротовій мережі застосовані також мережеві відеокамери з бездротовим інтерфейсом Wi-Fi для доступу до унікальних лабораторних установок. Для підвищення надійності доступу до мережі Інтернет розроблений сегмент бездротового доступу має два незалежні зовнішні швидкісні канали зв'язку:

- бездротовий канал доступу по радіотехнології «WiMAX»,
- оптоволоконний канал доступу до Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі URAN (Ukrainian Research Academic Network).

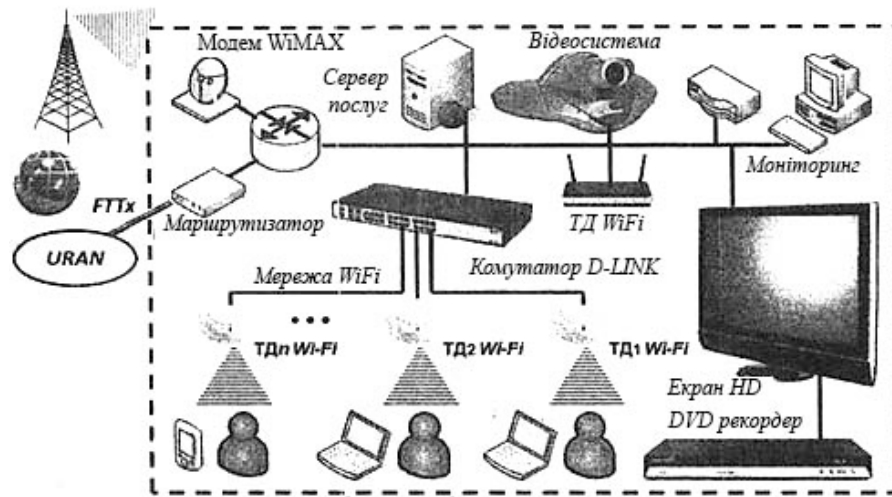


Рисунок 2.1 – Структура дослідного сегменту бездротової мережі

У бездротовій мережі застосовані також мережеві відеорежими з бездротовим інтерфейсом Wi-Fi для доступу до унікальних лабораторних установок. Для підвищення надійності доступу до мережі Інтернет розроблений сегмент бездротового доступу має два незалежні зовнішні швидкісні канали зв'язку:

- бездротовий канал доступу по радіотехнології «WiMAX»,
- оптоволоконний канал доступу до Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі URAN (Ukrainian Research Academic Network).

При побудові бездротової мережі використовувалося обладнання фірми D-Link [7]: багатофункціональний комутатор DES-1228P та бездротові точки доступу DWL-3140AP, що підключаються до нього (див. рис. 2.2). Цей комутатор дозволяє підключати до 24 точок доступу з можливістю одночасного обслуговування до 200 бездротових абонентів. Точки доступу, що використовуються, підтримують живлення за стандартом PoE (Power over Ethernet), що значно спрощує процес побудови мережі, завдяки можливості віддаленого живлення точок доступу від бездротового комутатора.

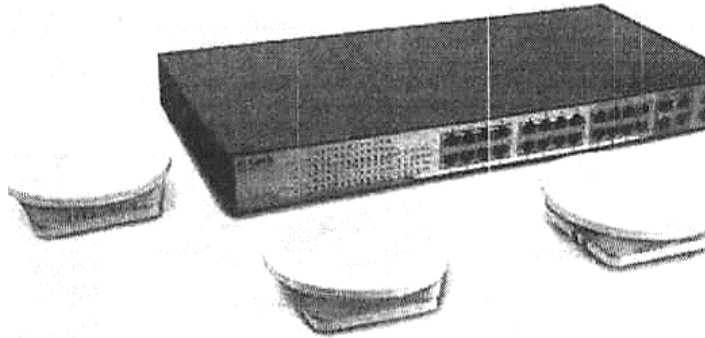


Рисунок 2.2 – Багатофункціональний комутатор DES-1228P та бездротові точки доступу DWL-3140AP

Пристрій D-Link DWL-3140AP є високопродуктивною бездротовою точкою доступу технології Wi-Fi, яка підтримує можливість роботи з абонентськими пристроями стандартів IEEE 802.11b та IEEE 802.11g. Чутливість приймача бездротового пристрою визначає можливі швидкості передачі в каналі зв'язку. Для DWL-3140AP при рівні потужності вхідного сигналу -68 дБм досягається максимальна швидкість передачі інформації 54 Мбіт/с.

Існує велика кількість різних умов поширення радіохвиль при розгортанні мережі бездротового доступу в будинках університету (розгалужені довгі коридори, маленькі та великі аудиторії). Оскільки основним місцем отримання інформації для студентів є читальна зала, розглянемо особливості розміщеної в ньому елементів бездротової мережі та проаналізуємо її продуктивність.

Точка доступу в читальній залі була розміщена таким чином, щоб кришки ноутбуків користувачів, в яких розміщені антени, були спрямовані на точку доступу, як показано на рис. 2.3.

Довжина кабелю, за допомогою якого базова станція була підключена до сервера D-Link DES-1228P, становила 120 метрів, що на 20 метрів більше за максимально допустиме значення за паспортними даними. Але це жодним чином не вплинуло на працездатність та ефективність роботи точки доступу.

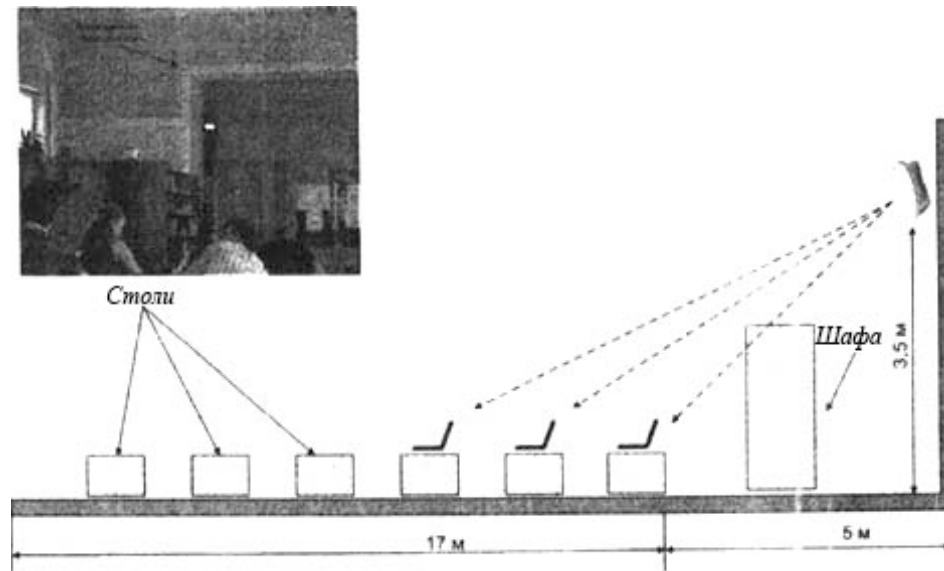


Рисунок 2.3 - Схема розміщення робочих місць та базової станції в великому читальному залі університету

Отримані експериментальні дані наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1- Експериментальні дані вимірювань рівнів RSSI

RSS7 по робочих столах читального залу, дБм												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	И	12	13
-58	-63	-56	-54	-55	-57	-56	-57	-58	-48	-52	-53	-53
-59	-57	-54	-57	-56	-59	-55	-60	-53	-48	-49	-50	-54
-61	-55	-56	-54	-56	-59	-59	-53	-56	-54	-50	-56	-55
-60	-63	-60	-56	-59	-59	-60	-58	-57	-55	-59	-54	-53
-58	-60	-62	-61	-58	-57	-56	-56	-55	-55	-54	-49	-50
-60	-62	-59	-57	-60	-58	-56	-56	-55	-51	-51	-48	-45
-58	-61	-57	-61	-52	-54	-55	-58	-52	-53	-52	-51	-51

Для наочного уявлення результатів створена графічна інтерпретація отриманих результатів, відображена на рис. 2.4.

Як видно із рис. 2.4, мінімальне значення рівня сигналу, що приймається, дорівнює у всіх вимірних точках становить $RSS_{MIN} = -62$ дБм, що забезпечує максимальну швидкість передачі інформації в каналі зв'язку. Отже, можна стверджувати, що створена зона покриття здатна використовувати ресурси бездротової мережі на максимальному рівні.

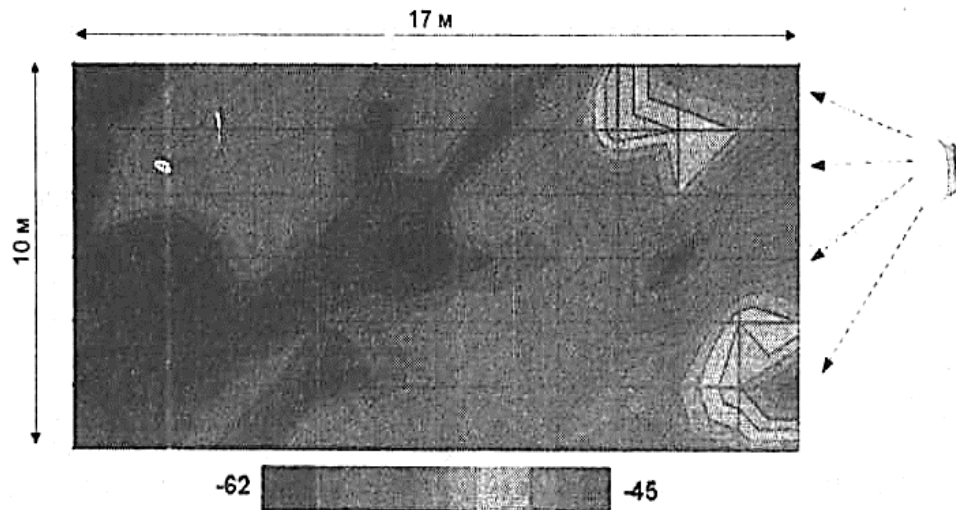
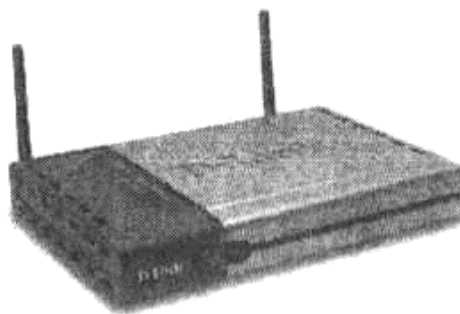


Рисунок 2.4 – Графічне відображення створеної зони покриття

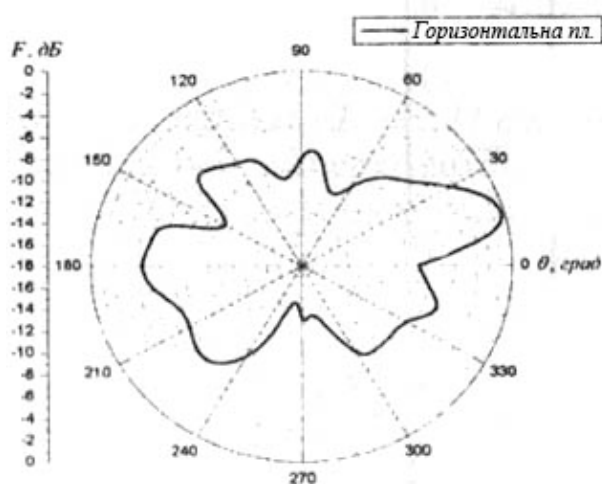
При проектуванні бездротової мережі важливим етапом є достовірне прогнозування згасань у радіоканалах, що сприяє правильному частотно-територіальному плануванню бездротової мережі за заданою продуктивністю.

Розглянемо можливість застосування запропонованих моделей РРВ для прогнозування продуктивності мережі рівня LAN усередині будівлі. Для цього проведемо розрахунок та експериментальні дослідження згасання сигналу в одному з коридорів головного корпусу, використовуючи апаратуру фірми D-Link. Спочатку розглядалася радіолінія з ТД D-Link 1000 AP+, до складу якої входили дві слабоспрямовані антени (рис. 2.5 а). На рис. 2.5,б наведено ДН цієї точки доступу.

Неважко дійти висновку, що спостерігається хороший збіг експериментальних даних і розрахунків. Видно, що вздовж лінії сигнал значно згасає, продуктивність радіоканалу падає за рахунок розбіжності променя та перегороджень, і рівня -70 дБ наприкінці коридору стає недостатньо для стабільної передачі, особливо у присутності людей. Одним із відомих шляхів компенсації втрат є застосування спрямованих антен у каналі зв'язку.



а)



б)

Рисунок 2.5 – Бездротова точка доступу D-Link DWL-1000 AP+:

а) зовнішній вигляд; б) діаграма спрямованості

Приклади слабоспрямованих та спрямованих антен, пропонувані виробниками Wi-Fi обладнання, наведено на рис. 2.6.

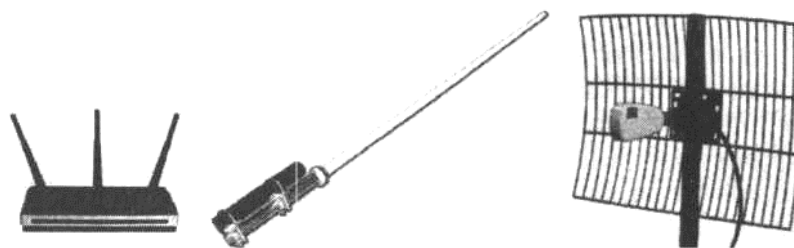


Рисунок 2.6 – Бездротове обладнання стандарту IEEE 802.11

фірми D-Link, що використовувалося при проведенні експериментів:

а) ТД DAP-1353; б) антена ANT24-1500; в) антена «California»

На рис. 2.7,а б показані експериментальні ДН ненаправленої антени триканальної точки доступу D-Link DAP-1353 (рис. 2.6,а). Рис. 2.7, а відповідає випадку, коли всі три вібратора ТД співвісні, а рис. 3.7,б - коли вібратори розташовані так, як орти декартової системи координат. І в тому, і в іншому випадку ДН антени близька до кругової, тобто. спрямовані характеристики ТД практично залежить від взаємного розташування вібраторів.

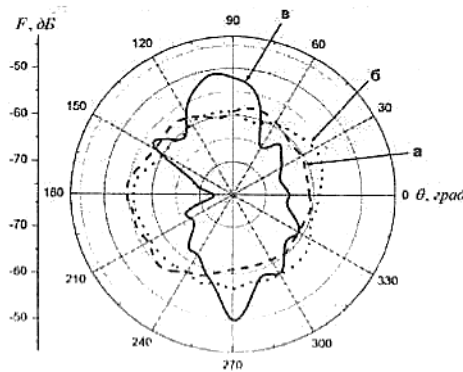


Рисунок 2.7 – ДН ТД D-Link DAP-1353 та антени ANT24-1500

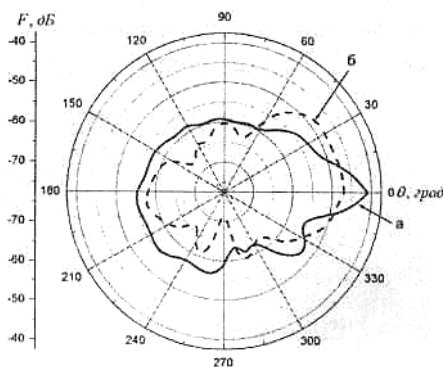


Рисунок 2.8 – ДН антени біквадрат та антени «California»

Рівень сигналу в радіоканалі Wi-Fi можна збільшити за рахунок застосування спрямованих антен, що відомо з їхньої загальної теорії.

При виборі типу випромінювача для AP було розглянуто декілька модифікацій антени біквадрат. За допомогою пакету прикладних програм «HFSS», проведено розрахунок та моделювання параметрів антени біквадрат включеної паралельно і послідовно з одним та двома випромінювачами.

На рис. 2.9 наведено варіант антени біквдрат із двома точками живлення (ТП), що розташовані в центрі. діаграма спрямованості цієї антени представлена на рис. 2.10.

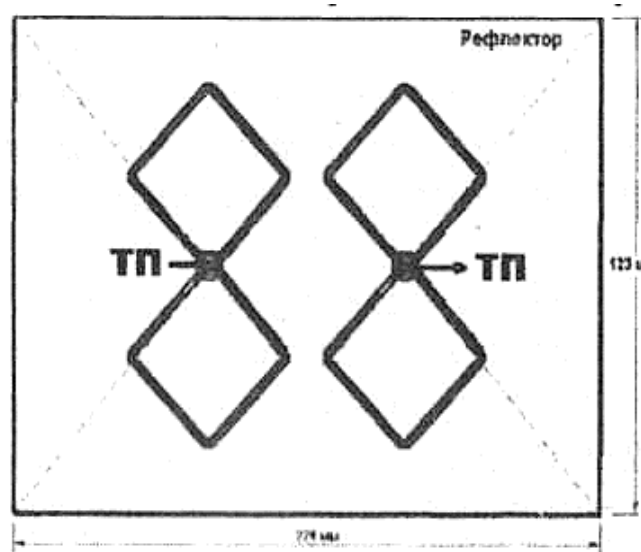


Рисунок 2.9 – Антена біквдрат із двома точками живлення в центрі

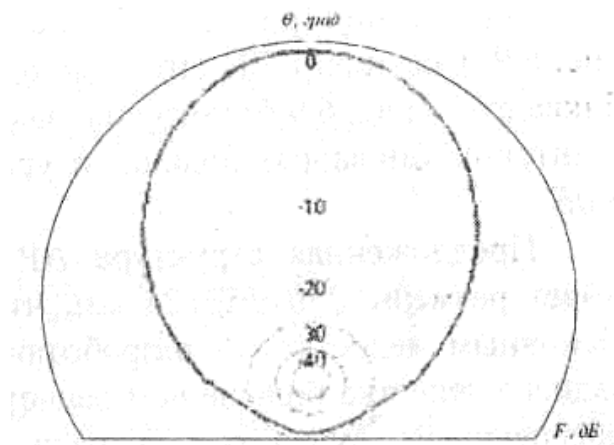


Рисунок 2.10 – Діаграма спрямованості антени біквдрат

Моделювання та розрахунок антени були в діапазоні частот від 2,399 ГГц до 2,484 ГГц. Вважалося, що рефлектор антени виконаний з мідної пластини товщиною 1,5 мм, а випромінювач - мідної пластини шириною 5 мм і товщиною 1 мм. Були розраховані діаграми спрямованості у горизонтальній та вертикальній площинах на трьох частотах – 2,403 ГГц, 2,484 ГГц, 2,434 ГГц. Також зроблено обчислення параметрів антени з різними відстанями між випромінювачем та рефлектором - 14, 16, 18 мм. Розраховані матриці S, Y, Z та вхідний опір.

Отримано такі дані: вхідний опір - 54 Ом, ширина діаграми спрямованості за рівнем половинної потужності - 49° , рівень задньої пелюстки -8,5 дБ.

На рис. 2.11 наведено результати експериментально знятих діаграм спрямованостей АР.

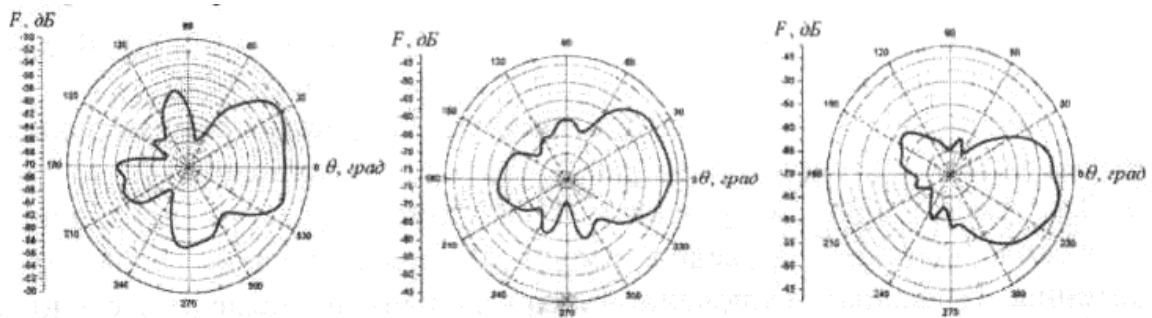


Рисунок 2.11 - Діаграми спрямованості при розвороті антен:

а) на 0 градусів; б) на 90 градусів; в) на 180 градусів

Запропонована структура АР на основі біквдратної антени має розміри $250*150*25$ мм, що набагато менше, ніж у аналогів. Основним недоліком розробленого АР є те, що рівень задньої пелюстки більший ніж розрахунковий. Незважаючи на це ретранслятор забезпечує рівень сигналу, що задовольняє вимогам організації Wi-Fi мережі в коридорах, на відстані до 50 м. Розроблений мобільний активний ретранслятор з механізмом повороту антен дозволяє забезпечити: зв'язок у важкодоступних місцях, швидку тимчасову заміну радіоканалу, що вийшов з ладу, збільшити дальність роботи каналу зв'язку. Не збіг результатів експериментальних та розрахункових даних усувається шляхом збільшення розмірів рефлектора. Експериментально встановлено, що зі збільшенням розмірів рефлектора з $250*150$ до $350*250$ мм рівень задньої пелюстки вдається знизити на 7 дБ.

На рис. 2.12 зображено залежності S/N від відстані, виміряну (криву 1) та розраховану (криву 2) при розташуванні точки доступу в центрі приміщення.

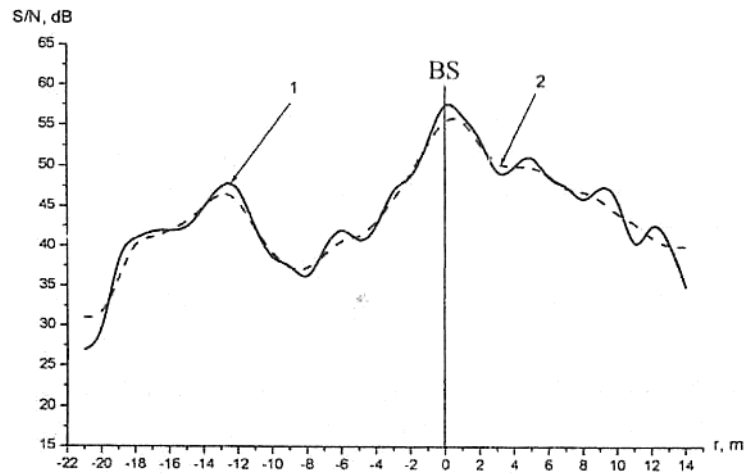


Рисунок 2.12 – Залежність S/N від відстані

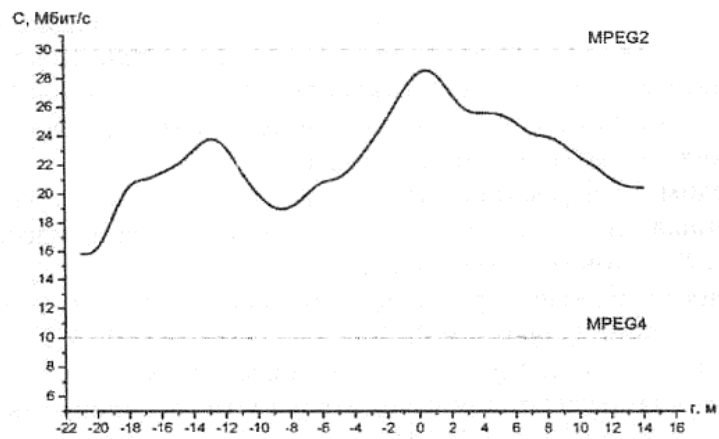


Рисунок 2.13 – Швидкість передачі інформації

Гарний збіг розрахункових та експериментальних даних дає право рекомендувати описану вище модель для розрахунку швидкості передачі інформації у бездротових ЦСПД рівня LAN. Результати таких розрахунків для випадку коридору наведено на рис. 2.13. Тут же вказані прямими лініями, що рекомендуються стандартами MPEG2 і MPEG4 швидкості передачі відеоінформації.

З наведених розрахунків можна зробити висновки, що Wi-Fi коридорні радіоканали без впливу перешкод придатні передачі відеоінформації на досить великі відстані.

2.2 Аналіз методів оцінювання продуктивності безпроводних мереж

При проектуванні захищених цифрових систем передачі інформації існують різні обмеження, що впливають на кінцеві показники якості системи зв'язку: теоретичні; технічні; технологічні; організаційні; техніко-економічні тощо. Комплексний розгляд цих обмежень дозволяє виявити як певні рішення конкретної системи, а й прогнозувати розвиток технологій і напрямів, якими розвиватимуться перспективні системи зв'язку.

Як було показано раніше захищеність ЦСПІ безпосередньо пов'язана з пропускною здатністю каналу зв'язку, що характеризує її продуктивність при передачі мультимедійної інформації.

При розробці ЦСПІ з високою продуктивністю особливо важливо виявити та проаналізувати ті теоретичні обмеження, які впливають на досягнення максимальної пропускної спроможності каналу зв'язку на основі кабельних ліній зв'язку.

Однією з важливих завдань, які вирішуються під час проектування - це правильний вибір лінійних сигналів. При виборі виду сигналу для реальних систем необхідно враховувати особливості повідомлень, що передаються, специфіку роботи системи передачі, технічні обмеження на деякі її параметри і характеристики.

Дослідженням проблеми завдання форми сигналів для мінімізації міжсимвольної інтерференції займався Найквіст, який показав, що якщо передатна функція каналу $K(f)$ матиме прямокутну форму, а кожен імпульс прийнятої послідовності має вигляд $h(t) = \text{sinc}(t/T)$, то імпульси з періодом T детектуватимуться без МСІ [8].

Для систем передачі КЛІЗ головним завданням є максимальне звуження необхідної смуги. Найквіст визначив основні обмеження такого звуження смуги. Для того, щоб система могла детектувати $1/T$ символів за секунду без МСІ, ширина має бути $\Delta f_0 = \frac{1}{2 \cdot T} = \frac{R}{2}$ Гц. При цьому символна швидкість R по каналом зв'язку

$$R \leq 2 \cdot \Delta F_0 \quad (2.1)$$

Ця межа Найквіста можна розглядати як правило, згідно з яким на один герц смуги частот можна передати максимум два символи.

Клас імпульсів Найквіста - це множина імпульсів, форма яких може бути описана функцією $\text{sinc}(t/T)$, помноженою на іншу тимчасову функцію. Найбільш популярними є сигнали з характеристикою типу піднесеного косинуса або кореня з піднесеного косинуса. Незважаючи на близькі характеристики саме імпульс типу піднесеного косинуса дає нульову МСІ під час взяття вибірок сигналу моменти часу $T, 2T, 3T \dots n \cdot T$.

Хоча компактний спектр дозволяє оптимальним чином використовувати смугу пропускання, він виявляється дуже чутливим до помилок синхронізації, що призводить до збільшення МСІ. Тому величина оптимального значення коефіцієнта згладжування визначається компромісом між частотною та енергетичною ефективністю та лежить у межах $r = 0,35 \div 0,5$.

Висновок: критерій Найквіста вводить обмеження на швидкість передачі символів в секунду для даної смуги пропускання. Наприклад: у телефонії використовується смуга пропускання 3 кГц. У цьому випадку максимально досяжна швидкість передачі становитиме 6000 символів за секунду (або Бод).

Одним із головних напрямів збільшення пропускнуої спроможності каналу зв'язку є застосування багаторівневих лінійних сигналів і для цього випадку максимальна швидкість передачі визначається іншою теоремою Найквіста [272]:

$$R_{MAX} = 2 \cdot \Delta f_C \cdot \log_2 M = \frac{\log_2 M}{\tau_i} \quad (2.2)$$

де Δf_C – ширина смуги частот Гц;

τ_i – тривалість інформаційного символу;

M – кількість рівнів у переданому сигналі.

Збільшення кількості рівнів сигналу (розширення обсягу алфавіту) M призводить до підвищення пропускної спроможності каналу (рис. 2.14), проте при цьому суттєво зростає складність технічної реалізації як передавача, так і приймача багаторівневого сигналу.

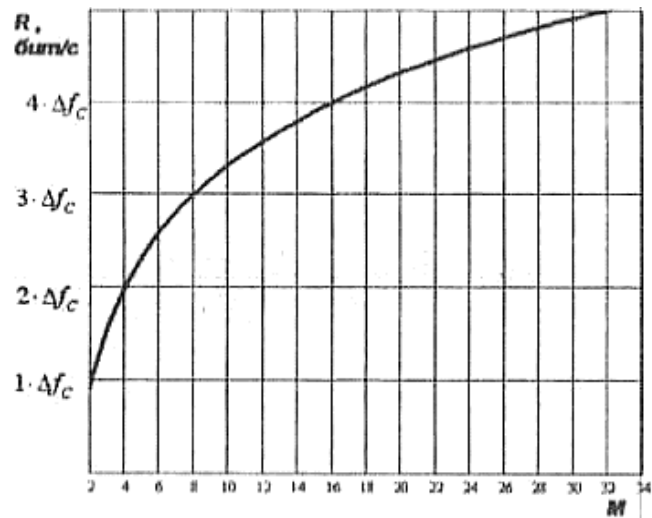


Рисунок 2.14 – Залежність пропускної спроможності каналу зв'язку від кількості рівнів сигналу M

Теорема Найквіста про граничну пропускну здатність не враховує наявність шуму в каналі зв'язку.

Пропускна здатність ідеального каналу зв'язку (каналу, в якому єдиною причиною спотворень є гаусівський білий шум $P_{ш}$) з сигналами, у яких обмежена тільки середня потужність P_C визначається виразом Шеннона-Хартлі [9]

$$C = \Delta f_c \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_C}{P_{ш}} \right) \text{ [біт/с]} \quad (2.3)$$

Важливо звернути увагу на особливість цієї відомої формули Шеннона, пов'язану з інформаційною характеристикою каналу зв'язку. Якщо каналі зв'язку відсутня шуми (перешкоди) то

$$\lim_{P_{ш} \rightarrow 0} C \rightarrow \infty \text{ [біт/с]} \quad (2.4)$$

Тобто. за час 1 с через канал можна передати будь-яку кількість інформації. Насправді ж швидкість передачі інформації має кінцеву межу саме через наявність шумів у каналі зв'язку.

Далі розглянемо теоретичні обмеження пропускної спроможності провідного каналу зв'язку на основі кабельних ліній зв'язку (КЛЗ) при використанні багаторівневих видів модуляції, що застосовуються в різних технологіях xDSL.

Для моделювання передавальної характеристики $|K_{КЛЗ}(f,L)|$ кабельного каналу зв'язку, що є функцією частоти f і довжини лінії L , скористаємося відомим виразом з рекомендацій *ETSI* [8]

$$|K_{КЛЗ}(f,L)| = e^{-k_p \cdot L \cdot \sqrt{f}} \quad (2.5)$$

де f – частота сигналу [Гц];

L – довжина кабельної лінії зв'язку [км];

k_p – коефіцієнт, що залежить від конструкції та діаметра жили d кабелю.

У таблиці 2.2 наведено значення конструктивного коефіцієнта для різних типів кабелю.

На рис. 2.15, 2.16 наведено частотні характеристики каналу зв'язку для різних типів кабелів та гранична пропускна здатність каналу зв'язку порівняно з вимогами швидкості передачі мультимедійної інформації.

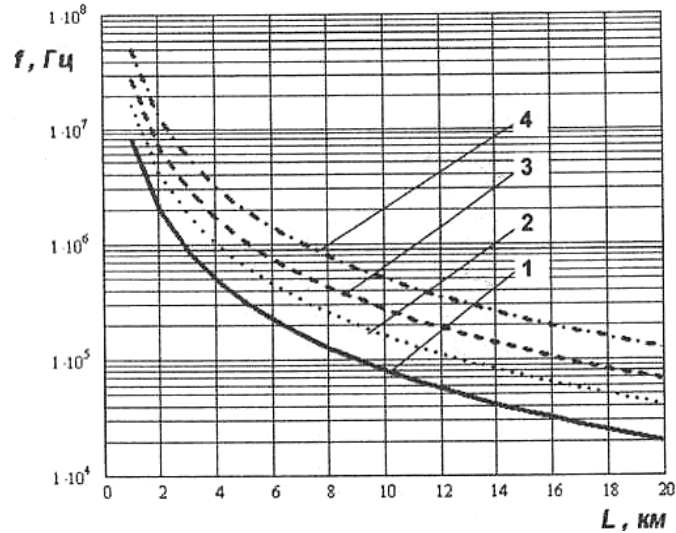
Таблиця 2.2 - Розмір коефіцієнта k_p для різних типів КЛЗ

Тип кабеля	Позначення кабеля (AWG)	Діаметр жили в d , мм	Параметр
<i>PE-04</i>	26	0.4	0.0213
<i>PE-05</i>	24	0.5	0.0150
<i>PE-06</i>	22	0.6	0.0116
<i>PE-09</i>	19	0.9	0.0085

Як показує наведені вище зіставлення, гранична пропускна здатність каналу на основі однієї кабельної лінії не забезпечує передачі якісної мультимедійної

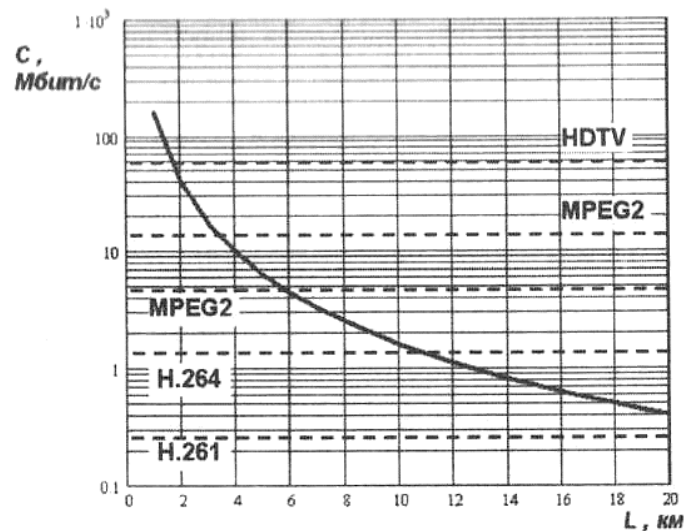
інформації на відстані необхідні для розгортання відомчих мереж зв'язку (5 - 10 км).

Тому доцільно перейти до використання кількох пар дротів задля забезпечення заданих вимог.



Рисунку 2.15 – Залежність граничної смуги пропускання від довжини лінії зв'язку L для різних типів кабелів

(1 - $d = 0,4$ мм, 2 - $d = 0,5$ мм, 3 - $d = 0,6$ мм, 4 - $d = 0,9$ мм)



Рисунку 2.16 – Зіставлення залежності граничної пропускної здібності каналу зв'язку на основі кабелю ТПП-0,5 від довжини лінії зв'язку L та необхідної смуги пропускання для стандартів передачі відеоінформації

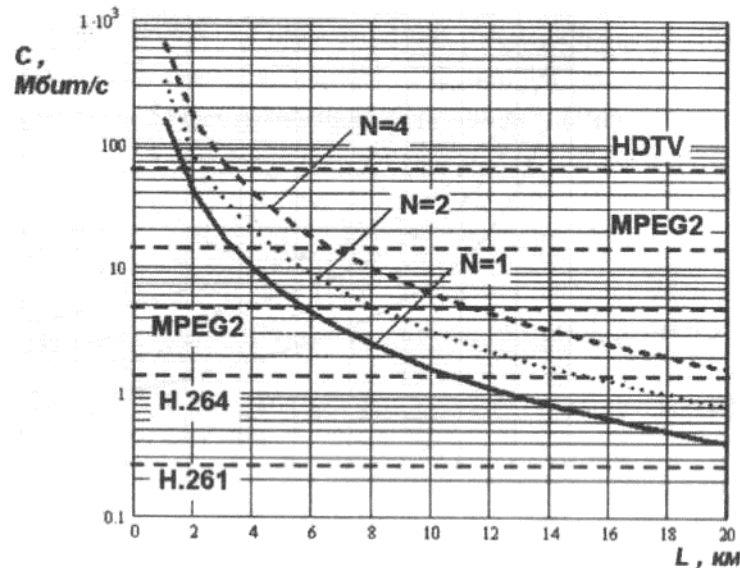


Рисунок 2.17 – Зіставлення залежності граничної пропускної можливості каналу зв'язку N -канальної системи передачі (кабель ТПП-0,5) та необхідної смуги пропускання для стандартів передачі відеоінформації

При цьому гранична пропускна здатність C_{MCC} такої багатоканальної системи зв'язку (МСС) без урахування перехресних перешкод і при однакових параметрах пар КЛЗ дорівнюватиме сумі пропускних здібностей всіх N окремих каналів [9]:

$$C_{MCC} = \sum_{i=1}^N C_i = N \cdot C = N \cdot \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right) \text{ [біт/с]} \quad (2.6)$$

де N – кількість каналів багатоканальної системи зв'язку.

На рис. 2.17 наведено залежності пропускної спроможності багатоканальної системи зв'язку від довжини КЛЗ та від кількості пар проводів N .

У розглянутій вище базовій формулі Шеннона (2.3) відношення сигнал/шум SNR не залежить від частоти. Однак при передачі сигналів по реальних КЛЗ сигнал, так і шум залежать від частоти. Тому за розрахунках доцільно перейти до частотно-залежної версії формули Шеннона [9].

2.3 Висновки до розділу

Проведено аналіз роботи окремого стільника бездротової мережі передачі даних, що функціонує під управлінням централізованої версії протоколу Radio-Ethernet, що об'єднує декілька локальних кабельних мереж та забезпечує їм доступ до глобальної світової мережі. В розділі проаналізовано методи підвищення продуктивності радіоканалів ЦСП.

3 ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ

3.1 Оцінювання граничної швидкості передавання сигналів у системах зв'язку

Оцінку граничних значень швидкості передачі в системах зв'язку на основі симетричних xDSL технологій проведемо з урахуванням характеристик захищеності цих технологій.

Як видно з малюнків 3.1, 3.2 максимальна спектральна щільність потужності передачі становить $S_{SHDSL} = -40$ дБм/Гц і спектри сигналів сучасних симетричних xDSL технологій (*HDSL*, *SHDSL*, *G.SHDSL*) не мають явно вираженого енергетичного максимуму і тому критичним важливим є мінімальне значення частотної характеристики захищеності у смузі прийому:

$$\Delta SNR_{DSL} = \min_{\Delta f} [SNR_{SHDSL}(f) - SNR_{MIN}], \text{ [дБ]} \quad (3.1)$$

Працездатність системи передачі буде забезпечена при виконанні умови $\Delta SNR_{DSL} \geq 0$. При цьому необхідна захищеність SNR_{MIN} складається із захищеності ідеального приймача $SNR_{MAR} = 10 \lg(2^M - 1)(margin)$ [9], яка залежить від кратності модуляції лінійного сигналу M , та запасу SNR_{GAP}

Таблиця 3.1 – Параметри симетричних xDSL технологій

Тип технології		Швидкість передачі R , $Kbit/c$	Кількість рівнів сигналу M	Порядок фільтра N	Символьна швидкість f_{SYM} , $Ksim/c$	f_{3dB}
Технологія	Код					
<i>SHDSL</i>	<i>TC-PAM-16</i> (G.991.2)	192-2312	16	6	$(R + 8)/3$	$1.0 \times f_{SYM} / 2$
	<i>TC-PAM-16</i> (G.991.2)	2320-3840	16	6	$(R + 8)/3$	$1.0 \times f_{SYM} / 2$
	<i>TC-PAM-32</i> (G.991.2)	768-5696	32	6	$(R + 8)/4$	$1.0 \times f_{SYM} / 2$

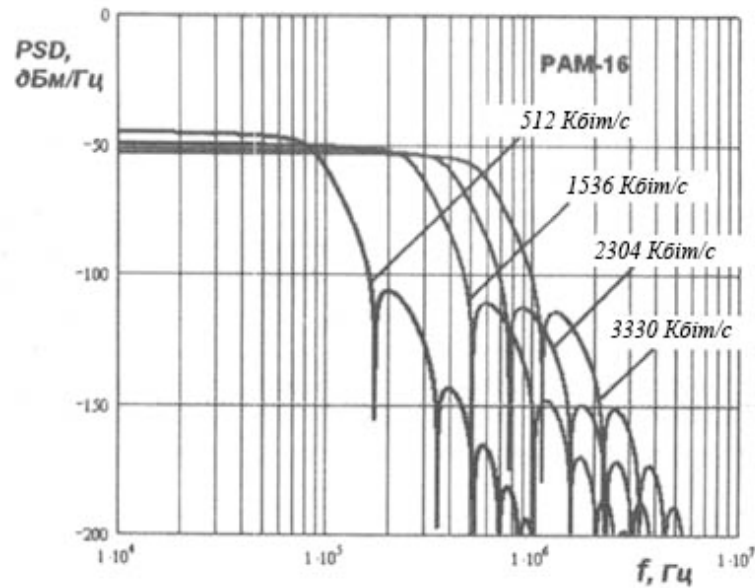


Рисунок 3.1 – Спектральні характеристики SHDSL технології для кодування ТС-РАМ-16 за різної швидкості передачі інформації

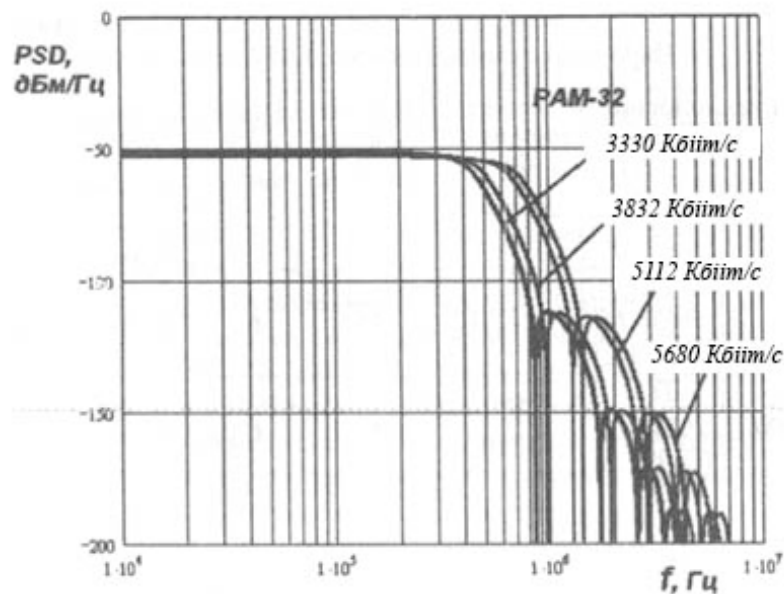


Рисунок 3.2 – Спектральні характеристики SHDSL технології для кодування ТС-РАМ-32 за різної швидкості передачі інформації

Потрібно зауважити, що рекомендована величина запасу неідеальності приймача $SNR_{GAP} = 9,8$ дБ [10], що забезпечує ймовірність бітової помилки $BER=10^{-7}$, довгий час не змінюється, що з одного боку говорить про досить високий рівень, досягнутий лінійними інтерфейсами провідних систем зв'язку, а з

іншого - про деяку технологічну межу мікросхемотехніки приймачів-передавачів для xDSL технологій.

Виходячи з наведених вище запасів залежність відношення сигнал/шум в дБ від частоти в каналі зв'язку на основі симетричних xDSL технологіями може бути визначена з виразу

$$SNR_{SHDSL}(f) = SNR_{SHDSL} + 20\log(|K(f, L)|) - SNR_{MAR} - SNR_{GAR} - N_{AWGN}, \text{ [дБ]} \quad (3.2)$$

$$SNR_{SHDSL}(f) = (-40) + 20\log(|K(f, L)|) - SNR_{MAR} - (9,8) - (-140), \text{ [дБ]}$$

де $SNR_{MAR1} = 8,5$ дБ для лінійного кодування TC-PAM-16;

$SNR_{MAR2} = 12$ дБ для лінійного кодування TC-PAM-32.

Для моделювання вираз (3.2) можна подати у числовому вигляді

$$SNR_{SHDSL}(f) = 10^{\frac{SNR_{SHDSL}(f) \text{ дБ}}{10}} \quad (3.3)$$

Максимальна швидкість передачі каналу зв'язку на основі технології SHDSL може бути визначена для різного виду модуляції, різної довжини і типу КЛЗ.

Оцінку швидкісного потенціалу технології проводили з використанням математичного пакету *MathCAD*.

На рис. 3.3 представлені залежності швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для SHDSL технологій з кодуванням TC-PAM-16 та TC-PAM-32 для КЛЗ типу ТПП-0,5.

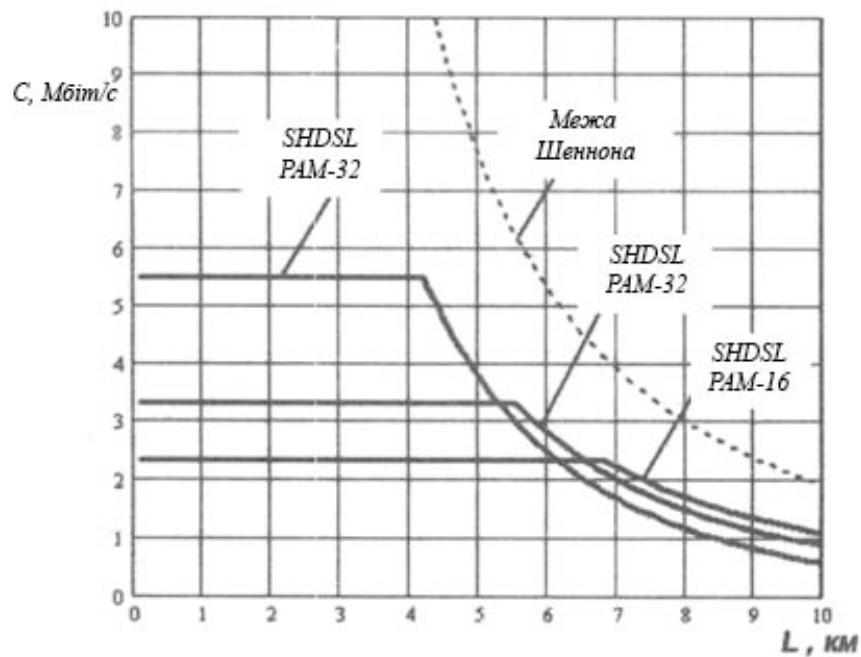


Рисунок 3.3 – Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для SHDSL технології з кодуванням TC-PAM-16 та TC-PAM-32 для КЛЗ типу ТПП-0,5

Асиметричні технології ADSL передачі інформації каналом зв'язку використовує метод частотного поділу каналів з урахуванням дискретної мультитоновної модуляції (DMT). Частотний план розподілу частот, що піднесуть (підканалів) для вихідного та вхідного напрямку передачі технологій ADSL показаний на рис. 3.4 а деякі параметри технології наведені в таблиці 3.4 [10].

Використовувана ADSL частотна смуга розділена на дві частини: низхідна лінія (DS-downstream) - частина спектра, яка використовується для передачі даних від мережі в напрямку кінцевого користувача; висхідна лінія (US-upstream) - частина спектра, що використовується передачі даних у бік від кінцевого користувача до мережі. Кожна з цих частин смуги частот розділена на піднесучі (subcarrier). Смуга частот кожної піднесучої становить 4,3125 кГц і служить передачі певного числа бітів з допомогою модуляції піднесуть частот багаторівневої квадратурної модуляції (QAM). На рис. 3.4 смуга частот до 25 кГц відведена для забезпечення роботи звичайного телефонного каналу (*POTS-plain old telephony service*).

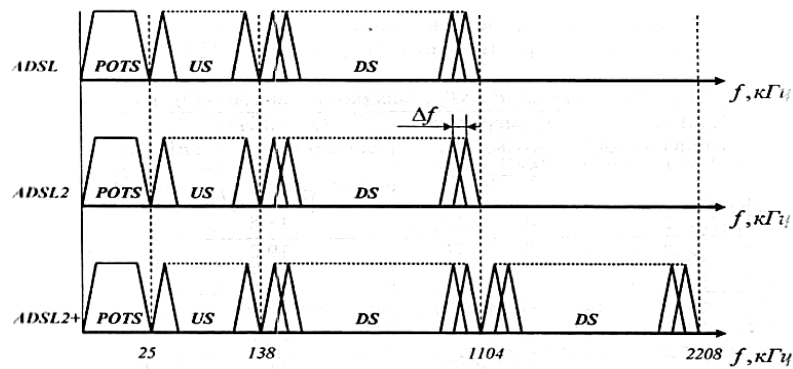


Рисунок 3.4 – Частотний план для технологій ADSL

Таблиця 3.2 – Параметри ADSL технологій

Параметр	Технологія		
	ADSL	ADSL2	ADSL2+
Канальний інтервал DMT Δf , кГц	4,3125	4,3125	4,3125
Символьна швидкість модуляції f_{SYM} , Кбіт/с	4,0	4,0	4,0
Максимальний рівень сигналу P_{MAX} , дБм	+20,4	+20,4	+20,4
Нижня полоса частот Δf_H кГц	25-138	25-138	25-138..276
Верхня полоса частот Δf_V кГц, кГц	138-1104	138-1104	138-2208
Кількість піднесених частот i	256	256	512
Максимальна кратність QAM модуляції r	≥ 8	≥ 12	≥ 12
Максимальна швидкість передачі, V_{MAX} , Кбіт/с	≤ 8000	≤ 12000	≤ 24000

У таблиці 3.3 наведено дані про допустиме мінімальне значення SNR_{MIN} для різних видів модуляції QAM [8],

Таблиця 3.3 – Допустиме значення SNR_{MIN} для різних видів модуляції QAM

Кількість біт на символ r	Розмірність сузір'я 2^r -QAM	Відношення сигнал/шум для BER 10 ⁻⁷ SNR_{MIN} , дБ	Запас приймача SNR_{GAP} , дБ
2	4-QAM	15,5	9,76
3	8-QAM	19,2	9,80
4	16-QAM	22,5	9,88
5	32-QAM	25,6	9,90
6	64-QAM	28,7	9,92
7	128-QAM	31,7	9,93
8	256-QAM	34,8	9,94
9	512-QAM	37,8	9,95
10	1024-QAM	40,8	9,95
11	2048-QAM	43,0	9,95
12	4096-QAM	46,8	9,96

13	8198-QAM	49,9	9,96
14	16384-(MM	52,9	9,96
15	32768 -QAM	55,9	9,96

З таблиці 3.3 видно, що збільшення загасання сигналу в кожному частотному підканалі на кожні 3 дБ призводить до зменшення кратності модуляції на 1 біт/символ, що еквівалентно зниження швидкості передачі на 4 Кбіт/с. Кратність модуляції QAM може встановлюватись незалежно для кожного частотного підканалу.

Сумарна швидкість передачі каналу зв'язку на основі технології ADSL визначається наступним виразом

$$V_{ADSL} = f_{SYM} \sum_{i_H}^{i_B} V_i \quad (3.4)$$

де $i_H = \frac{f_H}{\Delta f}$ і визначають кількість каналів піднесучих частот для низхідного (DS) і висхідного потоку (US).

Максимальна швидкість передачі каналу зв'язку на основі ADSL гехнології може бути визначена з виразу (3.10) для різної кратності QAM модуляції в кожному частотному каналі і запасу щирості, з урахуванням довжини і типу КЛЗ.

При розрахунку необхідно враховувати, що максимальна спектральна щільність потужності передачі становить $S_{ADSL} = -40$ дБм/Гц. Нерівномірність спектра сигналу за рекомендацією [8] у смузі передачі становить 11,3 дБ, що проявляється зниженням спектральної щільності при переході від години готи 1104 кГц до 2208 кГц (в області частот 26-1104 кГц з позов гральна щільність рівномірна). Цю нерівномірність спектра можна врахувати введенням додаткового згасання сигналу в цьому діапазоні діапазону частот.

Оцінка швидкого потенціалу технології проводилася з використанням багато іншого пакету MathCAD. На рис. 3.5 представлені залежності швидкості передачі низхідного потоку (DS) інформації від довжини лінії зв'язку для ADSL гехнологій та КЛЗ типу ТПП-0,5.

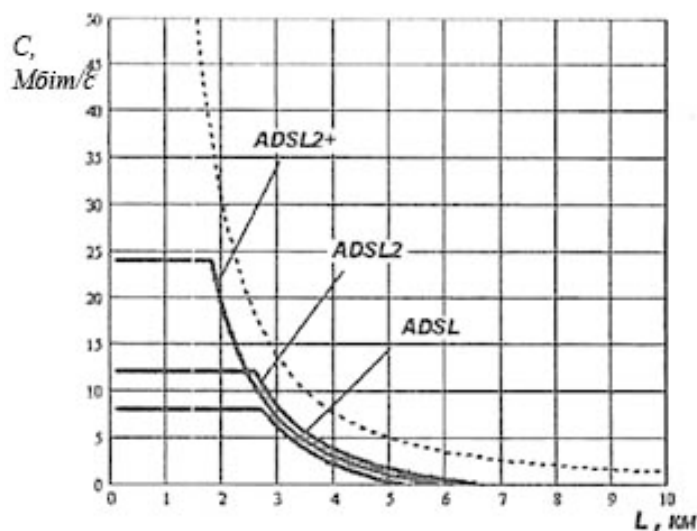


Рисунок 3.5 – Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для технології ADSL з модуляцією DMT для КЛЗ типу ТПП-0,5

Високошвидкісна VDSL технології для передачі інформації по каналу зв'язку використовує один з двох методів передачі:

- QAM-модуляцію для низхідного та висхідного потоку;
- метод частотного поділу каналів на основі дискретної мультитоновної модуляції (DMT).

Частотний план розподілу піднесучих частот (підканалів) для вихідного та вхідного напрямку передачі технологій VDSL показаний на рис. 3.6 а основні параметри технології наведені в таблиці 3.4 [8].

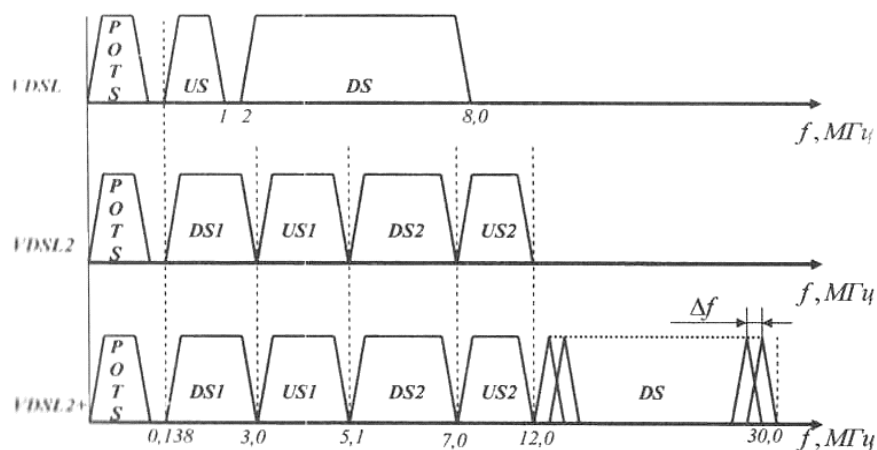


Рисунок 3.6 – Частотний план для технологій VDSL

Таблиця 3.4 – Параметри VDSL технологій

Параметри	Технологія		
	VDSL	VDSL2	VDSL2+
Канальний інтервал $DMT \Delta f$, кГц	-	4,3125	8,625
Символьна швидкість модуляції f_{SYM} , Ксім/с	-	4,0	8,0
Максимальний рівень сигналу P_{MAX} , дБм	+20,5	+14,5	+20,5
Нижня полоса частот Δf_H кГц	25-138	25-138	25-138..276
Верхня полоса частот Δf_B кГц, кГц	138-	12000	30000
Кількість піднесених частот i	-	2048	4096
Максимальна кратність QAM модуляції r	QAM	DMT	DMT
Максимальна швидкість передачі, V_{MAX} , Кбіт/с	-	≥ 12	≥ 12
Максимальная скорость передачи V_{MAX} , Кбіт/с	≤ 26000	$5 \leq 4000$	≤ 100000

Використовувана для VDSL частотна смуга розділена кілька частин: низхідна лінія (*DS-downstream*) - частини спектра, що використовується передачі даних від мережі у бік кінцевого користувача; висхідна лінія (*US-upstream*) - частини спектра, що використовується передачі даних у бік від кінцевого користувача до мережі. Кожна з цих частин смуги частот розділена на піднесучі (subcarrier). Смуга частот кожної піднесучої становить 4,3125 кГц (8,625 кГц для VDSL2) і служить передачі певного числа бітів за допомогою модуляції піднесуть частот багаторівневої квадратурної модуляції (*QAM*).

На рис. 3.6 смугу частот до 25 кГц відведено для забезпечення роботи звичайного телефонного каналу (*POTS*).

У процесі ініціалізації модемів та встановлення зв'язку приймач-передавачі VDSL проводять тестування лінії зв'язку для визначення відношення сигнал/шум у кожному підканалі для кожної частоти, що піднесе, і встановлення максимального значення рівня *QAM* - модуляції [8].

Максимальна швидкість передачі каналу зв'язку на основі VDSL технології може бути визначена для різної кратності *QAM* у кожному частотному каналі та запасу захищеності, з урахуванням довжини і типу КЛЗ. Максимальна

спектральна щільність потужності передачі для *VDSL2* збільшена і становить $S_{VDSL} = -55$ дБм/Гц.

Оцінку швидкісного потенціалу технології проводили з використанням математичного пакету MathCAD. На рис. 3.7 представлені залежності швидкості передачі низхідного потоку {DS) інформації від довжини лінії зв'язку для технологій *VDSL* і *КЛЗ* типу ТПП-0,5.

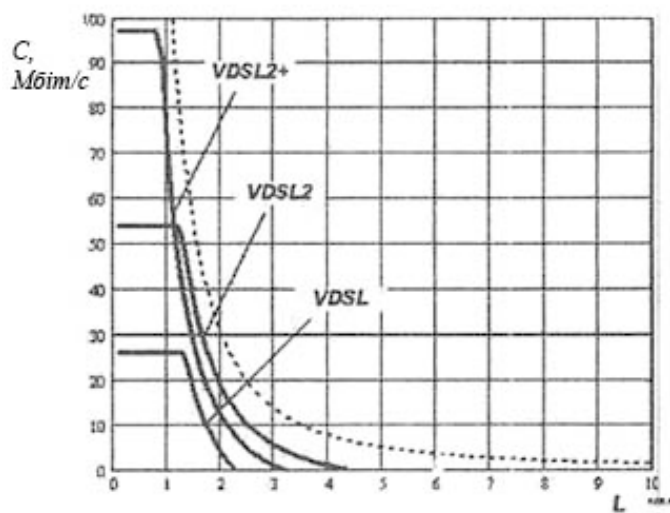


Рисунок 3.7 – Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для *VDSL* технології для *КЛЗ* типу ТПП-0,5

На рис. 3.8 представлені порівняльні залежності максимальної швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для різних *xDSL* технологій та *КЛЗ* типу ТПП-0,5.

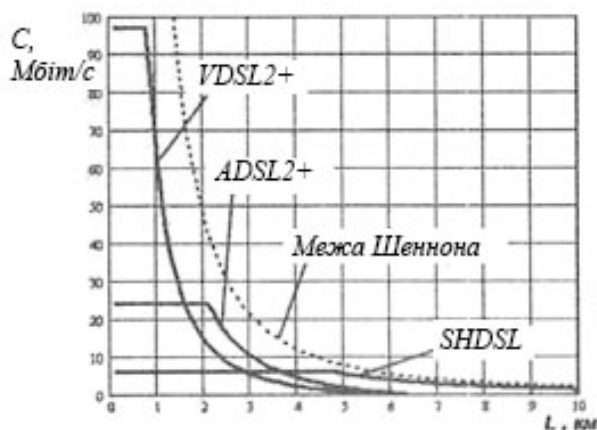


Рисунок 3.8 – Порівняльа залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для *VDSL* технології для *КЛЗ* типу ТПП-0,5

З сукупності наведених даних випливає, що швидкісні провідні ЦСПІ для ВСЗ КЛЗ повинні реалізовуватися як чотирьоканальні з використанням адаптації по кожному каналу, як економічніше і просте рішення на сьогоднішній день, на основі симетричної технології *SHDSL*.

3.2 Оцінювання пропускної здатності безпроводових ліній зв'язку

При побудові корпоративних мереж передачі даних, які об'єднують велику кількість локалізованих мереж різних підприємств і фірм і забезпечують їм доступ до глобальної світової мережі, широко використовуються безпроводні мережі передавання інформації. Головною структурною одиницею безпроводної мережі є радіосота, в центрі якої розміщується базова станція зі всенаправленою антеною, на яку сфокусовані антени кінцевих станцій – з'єднаних між собою безпроводовою мережею та локальними кабельними мережами. В більшості випадків кінцеві станції обмінюються даними як між собою, так і з зовнішнім світом через базову станцію. В загальному випадку час роботи радіосоти поділено на два інтервали функціонування, в децентралізованому $T_{\text{дц}}$ та централізованому $T_{\text{ц}}$ режимах, які чергуються. Проте, якщо при роботі в централізованому режимі виявиться відсутність пакетів, готових для передавання на всіх станціях, то радіосота може перейти в децентралізований режим, не чекаючи звернення інтервала $T_{\text{ц}}$ централізованого режиму. Розглянемо випадок коли радіосота працює в централізованому режимі.

На базовій станції зберігається список, у відповідності з яким вона вибирає наступну за чергою кінцеву станцію та посилює її фрейм, який містить на передавання, а також пакет даних, призначених для цієї станції, якщо він є. Крім того, якщо на попередньому кроці опитувана базова станція прийняла пакет даних, то в цей фрейм включається також підтвердження на цей пакет.

Кінцева станція, яка отримала запрошення на передавання, передає через короткий інтервал τ_0 відповідний фрейм, який містить пакет даних, якщо він має місце, а також підтвердження на прийом пакета від базової станції (якщо він був).

Після отримання цього фрейма базова станція через малий проміжок τ_0 переходить до опитування наступної по списку кінцевої станції.

У випадку невдалої передачі фрейма опитування, і як наслідок, відсутність фрейма відповіді протягом τ_0 починається наступний крок опитування.

При завершенні даних, готових для передачі, на всіх станціях базова станція (в залежності від реалізації протоколу) або зразу переходить в децентралізований режим, або повторює цикл опитування один або кілька разів. Перехід в децентралізований режим проходить по завершенні інтервала $T_{\text{ц}}$

В нашому випадку будемо розглядати випадок, коли по-перше, навантаження на радіосоту в соке і тому ймовірність відсутності пакетів одночасно на всіх станціях дуже мала і нею можна нехтувати, а, по-друге, $T_{\text{ц}} \gg T_{\text{дц}}$, і тому при оцінюванні продуктивності інтервал роботи в детермінованому режимі можна не враховувати.

Модель такої радіосоти приведена на рис. 3.9. Вона об'єднує S кінцевих станцій, кожна з яких під'єднує до радіосоти локальну кабельну мережу S^s ($S^s = 1, \dots, S^s$), яка складається із N_s терміналів і одного або кількох серверів. При аналізі будемо враховувати тільки найбільш розповсюджені інформаційні взаємодії типу: запит до локального (в середині радіосоти) або зовнішнього (в глобальній мережі) серверу, який складається із одного пакету; відповідь сервера, яка складається із великої кількості пакетів.

Оскільки одним із головних показників продуктивності є пропускна здатність радіосоти, будемо проводити її аналіз.

Проходження запитів і відповідей по локальних кабельних мережах і за межами радіосоти можна моделювати наступним спрощеним видом. Запит терміналу локальним мережі s генерується в середньому за час λ_s^{-1} з моменту прийому останнього пакету відповіді відповідною кінцевою станцією і надходить у чергу до цієї станції. Ззовні через базову станцію також надходить пуассонівський потік запитів до локальних серверів з інтенсивністю Λ_0 .

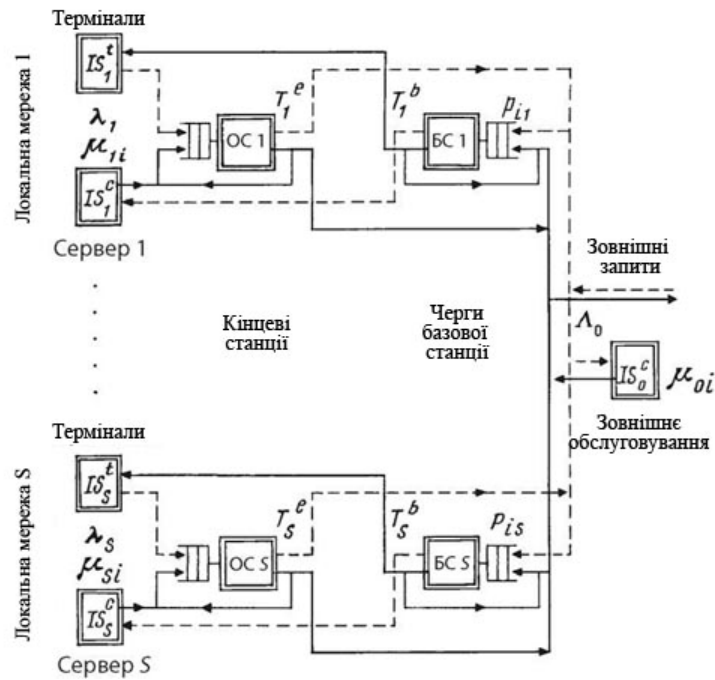


Рисунок 3.9 – Схема радіосоти з підключеними локальними мережами

Після проходження радіосоти запит обслуговується в необхідному сервері локальної мережі r (при $r > 0$) або "зовнішнього світу" (при $r = 0$), що визначається маршрутною матрицею $\|p_{sr}\|_{s,r} = 0, \dots, s$ де $s=0$ відповідає зовнішньому потоку запитів. Після обслуговування сервером r в середньому за час μ_{rs}^{-1} пакети відповіді, середня кількість яких позначимо F_{rs} , надходять у чергу до станції r (при $r=0$ – одночасно до базової станції). Нарешті, після передачі останнього пакета відповіді через радіосоту до станції-джерелу термінал, що очікував цієї відповіді, може генерувати новий запит. Часи генерації запитів та обслуговування на серверах розподілені експоненційно.

На основі зроблених припущень проведено імітаційне моделювання, яке зажадало значних тимчасових витрат навіть за невеликих кількостях терміналів у локальних мережах (N_s) та пакетів (F_{rs}) у файлах-відповідях (причини цього див. в [9]). Тому найбільш ефективним способом визначення оптимальної конфігурації радіосоти є її аналітичне моделювання. Для цього аналогічно [3, 4] замінимо конвеєрну передачу (через кінцеву та базову) станції) файлів-відповідей на послідовну. В результаті отримуємо змішану експонентну модель, зображену на рис. 3.9, в якій циркулюють заявки S локальних класів з фіксованою кількістю

заявок N_s , $s=\overline{1, S}$ та одного зовнішнього класу 0. Тут IS-станції (нескінченноканальні пристрої) IS_s^t , $s=\overline{1, S}$ і $IS_{r, r=\overline{0, S}}^c$ моделюють роботу відповідно терміналів локальної мережі s та серверів локальної мережі $r > 0$ або "зовнішнього світу" (при $r = 0$). Одноканальні пристрої „ОС s ”, „БС s ” $s=\overline{1, S}$, моделюють передачу пакетів відповідно від кінцевої станції до базової та назад. Рух заявки від джерела до сервера (пунктирні лінії) та назад (суцільні лінії) моделює відповідно проходження запиту та відповіді на нього. Нижче наведені ненульові коефіцієнти відвідування $k_s(\cdot)$ пристроїв для кожного класу s :

$$k_s(IS_s^t) = k_s(OC\ s) = 1, \quad k_s(BC\ s) = \hat{k}_s = \sum_{i=0, i \neq s}^S F_{is} p_{si}, \quad s = \overline{1, S}; \quad (3.5)$$

$$k_i(IS_s^c) = k_i(BC\ s) = p_{is}, \quad k_i(OC\ s) = F_{is} p_{is}, \quad i = \overline{0, S}, \quad i \neq s.$$

Проведемо аналіз розглянутої моделі. Мережа масового обслуговування на рис. 3.9 є згідно з [6] мультиплікативною, що дозволяє використовувати класичні методи оцінки шуканих пропускних здібностей Λ_s за запитами з кожної локальної мережі $s=1, \dots, S$, середніх часів відповіді T_s^{resp} на ці запити, а також ймовірностей p_s^e і p_s^b відсутності черг до кожного одноканального пристрою „ОС s ” та „БС s ” за умови, що відомі середні часи обслуговування T_s^e і T_s^b у цих пристроях.

Визначимо ці часи. Функціонування радіосети в централізованому режимі багато в чому нагадує роботу мережі time-slotted ring у якій величина слота, що виділяється для обміну кадрами між кінцевою станцією s і базовою, є випадковою величиною із середнім θ_s . Залежно від структури списку опитування, протягом одного циклу опитування кінцева станція s опитується m_s раз (при строгому круговому опитуванні $m_s = 1$ всім s). Тоді

$$T_s^e = \left(\frac{1}{H_s^e} - \frac{q_s^e}{2} \right) m_s^{-1} \sum_{i=1}^S m_i \theta_i, \quad (3.6)$$

де q_s^e – ймовірність надходження пакета в порожню чергу до “ОС s а H_s^e – ймовірність успішної передачі пакета від цієї кінцевої станції. Величина

T_s^d визначається аналогічною формулою, але із заміною верхнього індексу "e" на "b".

Знайдемо середні величини слотів θ_s . Для цього припустимо, що часи передачі "власне" пакетів даних без урахування часу передачі заголовка t_h однакові та рівні t_d , а ймовірності спотворення фреймів, що містять і не містять пакети даних, дорівнюють відповідно r_d і r_0 . Тоді

$$\theta_s = R_s^{poll} + R_s^{resp} + T_{ack}R^{ack} \quad (3.7)$$

де

$$R_s^{poll} = t_h + (1 - \rho_s^b)t_d + \tau_s^a + \hat{r}_s^b (\tau_e - \tau_s^a), \quad (3.8)$$

$$R_s^{resp} = (1 - \hat{r}_s^b)[t_h + (1 - \rho_s^e)t_d + \tau_s^a + 2\tau_0], \quad (3.9)$$

$$R_s^{ack} = [(1 - \hat{r}_s^b)(1 - \rho_{s-1}^e) + 1 - \rho_s^b](1 - r_d), \quad (3.10)$$

T_{ack} – час передачі підтвердження, τ_s^a – час поширення сигналу від базової станції до кінцевої станції s ; $\hat{r}_s^b = p_s^b r_0 + (1 - p_s^b)$ нарешті, в (3.10) індекс $s-1$ замінюється на S при $s=1$.

Ймовірності успішної передачі визначаються формулами :

$$H_s^e = (1 - \hat{r}_s^b)(1 - r_d)(1 - \rho_{s+1}^e), \quad H_s^b = (1 - r_d)(1 - \hat{r}_s^e) \quad (3.11)$$

де ; \hat{r}_s^e визначається так само, як \hat{r}_s^b , із заміною верхнього індексу "b" на "e" а індекс $s+1$ замінюється на 1 при $s=S$.

Нарешті, ймовірності надходження пакета в порожню чергу розраховуються аналогічно (3.8, 3.9):

$$q_s^e = \rho_s^e \{ \Lambda_s + \sum_{i=0, i \neq s}^s \Lambda_i p_{is} \} / M_s^e, \quad q_s^b = \rho_s^b \{ \Lambda_s + \sum_{i=0, i \neq s}^s \Lambda_i p_{is} \} / M_s^b \quad (3.12)$$

де

$$M_s^e = \Lambda_s + \sum_{i=0, i \neq s}^s \Lambda_i p_{is} F_{si}, \quad M_s^b = \Lambda_s \hat{k}_s + \sum_{i=0, i \neq s}^s \Lambda_i p_{is},$$

Таким чином, при із відомих Λ_s , ρ_s^e і ρ_s^b для всіх $s=1, \dots, S$ формул (3.6) - (3.11) ми легко знаходимо T_s^e і T_s^b . Очевидно, процес спільного знаходження всіх цих величин є ітеративним, що накладає обмеження на ресурсоемність застосовуваних формул. Тому при великій кількості терміналів N_s доцільно (як і в 3.8, 3.9) застосовувати для аналізу мережі на рис 3.9 асимптотичні методи (3.12), згідно з якими отримуємо наступні наближення для всіх $s=\overline{1, S}$:

$$\Lambda_s = \frac{N_s}{Q_s}, \quad T_s^{resp} = \frac{N_s}{\Lambda_s} - \frac{1}{\lambda_s}, \quad \rho_s^b = 1 - T_s^b M_s^b, \quad \rho_s^e = 1 - T_s^e M_s^e, \quad (3.13)$$

де значення Q_s знаходяться із системи рівнянь

$$Q_s = \hat{\lambda}_s + Z_s^e + \hat{k}_s Z_s^b + \sum_{i=1, i \neq s}^s p_{si} (Z_i^b + F_{si} Z_s^b),$$

$$\frac{1}{Z_s^e} + \frac{N_s}{Q_s} + \sum_{i=1, i \neq s}^s \frac{N_s}{Q_s} p_{is} F_{si} = \mu_s^e, \quad \frac{1}{Z_s^b} + \frac{N_s}{Q_s} \hat{k}_s + \sum_{i=1, i \neq s}^s \frac{N_i}{Q_i} p_{is} = \mu_s^b,$$

де

$$\hat{\lambda}_s^{-1} = \lambda_s^{-1} + p_{s0} \mu_{0s}^{-1} + \sum_{i=1, i \neq s}^s p_{si} \mu_{is}^{-1}, \quad \mu_s^e = \frac{1}{T_s^e} - \Lambda_0 p_{0s} F_{s0}, \quad \mu_s^b = \frac{1}{T_s^b} - \Lambda_0 p_{0s},$$

з обмеженнями $Q_s > 0$ для всіх $Z_s^e > 0$, $Z_s^b > 0$. Очевидно, інтенсивність Λ_0 потоку зовнішніх запитів повинна задовольняти нерівності $1/(p_{0s} \Lambda_0) > \max \{T_s^b, F_{s0} T_s^e\}$ для всіх $s > 0$.

Умови високого навантаження. Оцінимо зверху ймовірність $P(\text{ЦР} \rightarrow \text{ДР})$ того, що в протягом періоду T_{CM} радіосота перейде в децентралізований режим через відсутність пакетів на всіх станціях. Імовірність того, що переданий пакет виявився останнім (на всіх станціях), наближено оцінимо ймовірністю P_0 відсутності черг до всіх одноканальних пристроїв. Тоді

$$P(\text{ЦР} \rightarrow \text{ДР}) < P_0 T_{\text{CM}} / T_{\text{min}} \quad (3.14)$$

де

$$T_{min} = t_d + T_{ack} + 2 \left(t_h + \tau_0 + \min\{\tau_s^a\} \right) \quad (3.15)$$

мінімальний час, необхідний передачі пакета, включаючи отримання підтвердження. При великій кількості терміналів порядок 0 оцінюється відповідно до (3.14, 3.15) за формулою:

$$P_0 \sim \exp \left\{ \sum_{s=1}^s [\mu_s^e Z_s^e + \mu_s^b Z_s^b - N_s \ln(\hat{\lambda}_s Q_s)] \right\}$$

Формула (3.14) справедлива навіть за нульового значення 0 числа циклів опитування, повторюваних при виявленні відсутності пакетів на всіх станціях. При $n_0^c > 0$ праву частину (3.14) можна примножити на ймовірність P_0^c того, що протягом цих "порожніх" циклів на станціях не з'являться нові пакети (після створення запитів терміналами або їх обслуговування на серверах):

$$P_0^c = \exp \left\{ -2n_0^c \sum_{s=1}^s N_s \hat{\lambda}_s t_h + \tau_0 + \sum_{s=1}^s \tau_s^a \right\}$$

Таким чином, розроблений аналітичний метод можна застосовувати, якщо верхня межа $P(\text{ЦР} \rightarrow \text{ДР})$, обчислена за цими формулами, набагато менше одиниці, а також $T_{CM} \gg T_{DM}$

Модифікація методу. Для зниження впливу перешкод у протоколі Radio-Ethernet рекомендується розбивати пакети, що передаються на фрагменти з тим, щоб повторно передавати у разі спотворення перешкодами не весь пакет, а тільки його фрагмент. Кожен пакет (з урахуванням зробленого припущення про ідентичність часів передачі всіх пакетів) ділиться на n_f фрагментів, причому часи передачі (без урахування заголовка) всіх фрагментів, крім останнього, рівні t_f^m (категорія 1), а останнього – t_f^l (категорія 2). Для цього випадку доданок $1/N_s^e$

формули (3.6) перетворюється у суму $(n_f - 1)/H_s^{ef} + 1/H_s^{el}$, де H_s^{ef} і H_s^{el} – ймовірність успішної передачі фрагментів категорій 1 і 2, що визначаються формулою (3.11) із заміною ймовірності r_d на ймовірності r_f і r_l спотворень і для фрагментів категорій 1 і 2. У решті формул методу величини r_d і t_d замінюються їх усередненими значеннями r_d^m і t_d^m , причому усереднення ведеться з урахуванням частоти передач фрагментів кожної категорії:

$$r_d^m = 1 - n_f / \left(\frac{n_f - 1}{1 - r_f} + \frac{1}{1 - r_l} \right)$$

$$t_d^m = \frac{(n_f - 1)t_f^m}{1 - r_f} + \frac{t_f^l}{1 - r_l} \Big/ \left(\frac{n_f - 1}{1 - r_f} + \frac{1}{1 - r_l} \right)$$

Нарешті, за умови (3.14)

$$T_{min} = (n_f - 1)t_f^m + t_f^l + n_f \left[T_{ack} + 2 t_h + \tau_0 + \sum_{s=1}^s \tau_s^a \right]$$

Зауважимо, що аналогічно метод може бути легко модифікований з метою врахування розкиду довжин пакетів (наприклад, при великій частці інтерактивного трафіку типу електронної пошти).

Інша модифікація методу пов'язані з реалізацією радіосоти з урахуванням технології FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum – широкосмуговий сигнал методом частотних стрибків). За цієї технології всі станції працюють на одній частоті в протягом фіксованого часового інтервалу T_{dwell} , після закінчення якого відбувається їх перемикання (протягом короткого інтервалу t_{cf}) на іншу частоту, при якому втрачається контроль за станом ефіру. Тому станція, яка бажає передати пакет (або його фрагмент), що утримується від передачі, якщо передбачуваний час передачі, що розраховується виходячи з максимального часу поширення сигналу τ_a^{max} і час передачі підтвердження, перевищує час, що залишився до кінця інтервалу роботи на поточній частоті. Назвемо таку спробу передачі відкладеної. Середній час від відкладеної спроби передачі до кінця інтервалу роботи на поточній частоті (включаючи інтервал перемикання), коли станції заборонено передавати, дорівнює $\Delta = T_{min}/2 + t_{cf}$, де T_{min} визначається

формулою (3.15) із заміною $\min \{\tau_s^a\}$ на τ_a^{max} , причому у разі фрагментації замість t_d використовується t_d^m .

Як і в (3.9), можна вважати (і це підтверджується імітаційним моделюванням), що режим із частотними стрибками відрізняється від режиму без них тільки періодами “мовчання” із середньою тривалістю Δ в кінці кожного інтервалу T_{dwell} . Отже, у формулах методу, що визначають пропускні здібності Λ_s та ймовірності відсутності черг ρ_s^e і ρ_s^b , все T_s^b і T_s^e , одержувані з (3.6), слід розділити на $1 - \Delta/(T_{dwell} + t_{cf})$.

Розглянемо радіосоту, реалізовану за технологією DSSS з швидкодією $V=2$ Мбіт/с і об'єднуючу $S=5$ кінцевих станцій зі статистично однорідними локальними мережами, тобто. для кожного $s=1, \dots, S$

$$N_s = N/S \quad \lambda_s = \lambda \quad p_{s0} = 1/S$$

$$\tau_s^a = 0,000017 \text{ с} \quad p_{si} = (1 - p_0)/(S - 1) \text{ при } i > 0 \text{ і } i \neq s$$

(значення τ_s^a відповідає відстані 5 км). Фрагментація не використовується. Кінцеві станції опитуються строго по колу. Крім того: середні кількості пакетів-відповідей $F_{rs} = 20$ для всіх серверів r ; час передачі пакета-запиту рівномірно розподілено на інтервалі $(0, t_d)$; після обслуговування будь-якого запиту в будь-якому з локальних серверів r з однаковою інтенсивністю $\mu_{rs} = \mu_1 = 2\text{с}^{-1}$ пакети відповіді надходять у середньому через 0,002; при обслуговуванні у “зовнішньому світі” ці величини рівні відповідно $\mu_0 = 0,2 \text{ с}^{-1}$ та 0,02 с. Значення решти параметрів (у мікросекундах) отримані на основі (3.7, 3.15): $t_d=6072$, $t_h=288$, $T_{ack}=50$, $\tau_e=255$.

На рис. 3.10 і 3.11 показані залежності сумарної локальної пропускної здатності сті $\Lambda = \sum_{s=1}^S \Lambda_s$ цієї радіосоти та середнього часу відповіді на запит від ймовірності спотворення пакета r_d (значення r_0 передбачалося рівним $r_{dh}/(t_h + t_d)$). Ці залежності отримані при $N=50$, $\lambda = 0,5$, $\Lambda_0 = 1\text{с}^{-1}$ за допомогою аналітичного методу (суцільні лінії) та імітаційного моделювання (штрихові лінії) для наступних випадків, що відрізняються ймовірностями p_0 обслуговування у “зовнішньому світі”: а) $p_0 = 0,5$ і б) $p_0 = 0,1$. Видно, що похибка розроблених

наближень ніде не перевищує 5%, тому даний метод цілком застосовний для оцінки показників продуктивності радіомережі, причому на відміну від імітаційного моделювання може ефективно використовуватися під час вирішення пошукових завдань проектування мереж із сотнями та тисячами клієнтів.

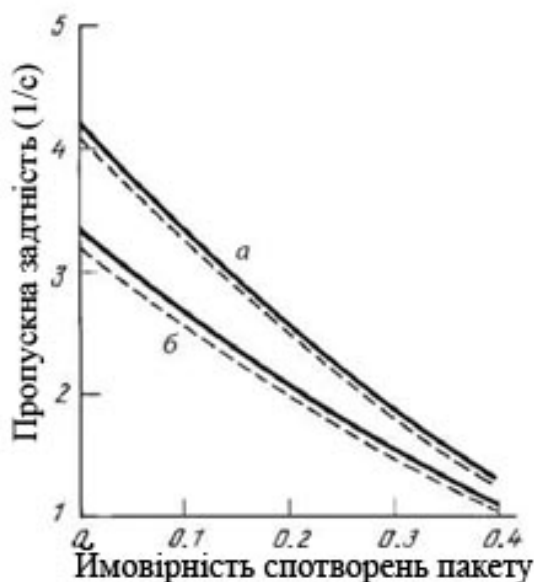


Рисунок 3.10 – Графіки залежності сумарної пропускної можливості мережі за локальними запитами від можливості спотворення пакета

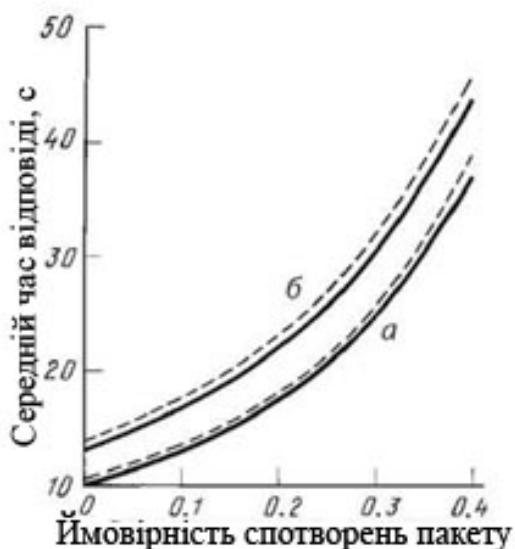


Рисунок 3.11 – Графіки залежності середнього часу відповіді на запит від ймовірності спотворення пакета

Як приклад вирішимо актуальну задачу визначення максимальної кількості типових локальних мереж, які можуть бути об'єднані в одну радіосоту так, щоб

середній час відповіді не перевищував 2 хвилин. Типовий параметр локальної мережі: $N_s=100$, $\lambda=1/240$, $\Lambda_0/S=1/15$, $\mu_1=1/3c^{-1}$, а середній час обслуговування у “зовнішньому світі” $\mu_0^{-1}=30$ с. Результати вирішення цього завдання залежно від ймовірності спотворення пакета наведено на рис. 3.12 для випадків а) $p_0 = 0,5$ і б) $p_0 = 0,9$

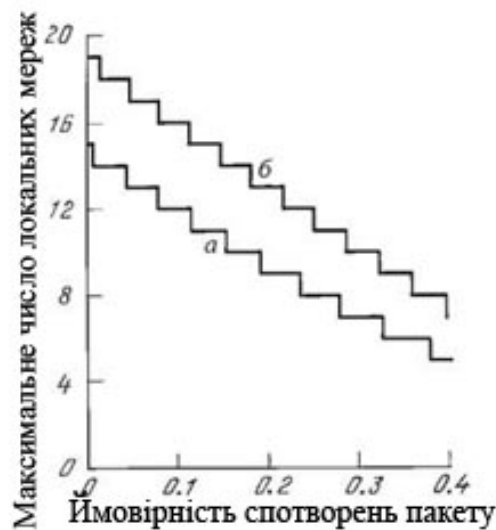


Рисунок 3.12 – Графіки залежності максимально допустимого числа локальних мереж, підключених до радіосоти, від ймовірності спотворення пакету

3.3 Висновки до розділу

Проведено аналізу та розглянуто наближений метод оцінки показників продуктивності, що забезпечується для клієнтів кожної із підключених локальних мереж. Отриманий метод дозволяє досить повно врахувати особливості досліджуваного протоколу та застосуємо в умовах високого навантаження, які явно визначені. Легкість модифікації методу показана на прикладах обліку фрагментації та частотних стрибків за технології FHSS. На відміну від імітаційного моделювання ресурсомісткість методу мала і не залежить ні від числа клієнтів у мережах, ні від середніх розмірів файлів, що передаються. Наведені чисельні результати показали високу точність розробленого методу та його хорошу працездатність при вирішенні пошукових завдань проектування радіомереж.

4 АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ТА ТЕХНІКОЕНОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності

конструкцій» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (повному або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	59	57	55
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0

Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		57,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	67	72	65
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	68,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [13]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 57,0$, $k_{\text{теор}} = 68,0$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 57,0 + 0,4 \cdot 68,00 = 61,40 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій», даний рівень становить 61,40 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [13]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$Z_o = 14520,00 \cdot 24 / 24 = 14520,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник	14520,00	605,00	24	14520,00
Інженер-розробник телекомунікаційних систем	14250,00	593,75	24	14250,00
Науковий співробітник	14250,00	593,75	14	8312,50
Лаборант	6840,00	285,00	15	4275,00
Всього				41357,50

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи та засоби підвищення заводозахищеності та продуктивності конструкцій» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [13];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань

і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 63,34 \text{ грн.}$$

$$З_{р1} = 63,34 \cdot 1,50 = 95,00 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення телекомунікаційного устаткування	1,50	2	1,10	63,34	95,00
Інсталяція програм імітації передавачів	1,50	5	1,70	97,88	146,82
Інсталяція програм імітації приймачів	1,00	4	1,50	86,37	86,37
Моделювання обладнання формування завод	8,00	2	1,10	63,34	506,69
Підготовка приміщення для досліджень	8,00	4	1,50	86,37	690,94
Налаштування устаткування системи створення завод	2,00	5	1,70	97,88	195,77
Контроль протікання обчислювальних експериментів	2,00	3	1,35	77,73	155,46
Всього					2460,03

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (41357,50 + 2460,03) \cdot 11 / 100\% = 4819,93 \text{ грн.}$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (41357,50 + 2460,03 + 4819,93) \cdot 22 / 100\% = 10700,24 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{с}j}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,0 \cdot 230,00 \cdot 1,12 - 0 \cdot 0 = 515,20 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний (A4)	230,00	2,0	0	0	515,20
Папір для заміток (A5)	120,00	4,0	0	0	537,60
Начиння канцелярське	192,00	3,0	0	0	645,12
Органайзер офісний	184,00	3,0	0	0	618,24
Картридж для принтера	951,00	1,0	0	0	1065,12
Диск оптичний CD-RW	22,00	3,0	0	0	73,92
USB флеш накопичувач Transcend 16Gb JetFlash 700 (TS64GJF700)	118,00	1,0	0	0	132,16
Всього					3587,36

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 2460,00 \cdot 1,11 = 2730,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Модель-імітатор формувача завод	1	2460,00	2730,60
Всього			2730,60

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування

тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 1890,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 2097,90 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Кодер сигналу	1	1890,00	2097,90
Декодер сигналу	1	2340,00	2597,40
Осцилограф С114/1-А	1	9600,00	10656,00
Всього			15351,30

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де $C_{\text{инрг}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 4780,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 5305,80 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	4780,00	5305,80
Пакет Microwave Office	1	3920,00	4351,20
Пакет MATLAB SIMULINK	1	3640,00	4040,40
Всього			13697,40

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_г$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (28699,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1195,79 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс	28699,00	2	1	1195,79
Графічно-обчислювальний комплекс	32460,00	2	1	1352,50

обробки даних				
Обладнання виводу інформації	6600,00	4	1	137,50
Місце оператора спеціалізоване	9200,00	5	1	153,33
Офісна оргтехніка	9300,00	5	1	155,00
Дослідницька лабораторія	640000,00	20	1	2666,67
ОС Windows	7900,00	2	1	329,17
Прикладний пакет Microsoft Office	7310,00	2	1	304,58
Всього				6294,54

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{vni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

K_{vni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{vni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,01 \cdot 90,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 5,58 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Кодер сигналу	0,01	90,0	5,58
Декодер сигналу	0,01	90,0	5,58
Програмно-аналітичний	0,25	190,0	294,50

комплекс			
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	0,30	190,0	353,40
Обладнання виводу інформації	0,18	40,0	44,64
Місце оператора спеціалізоване	0,12	190,0	141,36
Офісна оргтехніка	0,60	2,5	9,30
Осцилограф С114/1-А	0,21	90,0	117,18
Всього			971,54

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводозахисності та продуктивності конструкцій» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cv} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cv} = 20\%$.

$$B_{cv} = (41357,50 + 2460,03) \cdot 20 / 100\% = 8763,51 \text{ грн.}$$

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 35\%$.

$$B_{cn} = (41357,50 + 2460,03) \cdot 35 / 100\% = 15336,13 \text{ грн.}$$

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_{\epsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{is}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{is} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{is} = 60\%$.

$$I_{\epsilon} = (41357,50 + 2460,03) \cdot 60 / 100\% = 26290,52 \text{ грн.}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (41357,50 + 2460,03) \cdot 100 / 100\% = 43817,53 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_{г} + B_{снец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{г} + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 41357,50 + 2460,03 + 4819,93 + 10700,24 + 3587,36 + 2730,60 + 15351,30 + 13697,40 + 6294,54 + 971,54 + 8763,51 + 15336,13 + 26290,52 + 43817,53 = 196178,11 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 196178,11 / 0,95 = 206503,28 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 2$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 206503,28$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I, n, T_C, R, B, t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [13].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = \frac{4^2 \cdot 3 \cdot 4}{206,5 \cdot 0,08} = 11,16.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи та засоби підвищення завадозахищеності та продуктивності конструкцій» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій» складають 206503,28 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності конструкцій» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджується Методи та засоби підвищення заводозахисності та продуктивності конструкцій.. Всі дослідження і експериментальні процеси відбуваються з участю ПК.

Всі трудові процеси потребують заходів з охорони праці, для забезпечення безпеки дослідника на робочому місці і для виключення або зменшення впливу шкідливих факторів, що можуть впливати на нього в процесі трудової діяльності.

На працівників, що проводять дослідження на ПК можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією [14].:

Фізичні: підвищена та понижена температура повітря робочої зони; підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони; недостатня освітленість робочої зони; недостатність природного освітлення; небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини; підвищена та понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного опромінення.

5.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування

5.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця

Під час аналізу умов праці на робочому місці необхідно оцінити відповідність параметрів приміщення НПАОП 0.00-7.15-18 [14] та відповідність параметрів мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99 [3].

Згідно із НПАОП 0.00-7.15-18 [14] площу приміщень, в яких розташовують ПК, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа – не менше 6,0 кв. м, обсяг – не менше 20,0 куб. м, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Згідно з ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. [15] конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати гігієнічним, антропометричним, фізіологічним і психологічним вимогам.

Гігієнічні вимоги визначають умови життєдіяльності і працездатності людини у процесі взаємодії з технікою і середовищем; показниками є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо.

Антропометричні вимоги визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла та окремі рухові ланки). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони досягнення, раціональні трудові рухи.

Фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприйняття, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця дослідника повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення обладнання, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення;
- достатня вентиляція робочого місця.

Характеристики робочого місця під час написання роботи на тему «Позиціонування пристроїв в телекомунікаційних мережах 5G» наступні:

- висота робочої поверхні столу 750 мм;
- висота простору для ніг 650 мм;
- висота сидіння над рівнем підлоги 450 мм;
- поверхня сидіння м'яка з закругленим переднім краєм;
- передбачена можливість розміщення документів праворуч і ліворуч;
- відстань від ока до екрана 700 мм;

- відстань від ока до клавіатури 400 мм;
- відстань від ока до документів 500 мм;
- можливе регулювання екрана по висоті, по нахилу, у лівому і в правому напрямках.

5.1.2 Електробезпека

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою[16].

Для створення оптимальних умов електробезпеки в виробничому приміщенні потрібно підтримувати режим вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°C. Постійний моніторинг середовища, на предмет пилу та хімічно агресивних речовин у складі повітря, для забезпечення електробезпеки приміщення.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042–99) можна оцінювати за сукупністю таких факторів, як температура (t , °C), відносна вологість (φ , %), швидкість руху повітря (V , м/с) та величина інтенсивності теплового опромінення (E , Вт/м²).

За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [16]. Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності [17].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму[3]. Легкі фізичні роботи (категорія І) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Іа та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Іб. До категорії Іа належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Іб належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Іа.

Отже повинні забезпечуватися такі оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, що зазначені в нормативному акті НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями.[17]

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри мікроклімату при виконанні робіт операторського типу на ЕОМ для робіт категорії Іа

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м\с
Холодний	22-24	60-40	0,1
Теплий	23-25	60-40	0,1

При плануванні умов робочого місця потрібно дотримуватись вище наведених параметрів мікроклімату для досягнення оптимальних умов праці, що виконує важливу роль в якості виконаної роботи працівником та в безпеці його трудової діяльності.

5.2.2 Склад повітря робочої зони

При дослідженні ефективності природної вентиляції приміщенні потрібно враховувати, що відповідно до СНиП 2.04.05–91 [5] за умови, якщо об'єм робочого приміщення, що припадає на кожного працюючого, менше 20 м³, необхідний повітрообмін повинен становити не менше $L' = 30$ м³/год на одну особу. При об'ємі 20 м³і більше на одного працюючого повітрообмін повинен

становити не менше $L' = 20$ мЗ/год. При об'ємі 40 мЗі більше на одного працюючого за наявності в приміщенні вікон та дверей повітрообмін не лімітується.

Також для профілактики та підтримки оптимального складу повітря потрібно дотримуватись гігієни приміщення: проводити вологе прибирання, регулярно провітрювати приміщення.

5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [16] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота приміщення. Забезпечити освітлення робочого місця таким чином, щоб не утворювались відблиски від клавіатури та екрану відео монітора в напрямку очей працюючого.

5.2.4 Виробничий шум та вібрації

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [17].

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску в октанових смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску (дБ) в октанових смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Для програмістів операторів ЕОМ (ПЕОМ)	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

При виникненні ситуації коли рівень шуму вище допустимої норми рекомендовано користуватись засобами індивідуального захисту (навушники або протишумові вкладки).

Під час проведення досліджень виробничі вібрації не спостерігаються.

5.2.5 Електромагнітні випромінювання

Під час проведення роботи із використанням ПК на дослідника діє підвищений рівень електромагнітного поля.

Електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, що генеруються ВДТ пов'язані перш за все з частотою формування елемента зображення, а також з інтенсивністю електронного променя, що зумовлює яскравість точок на екрані.

Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК (за вимогами MPR II 1990:10 Шведського національного комітету з вимірювань та досліджень та нормами ТСО 9295) наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Допустимі рівні випромінювань моніторів ПК

Вид поля	ТСО	MPR II
Змінне електричне поле		
5 Гц – 2 кГц	10 В/м	2,5 В/м
2 кГц – 400 кГц	1 В/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	2,5 В/м на відстані 0,5 м навколо монітора
Змінне магнітне поле		
5 Гц – 2 кГц	250 нТл 200 мА/м	250 нТл 200 мА/м
2 кГц – 400 кГц	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора	25 нТл 20 мА/м на відстані 0,3 м від центра екрана і 0,5 м навколо монітора

Для зменшення впливу електромагнітного випромінювання на працівника слід дотримуватися раціонального режиму роботи та відпочинку.

5.3 Пожежна безпека

Основними чинниками пожеж на виробництві є: порушення технологічного режиму роботи обладнання; несправність електроустаткування; погана підготовка обладнання до ремонту; самозаймання деяких матеріалів і речовин тощо

З метою досягнення нормативного рівня безпеки в Україні створено систему пожежної безпеки, яка включає:

- систему протипожежного захисту;
- систему передбачення пожежі.

В приміщенні, де виконувалася робота використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». Пожежну небезпеку несуть у собі лише кабельні електропроводки до обладнання, що є припустимим для даної категорії приміщень [16].

За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [18]. Робоча зона дослідника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту. Можливі причини виникнення пожежі у приміщенні, де здійснювалося дослідження такі:

- несправна електропроводка (іскріння, перегрів провідників, пересихання електроізоляційних матеріалів);
- використання електропобутових пристроїв (електрочайники, обігрівачі); попадання вологи на працююче електрообладнання;
- залишення без нагляду увімкнених комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

5.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії. Причини виникнення, дія на організм людини та нормування небезпечних та шкідливих факторів у приміщенні. Заходи з цивільного захисту. Технічні заходи та засоби оповіщення.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу критеріїв оцінки захищеності корпоративних систем зв'язку з відвідним каналом запропоновано використати як критерій захищеності ВСЗ імовірність бітової (BER) і пакетної похибок (PER), які виникають в легітимному та відвідному каналах ВСЗ. Запропоновано підхід до оцінки захищеності ВСЗ з відвідним каналом на основі їх матричного опису. Такий підхід дає можливість розглядати завадозахищеність та скритність сучасних систем з єдиних позицій.

У процесі проведеного аналізу показано, що розширення спектра сигналу є ефективним засобом боротьби із загороджувальною перешкодою для забезпечення необхідної якості передачі інформації в легітимному каналі зв'язку.

Запропонована структура AP на основі біквадратної антени. Розроблений мобільний активний ретранслятор з механізмом повороту антен дозволяє забезпечити: зв'язок у важкодоступних місцях, швидку тимчасову заміну радіоканалу, що вийшов з ладу, збільшити дальність роботи каналу зв'язку. Покращення результатів можливе шляхом збільшення розмірів рефлектора.

Одним із головних напрямів збільшення пропускної спроможності каналу зв'язку є застосування багаторівневих лінійних сигналів. Збільшення кількості рівнів сигналу (розширення обсягу алфавіту) M призводить до підвищення пропускної спроможності каналу, проте при цьому суттєво зростає складність технічної реалізації як передавача, так і приймача багаторівневого сигналу.

При застосуванні кількох активних ретрансляторів створюється просторова MISO структура, яка дозволяє підвищити продуктивність і зменшити перешкоди легітимного каналу зв'язку.

Доцільність розробки показана шляхом техніко-економічного обґрунтування, наведена охорона праці та безпека життєдіяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук Телекомунікаційні системи. НВП Видавництво „Наукова думка” МАН України, 2017.- 736 с.
2. Телекомунікаційні системи передачі: підручник/ В.М. Кичак, О.М. Шинкарук, Г.Г. Бортник, І.І. Чесановський, О.В. Стальченко. – Хмельницький: Видавництво НАПСУ, 2016. – 424с.
3. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Підручник для студентів вищ. техн. закладів; За ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 312 с
4. Багатоканальний електровз'язок та телекомунікаційні технології [Текст] / за ред. В. В. Поповського. – Харків : «Компанія Сміт», 2003. – 512 с
5. В.К. Стеклов, Беркман Л.Н., Нові інформаційні технології: Транспортні мережі телекомунікацій. -К.: Техніка, 2003. -288 с.
6. НД ТЗІ 3.7-002-99. Технічний захист інформації на програмно-керованих АТС загального користування. Методика оцінки захищеності інформації (базова). - К.: ДСТСЗІ СБУ, 1999.
7. Цопа А.И. Исследование устройства цифровой обработки широкополосных сигналов на ПЛИС для портативных систем связи // Збірка тез науково-практичної конференції «Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах». - Київ: НАУ, 2011.-С. 40.
8. Бойко, Д. А. Оцінка впливу похибки фазової синхронізації на якість ФАПЧ [Текст] / Г. В. Альошин, Д. А. Бойко // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: зб. тез доповідей наук.- практ. конф. – Харків : АВВУ, 2011. – С. 25-27.
9. Альошин, Г. В. Оцінка якості інформаційновимірювальних систем [Текст] / Г. В. Альошин. – Харків : УкрДАЗТ, 2008. – 300 с.
10. НД СТЗІ 2.3-003-2001- Технічний захист мовної інформації в симетричних абонентських аналогових телефонних лініях. Засоби пасивного приховування мовної інформації. Нелінійні атенуатори та загороджувальні фільтри. - К.: ДСТСЗІ СБУ, 2001.- 16 с.

11. Павликевич М.Й. Режим узгодження і перехресні зв'язки у багато провідних лініях // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Автоматика, вимірювання та керування. -2009. - Вип. №639. - С. 3-14.
12. Альошин Г. В., Панченко С. В., Приходько С. І. Оптимізація цифрових систем передачі: Підрчник. –Харків: УкрДУЗТ, 2019. – 142 с., рис. 35.
13. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
14. НАПБА.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.
15. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
16. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042–99 [Електронний ресурс]. –Режим доступу: <http://www.dnaop.com>.
17. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_praop_0_00-7_15-18_01_ua.php
18. СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование[Електронний ресурс] - Режим доступу: https://dnaop.com/html/1671/doc-%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F_2.04.05-91_%D0%A3
19. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
21. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості

трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу:
http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

22. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ІКСТ ВНТУ,
докт. техн. наук, професор
В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ТА
ПРОДУКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ**
08-34.МКР.008.00.000 ТЗ

Керівник роботи
д.т.н., проф. кафедри ІКСТ ВНТУ
Кичак В.М..

Виконавець: ст. гр. ТКС-21м
Морозюк О.В.

Вінниця-2022
1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “14” 09 2022 року № 203 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2022 р.

Дата закінчення: 19.12.2022 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз методів та засобів підвищення продуктивності та захищеності цифрових систем передачі.

Задачами даної магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз та удосконалення методів підвищення заводо захищеності радіоканалів цифрових систем передавання інформації;
- вибір критеріїв оцінювання заводо захищеності ЦСПІ.
- аналіз та удосконалення методів та моделей підвищення продуктивності ЦСПІ;
- моделювання продуктивності та заводо захищеності радіоканалів при розповсюдженні радіохвиль в хвильових каналах архітектурних споруд.

Об'єктом дослідження є пряме перетворення інформаційних сигналів в цифрових системах передавання інформації.

Предметом дослідження є методи забезпечення заводо захищеності критеріїв цифрових систем передавання інформації та підвищення їх продуктивності..

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- аналіз критеріїв та методів оцінювання заводо захищеності ЦСПІ;
- розробка методів підвищення заводо захищеності з використанням технології розширення спектру;
- аналіз методів та засобів підвищення продуктивності ЦСПІ;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;

- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблені в ході виконання роботи методи та засоби підвищення завадо захищеності та продуктивності ЦСП дозволять запропонувати близьку до оптимальної схему розміщення робочих місць і базової станції в приміщенні навчального закладу.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах бакалаврської дипломної роботи. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цієї БДР.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Кувшинов А.В., Вознюк Р.М. Оцінка структурної скритності широкосмугових сигналів.// Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ КПІ «КПІ» . - 2011. - № 1. - С. 106-111.

3.2 М.Ю. Ільченко, С.О. Кравчук Телекомунікаційні системи. НВП Видавництво „Наукова думка” МАН України, 2017.- 736 с.

3.3 Телекомунікаційні системи передачі: підручник/ В.М. Кичак, О.М. Шинкарук, Г.Г. Бортник, І.І. Чесановський, О.В. Стальченко. – Хмельницький: Видавництво НАПСУ, 2016. – 424с.

3.4 НД ТЗІ 3.7-002-99. Технічний захист інформації на програмно-керованих АТС загального користування. Методика оцінки захищеності інформації (базова). - К.: ДСТСЗІ СБУ, 1999.

3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, студент групи ТКС-21м Морозюк О.В.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів та засобів підвищення завадозахищеності та продуктивності цифрових систем передачі інформації.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- завадозахищеність ЦСПІ – 20 дБ;
- робоча частота – 2,45 ГГц;
- дальність роботи точки доступу – 100 м;
- діаграми спрямованості антен на частотах: 2,403 ГГц, 2,484 ГГц, 2,434 ГГц;
- ADSL – смуга частот на кожній під несущій 4,3125 кГц;
- максимальна спектральна щільність потужності передачі для ADSL - 40 дБм/Гц.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз критеріїв оцінювання заводозахисності ЦСПІ	20.09.2022р.	07.10.2022р.	Проведений аналіз	Вступ. Розділ 1.
3.	Аналіз методів та засобів підвищення продуктивності ЦСПІ	08.10.2022р.	28.10.2022р.	Розроблений метод	Розділ 1
4.	Багатофакторний аналіз продуктивності ЦСПІ з xDSL технологіями	29.10.2022р.	18.11.2022р.	Проведений аналіз	Розділ 2
5.	Оцінювання пропускної здатності цифрових систем передавання інформації	19.11.2022р.	25.11.2022р.	Проведений аналіз	Розділ 3
6.	Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) та аналіз економічної ефективності	26.11.2022р.	02.12.2022р.	Економічна частина МКР	Розділ 4
7.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 5
8.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	03.12.2022р.	09.12.2022р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
9.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	12.12. 2022р.	14.12.2022р.	Позитивні відзиви	Відгуки
10.	Захист МКР ЕК		19.12.2022р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- методи та засоби підвищення заводозахисності ЦСПІ;
- методи та засоби підвищення продуктивності ЦСПІ;
- економічна частина МКР;

- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання розробленого ІКМ.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення заводо захищеності та продуктивності цифрових систем передачі інформації.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- нові методи та засоби підвищення заводо захищеності ЦСП;
- нові методи та засоби підвищення продуктивності ЦСП;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання приладу.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б

(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Методи та засоби підвищення заводо захищеності та продуктивності цифрових систем передачі інформації

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)


Показники звіту подібності Unichack

Оригінальність 78,1% Схожість 21,9 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

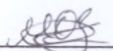
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

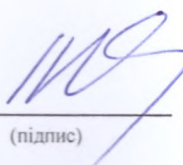
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichack щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Морозюк О.В.
(прізвище, ініціали)

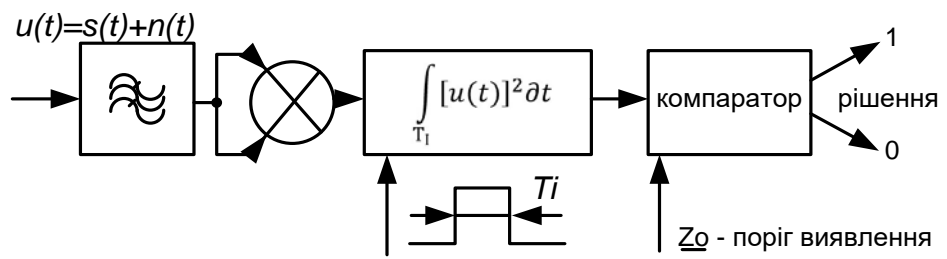
Керівник роботи


(підпис)

Кичак В.М.
(прізвище, ініціали)

Додаток В

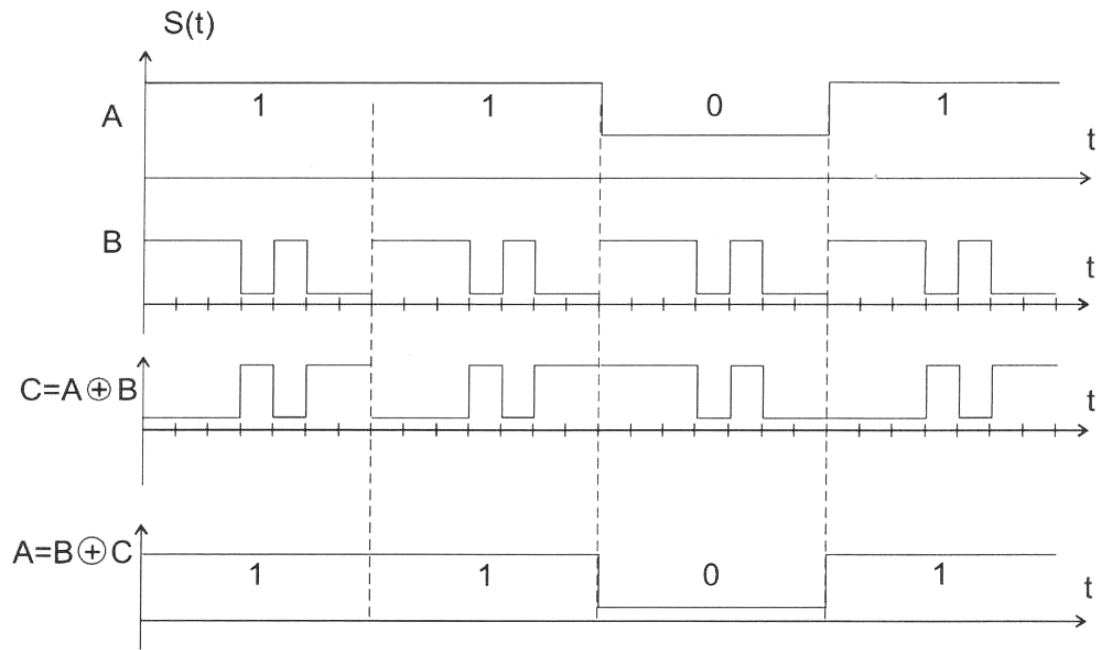
Структурна схема енергетичного приймача-виявника апріорі невідомого сигналу



Додаток Г

Розширення спектру методом прямої послідовності:

A – дані; B-M – послідовність; C – інформаційний сигнал з розширеним спектром

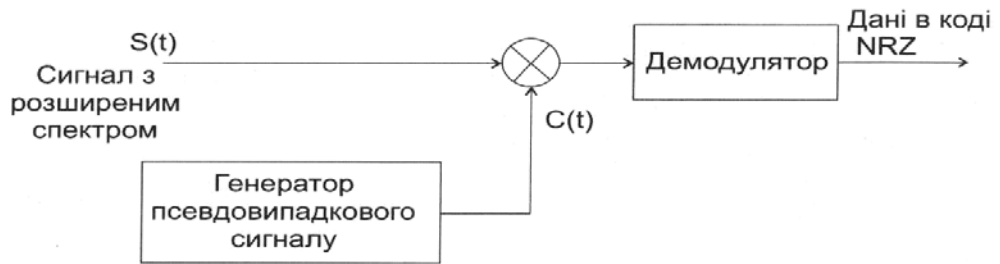


Додаток Д

Структурна схема передавача (а)
Структурна схема приймача (б)



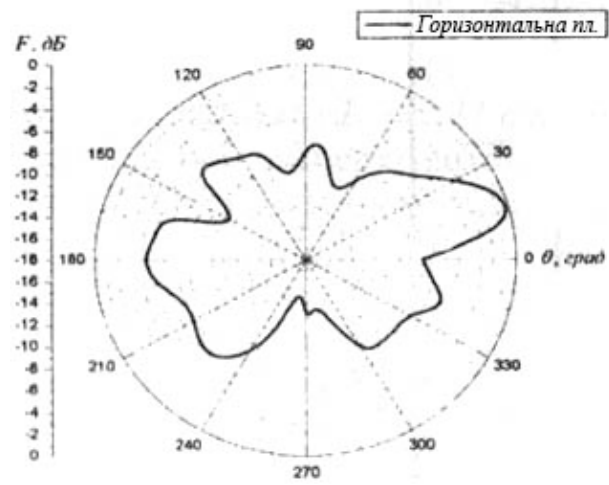
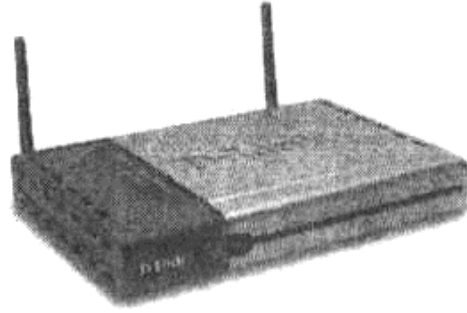
а)



б)

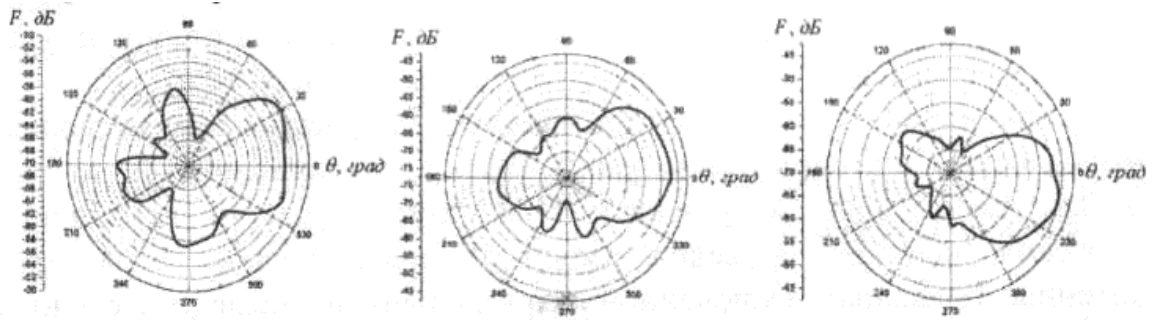
Додаток Е

Бездротова точка доступу D-Link DWL-1000



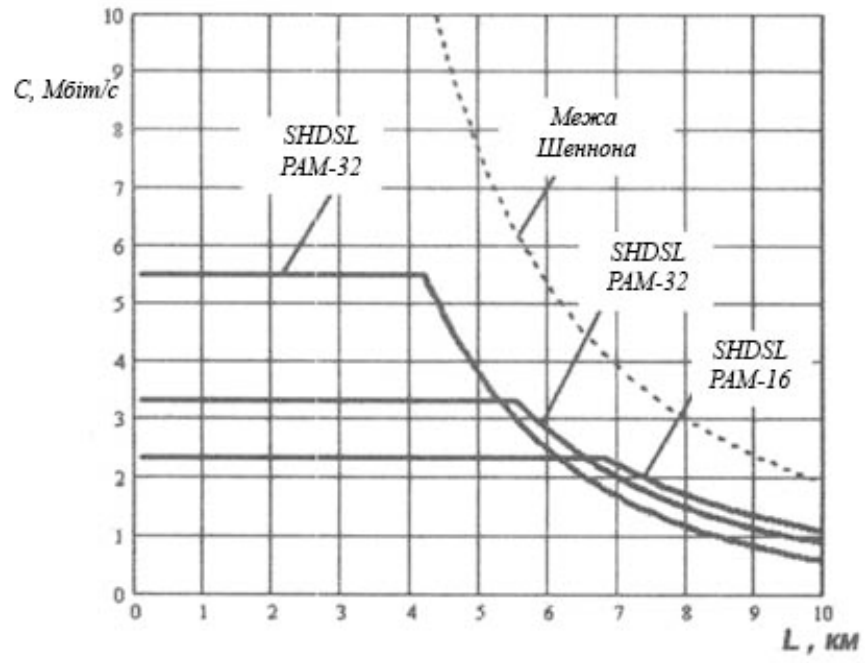
Додаток Ж

Діаграми спрямованості при розвороті антен



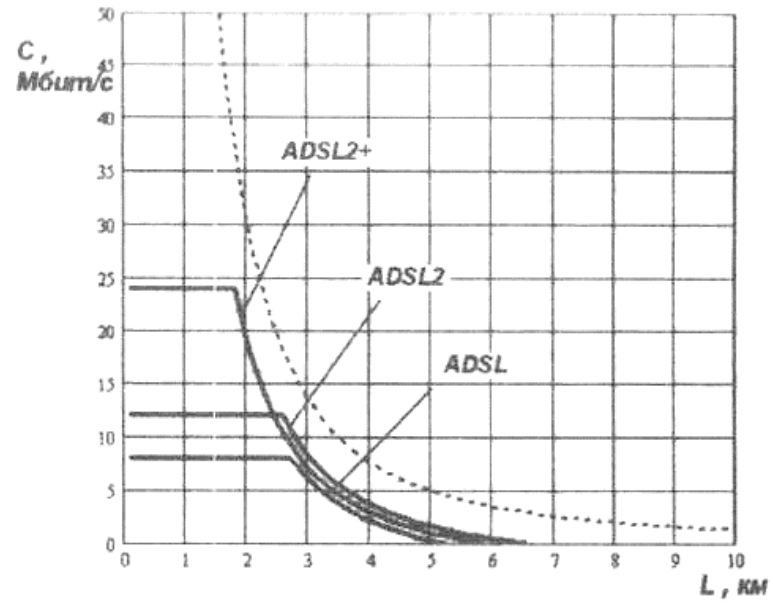
Додаток З

Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для SHDSL технології з кодуванням TC-PAM-16 та TC-PAM-32 для КЛЗ типу ТПП-0,5



Додаток К

Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для технології *ADSL* з модуляцією *DMT* для КЛЗ типу ТПП-0,5



Додаток Л

Залежність швидкості передачі інформації від довжини лінії зв'язку для VDSL
технології для КЛЗ типу ТПП-0,5

