

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Засінко Юлії Віталіївни

академічної групи 172м-17-1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Оптимізація мережі Wi-Fi навчального підрозділу університету

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доцент Галушко О.М.			
розділів:				
спеціальний	к.т.н., доцент Галушко О.М.			
економічний	к.е.н., доцент Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф-м.н., доцент Гусєв А.Ю.			

Дніпро
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Засірко Юлії Віталіївні академічної групи 172М-17-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Оптимізація мережі Wi-Fi навчального підрозділу університету

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень підрозділ університету – територія кафедри безпеки інформації та телекомунікацій

Предмет досліджень мережа Wi-Fi навчального підрозділу університету

Мета оптимізація бездротової локальної Wi-Fi мережі для навчального підрозділу національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Вихідні дані для проведення роботи карта території приміщення, характеристики роутерів

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна полягає у визначенні зон нестійкого прийому на підставі аналізу отриманих результатів обстеження території,

встановленні засобів для покращення якості Wi-Fi мережі.

Практична цінність *створення рекомендацій щодо оптимізації існуючої мережі Wi-Fi, завдяки чому буде забезпечено якісне надання доступу до ресурсів Інтернет, що сприяє підвищенню ефективності навчального процесу*

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Площа покриття та сила радіосигналу за отриманою оптимізованою Wi-Fi мережею повинна бути достатньою для надання якісного покриття по всій території кафедри

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Стан питання. Постановка задачі	27.09.2018 – 6.10.2018
Спеціальна частина	7.10.2018 – 15.11.2018
Економічний розділ	16.11.2018 – 24.11.2018

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект *Затрати на оптимізацію існуючої Wi-Fi мережі будуть значно нижчі, ніж побудова абсолютно нової мережі з новим устаткуванням*

Соціальний ефект *Поширення можливостей доступу до ресурсів Інтернет і як слідство - підвищення ефективності навчання студентів*

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі:

Дата подання до екзаменаційної комісії:

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 80 с., 39 рис., 9 табл., 7 додатки, 32 джерела.

Об'єкт дослідження: навчальний підрозділ університету – кафедра.

Предмет дослідження: мережа Wi-Fi навчального підрозділу університету.

Мета дипломної роботи: оптимізація бездротової локальної Wi-Fi мережі для навчального підрозділу національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

У навчальних закладах бездротовий доступ дозволяє підвищити якість навчання за умов широкого використання мобільних пристроїв. Wi-Fi технологія надає миттєвий доступ до актуальної інформації з Інтернет.

У першому розділі описана і проаналізована технологія Wi-Fi, розглянуто основи проектування безпроводних мереж, виконано аналіз і опис існуючих програм обстеження об'єкту та проектування мережі. Сформульовано завдання на оптимізацію мережі Wi-Fi для навчального підрозділу університету.

У спеціальній частині надана характеристика дослідженої території, обґрунтовано вибір програмного забезпечення, проведено обстеження та планування, розраховані дальності роботи бездротового каналу зв'язку та визначені втрати ефективності сигналу Wi-Fi при проходженні через різні середовища, наведені рекомендації щодо оптимізації мережі.

В економічному розділі визначено розмір капітальних та експлуатаційних витрат для оптимізації мережі.

Практичне значення роботи полягає у створенні рекомендацій щодо оптимізації існуючої мережі Wi-Fi, що поширює можливості доступу до ресурсів Інтернет і сприяє підвищенню ефективності навчального процесу.

БЕЗДРОВОТА МЕРЕЖА, WI-FI, ОБСТЕЖЕННЯ, ОБ'ЄКТ, ТОЧКА ДОСТУПУ, ПОКРИТТЯ, ПЛАНУВАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, NETSPOT, AIRMAGNET SURVEY.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 80 с., 39 рис., 9 табл., 7 приложений, 32 источников.

Объект исследования: учебное подразделение университета – кафедра.

Предмет исследования: сеть Wi-Fi учебного подразделения университета.

Цель дипломной работы: оптимизация беспроводной локальной Wi-Fi сети для учебного подразделения национального технического университета «Днепропетровская политехника».

В учебных заведениях беспроводной доступ позволяет повысить качество обучения в условиях широкого использования мобильных устройств. Wi-Fi технология предоставляет мгновенный доступ к актуальной информации по Интернет.

В первом разделе описана и проанализирована технология Wi-Fi, рассмотрены основы проектирования беспроводных сетей, выполнен анализ и описание существующих программ обследования объекта и проектирования сети. Сформулированы задачи на оптимизацию сети Wi-Fi для учебного подразделения университета.

В специальной части дана характеристика исследованной территории, обоснован выбор программного обеспечения, проведено обследование и планирование, рассчитаны дальности работы беспроводного канала связи и определены потери эффективности сигнала Wi-Fi при прохождении через различные среды, приведены рекомендации по оптимизации сети.

В экономическом разделе определены размер капитальных и эксплуатационных затрат для оптимизации сети.

Практическое значение работы состоит в создании рекомендаций по оптимизации существующей сети Wi-Fi, расширяет возможности доступа к ресурсам Интернет и способствует повышению эффективности учебного процесса.

БЕСПРОВОДНАЯ СЕТЬ, WI-FI, ТД, ОБСЛЕДОВАНИЕ, ПЛАНИРОВАНИЕ, ПОКРЫТИЕ, NETSPOT, AIRMAGNET SURVEY.

ABSTRACT

Explanatory note: 80 pages, 39 figures, 9 tables, 7 appendixes, 32 sources.

The object of research: university's training unit – department

Subject of research: Wi-Fi network of the university's training unit.

Objective: Optimization of wireless local Wi-Fi network for the training unit of the National Technical University "Dnipro Polytechnic".

In educational institutions, wireless access improves the quality of education in the widespread use of mobile devices. Wi-Fi technology provides instant access to relevant information on the Internet.

The first section describes and analyzes the Wi-Fi technology, discusses the basics of designing wireless networks, analyzes and describes the existing facility survey and network design programs. The tasks for optimizing the Wi-Fi network for the educational unit of the university are formulated.

In the special part, the characteristics of the investigated area are given, the choice of software is justified, the survey and planning, the calculated range of the wireless communication channel, and certain losses of Wi-Fi signal efficiency when passing through various environments are conducted, recommendations on network optimization are given.

Economic section defines the size of the capital and operating costs for network optimization.

The practical significance of the work is to create recommendations for optimizing the existing Wi-Fi network, expands the possibilities of access to Internet resources and contributes to the effectiveness of the educational process.

WIRELESS NETWORK, WI-FI, AP, SURVEY, PLANNING, COVERING, NETSPOT, AEROMAGNET OVERVIEW.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AP – Access Point

FDD – Frequency Division Duplex

FSL – free space loss

GPS – Global Positioning System

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IP – Internet Protocol

MAC – Medium Access Control

P2MP – Point to Multipoint

PoE – Power over Ethernet

P2P – Point to Point

RF – Radio Frequency

SIR – Signal-to-interference ratio

SOM – System Operating Margin

SSID – Service Set Identifier

TDD – Time Division Duplex

VoIP – voice over IP

Wi-Fi – Wireless Fidelity

WLAN – Wireless Local Area Network

БІТ– безпеки і телекомунікацій

ТД –точка доступу

ПК – персональний комп'ютер

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Безпроводні технології.....	11
1.2 Основні відомості про технологію Wi-Fi	13
1.3 Стандарти Wi-Fi.....	15
1.4 Види використання Wi-Fi.....	17
1.5 Сфери застосування безпроводних мереж Wi-Fi.....	20
1.6 Основи проектування безпроводних мереж.....	21
1.6.1 Обстеження об'єкту	23
1.6.2 Проведення вимірів	23
1.6.3 Планування Wi-Fi мережі	24
1.7 Аналіз і опис існуючих програм	24
1.7.1 EkaHau Heat Mapper.....	25
1.7.2 EkaHau Site Survey Pro	26
1.7.3 Net Spot.....	28
1.7.5 Tamograph.....	29
1.7.5 NETSCOUT Air Magnet Survey.....	31
1.7.6 Acrylic Wi-Fi Heatmaps.....	33
1.7.7 Visi Wave Site Survey.....	33
1.7.8 Wi-Fi Planner PRO.....	35
1.7.9 Порівняльна таблиця характеристик розглянутого програмного забезпечення.....	37
1.8 Постановка задачі дослідження	38
1.9 Висновки до першого розділу.....	38
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	39
2.1 Характеристики дослідженої території	39
2.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення	41
2.3 Обстеження	41

2.4 Висновки по обстеженню	46
2.5 Планування мережі Wi-Fi.....	47
2.6 Висновки по плануванню	56
2.7 Розрахунок дальності роботи безпроводного каналу зв'язку.....	57
2.8 Висновки до другого розділу.....	63
РОЗДІЛ 3.ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	64
3.1 Розрахунок капітальних витрат.....	64
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	65
3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	66
3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	66
3.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи.....	67
3.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт.....	68
3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії.....	68
3.2.6. Визначення інших витрат.....	68
3.3 Висновки до третього розділу.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
ДОДАТОК А.....	74
ДОДАТОК Б.....	75
ДОДАТОК В.....	76
ДОДАТОК Г.....	77
ДОДАТОК Д.....	78
ДОДАТОК Е.....	79
ДОДАТОК Є.....	80

ВСТУП

Сфера застосування технології Wi-Fi досить широка. Можливо її як комерційне, так і домашнє використання. Зростає також необхідність використання мереж Wi-Fi в освітніх установах. У навчальних закладах бездротовий доступ дозволяє підвищити рівень і якість навчання за умов широкого використання мобільних пристроїв. Wi-Fi дає миттєвий доступ до найбільш актуальної інформації з мережі Інтернет, будь-які довідкові посібники, бібліотеки. Тому важливо забезпечити якомога більше покриття бездротовою мережею не тільки навчальних приміщень, а й прилеглу територію, де це необхідно.

Важливо приділяти увагу плануванню та проектуванню Wi-Fi на етапі розгортання мережі або її оптимізації. Обов'язково потрібно знайти та передбачити всі нюанси, які можуть вплинути на якість роботи мережі в майбутньому. Сприяє в цьому радіообстеження на початковому етапі проектування бездротової мережі, що враховує план приміщення, проект установки точок доступу Wi-Fi, особливості поширення радіохвиль.

В даній роботі проведена оптимізація існуючої безпроводної Wi-Fi мережі навчального підрозділу університету за допомогою сучасних технологій обстеження об'єкту та проектування мережі з метою досягнення якісного надання доступу до ресурсів Інтернет, що сприяє підвищенню ефективності навчального процесу.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Безпроводні технології

Безпроводні технології — підклас інформаційних технологій, які виконують функцію передачі інформації між двома і більш точками на відстані, не вимагаючи дротового зв'язку. Для передачі інформації можуть використовуватися радіохвилі, а також інфрачервоне, оптичне або лазерне випромінювання.

Існує безліч безпроводних технологій, найчастіше відомих по маркетингових назвах, таких як Wi-fi, WIMAX, Bluetooth та інші. Кожна технологія має певні характеристики, які визначаються її сферою застосування.

Існують різні підходи до класифікації безпроводних технологій.

По дальності дії:

- безпроводні персональні мережі (WPAN — Wireless Personal Area Networks), приклад технології — Bluetooth.
- безпроводні локальні мережі (WLAN — WirelessLocalAreaNetworks), приклад технології — Wi-fi.
- безпроводні мережі масштабу міста (WMAN — Wireless Metropolitan Area Networks), приклад технології — WIMAX.
- безпроводні глобальні мережі (WWAN — Wireless Wide Area Network), приклади технологій — CSD, GPRS, EDGE, EV-DO, HSPA, UMTS, LTE, LTE Advanced.

Класифікація безпроводних технологій за дальністю дії наведена на рисунок 1.1.

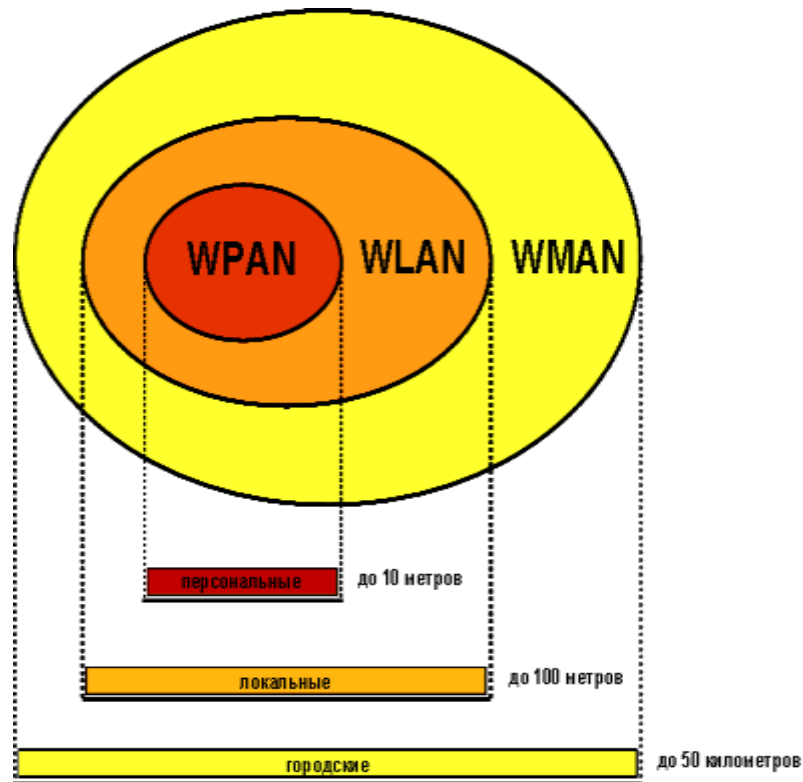


Рисунок 1.1 –Класифікація безпроводних технологій за дальністю дії

По топології:

- «Точка-точка».
- «Точка-багатоточок».

По сфері застосування:

- корпоративні (відомчі) безпроводні мережі — створювані компаніями для власних потреб.
- операторські безпроводні мережі — створювані операторами зв'язки для відшкодувального надання послуг.

Коротким, але ємким способом класифікації може служити одночасне відображення двох найбільш істотних характеристик безпроводних технологій на двох осях: максимальна швидкість передачі інформації і максимальна відстань. Класифікація за дальністю дії та швидкістю передачі приведена на рисунку 1.2.[2]

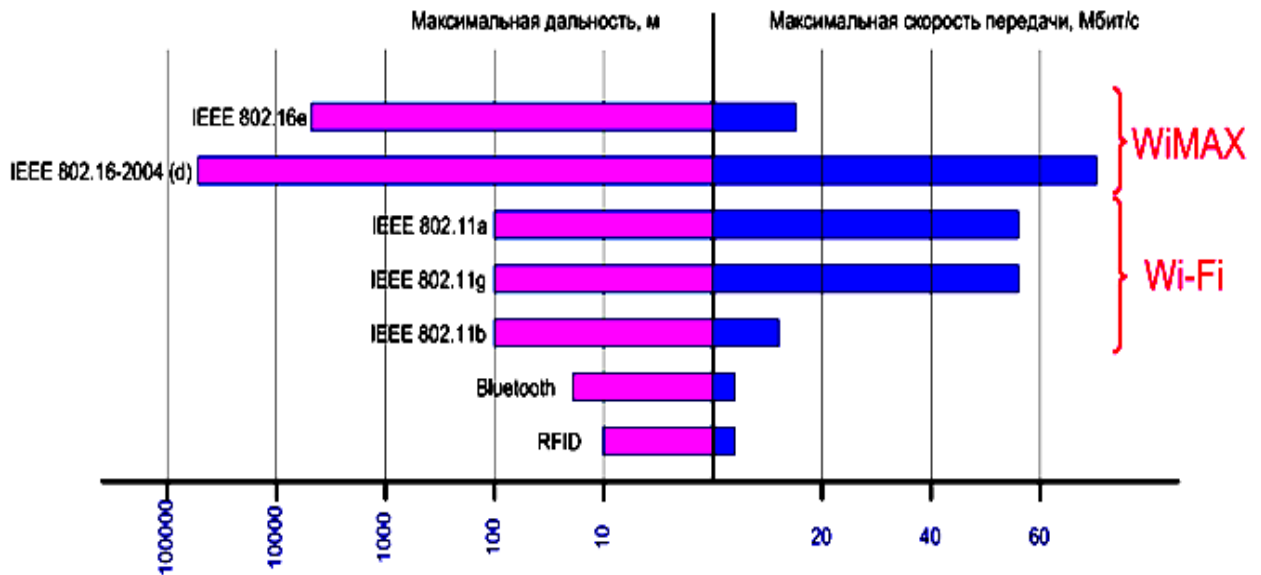


Рисунок 1.2 – Класифікація за дальністю дії та швидкістю передачі

1.2 Основні відомості про технологію Wi-Fi

Це сучасний стандарт здобуття і передачі даних від одного пристрою до іншого. При цьому пристрої мають бути оснащені радіомодулями. Такі модулі Wi-fi входять до складу багатьох електронних приладів і техніки. Спочатку вони входили лише в комплект планшетів, ноутбуків, смартфонів. Але тепер їх можна знайти у фотоапаратах, принтерах, пральних машинах, і навіть мультиварках.[3]

Принцип роботи технології Wi-Fi базується на використанні радіохвиль, а сам обмін даними нагадує переговори з радіозв'язку. Зазвичай схема Wi-Fi - мережі містить не менш однієї точки доступу і не менш одного клієнта. Також можливе підключення двох клієнтів, коли точка доступу не використовується, а клієнти з'єднуються за допомогою мережевих адаптерів "безпосередньо". Адаптери на кожному комп'ютері здійснюють перетворення цифрових даних в радіосигнали, які передаються на інші мережеві пристрої. Вони ж перетворюють радіосигнали, що входять, від зовнішніх мережевих пристроїв в цифрові дані. Радіопередавачі і приймачі однієї Wi-Fi- мережі

працюють на одних і тих же частотах і використовують один і той же вид модуляції даних в радіохвилі.

Wi-Fi- мережі працюють в спеціальних діапазонах радіочастот "2,4" і "5" ГГц, які зарезервовані у більшості країн світу під так звані радіослужби, що не ліцензуються, тобто такі, які можна використати, не отримуючи ліцензію на радіостанцію.

Для підключення до мережі необхідно знати ідентифікатор мережі. Точка доступу передає його за допомогою спеціальних сигнальних пакетів на швидкості 0,1 Мбіт/с кожні 100 мілісекунд. Тому 0,1 Мбіт/с - найменша швидкість передачі даних Wi-Fi. Знаючи ідентифікатор мережі, клієнт може з'ясувати, чи можливе підключення до цієї точки доступу. При попаданні в зону дії двох точок доступу з ідентичними ідентифікаторами приймач може вибирати між ними на підставі даних про рівень сигналу. Стандарт Wi-Fi дає клієнтові повну свободу при виборі критеріїв для з'єднання. Можливості підключення пристроїв зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Можливості підключення пристроїв

Завдяки великій зоні дії роутерів (маршрутизаторів) за умови відсутності перешкод – близько 50-100 метрів, користувач може легко переміщатися по приміщенню зі своїм пристроєм, не переживаючи про переривання зв'язку. У пам'яті роутера зберігається таблиця маршрутизації, що містить шляхи до усіх пристроїв, приєднаних до точки доступу. При цьому ширина каналу доступу до інтернету, що надається провайдером, рівномірно розподілена між усіма підключеними пристроями. [4]

Згідно із законодавством України використання Wi-Fi без дозволу Українського державного центру радіочастот (укр. Український державний центр радіочастот) можливо лише у разі використання точки доступу із стандартною всюди спрямованою антеною (< 6 дБ, потужність сигналу ≤ 100 мВт на 2,4 ГГц і ≤ 200 мВт на 5 ГГц) для внутрішніх (використання усередині приміщення) потреб організації (Рішення Національної комісії з регулювання зв'язку України № 914 від 2007 .09. 06). У разі використання зовнішньої антени необхідно реєструвати передавач і отримати дозвіл на експлуатацію радіоелектронного засобу від ДП УДЦР. Крім того, для діяльності за поданням телекомунікаційних послуг із застосуванням WiFi необхідно отримати ліцензію від "НКРЗІ". [5]

1.3 Стандарти Wi-Fi

Стандарти Wi-Fi наведені в таблиці 1.1.[6]

Типовий IEEE 802.11b/g маршрутизатор з середньою по потужності антеною, здатний передавати сигнал на відстань ~ 30 метрів в приміщенні і ~ 100 метрів на відкритому повітрі. Стандарт IEEE 802.11n може перевищувати це обмеження майже в два рази. Стандарт IEEE 802.11a має ще менший діапазон з-за використовуваного спектру частот 5 ГГц. Для передачі сигналу на великі відстані (від 100 метрів), використовуються спрямовані Wi-Fi антени.

Якщо точок доступу багато в одній області, це сприяє "забрудненню і заторам" сигналу. Перешкоди викликають обриви сигналу, зниження

швидкості і збільшення затримок. Перешкоди також можуть бути викликані пристроями, що використовують той же діапазон випромінювання 2,4 ГГц.[7]

Таблиця 1.1 – Стандарти Wi-Fi

Стандарт IEEE	Рік прийняття	Частота	Макс. швидкість передачі	Макс. відстань
802.11a	1999	5 ГГц	54 Мбіт/с	120 м
802.11b	1999	2.4 ГГц	11 Мбіт/с	140 м
802.11g	2003	2.4 ГГц	54 Мбіт/с	140 м
802.11n	2009	2.4/5 ГГц	600 Мбіт/с	250 м
802.11ac	2014	5 ГГц	1 Гбіт/с	300 м
802.11af	2014	2.4/5 ГГц	26,7-568 Мбіт/с (в залежності від каналу)	300 м
802.11ac Wave 2	2015	5 ГГц	3,47 Гбіт/с	300 м
802.11ad	2016	60 ГГц	7 Гбіт/с	10 м
802.11ah	2016	2.4/5 ГГц	347 Мбіт/с	300 м
802.11ax	2019	2.4/5 ГГц	10 Гбіт/с	300 м
802.11ay	кінець 2019	60 ГГц	100 Гбіт/с	300-500 м
802.11az	2021	60 ГГц	Частота оновлення при відстежуванні пристроїв - 0,1-0,5 Гц	Точність – 0,1-1м

Якщо вимагатися побудувати локальну мережу у великому офісі, при цьому ефір в цій локації у край забруднений, краще використати нові роутери з підтримкою частот 5 ГГц, це сприяє побудові мережі, яка буде захищена від перешкод сторонніх мереж. Діапазон 2,4 ГГц стає усе більш завантаженим унаслідок повсюдного поширення безпроводних мереж. У приведеній вище таблиці видно, що більшість стандартів використовують саме його. Незалежно від того, працює пристрій з 802.11b, 802.11g або 802.11n – дані передаються по одному й тому ж каналу. Крім того, на 2,4 ГГц частоті можна

виділити лише 3 окремі канали передачі даних, тоді як на 5 ГГц - дев'ятнадцять.[8]

1.4 Види використання Wi-Fi

Мережі Wi-Fi можна будувати в різних конфігураціях залежно від умов де вимагається їх розгортання. Принципи побудов Wi-Fi-мережі бувають таких типів:

- точка доступу (Access Point, або скорочено AP);
- з'єднання точка-точка (Point to Point, P2P);
- з'єднання точка-мультиточка (Point to Multipoint, P2MP).

AP– один з найбільш поширених типів мереж. Використовується удома або в офісах у вигляді поєднання безпроводної точки доступу і маршрутизатора, як показано на рисунку 1.4. Найчастіше такі Wi-Fi мережі призначені для доступу в інтернет, але можуть виконувати і інші цілі, наприклад організовувати локальну мережу без доступу в інтернет.

Підключення має наступну структуру:

- маршрутизатор призначає IP- адреси і забезпечує брандмауер між мережею і Інтернетом;
- безпроводна точка доступу (AP) створює безпроводний міст між маршрутизатором і об'єктами користувачів;
- об'єкти користувачів - планшети, смартфони, ПК.

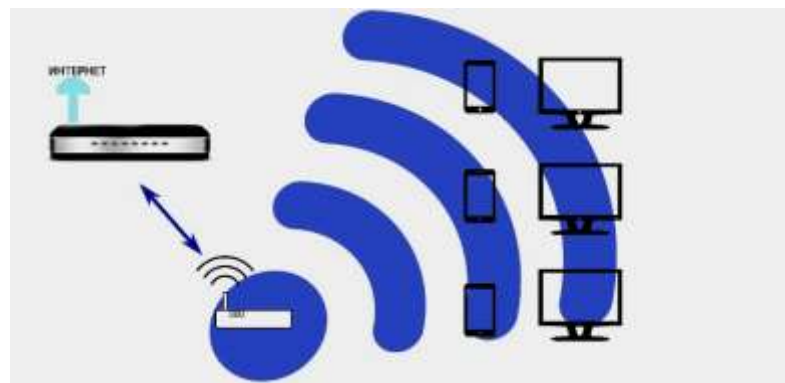


Рисунок 1.4 –Принцип побудови точки доступу Wi-Fi

P2P використовується для безпроводного зв'язку двох маршрутизаторів, коли треба об'єднати дві локальні мережі або два ПК. Таке з'єднання можна використати, наприклад, для з'єднання двох будинків на відстані більш 100 м, як на рисунку 1.5.

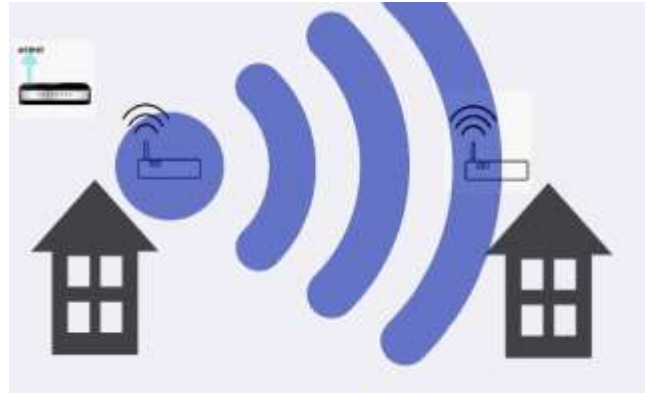


Рисунок 1.5 –Рядове устаткування для мереж точка-точка можна використати для відстаней близько 100 м в зоні прямої видимості

Найчастіше P2P застосовується для зв'язку двох комп'ютерів або двох точок доступу на великій відстані. Для дальності понад 500 м використовуються секторні, параболічні або панельні спрямовані антени. При вартості приблизно \$300 такі антени забезпечують дальність передачі безпроводного сигналу в 5-10 км на частоті 5 ГГц (у режимах FDD, TDM).

З'єднання точка-точка може складатися з ланцюжка приймачів і передавачів. Таким чином можна передавати сигнал Wi-Fi на велику відстань в умовах, коли прокладення кабелів скрутне.

P2MP використовує один потужний передавач, який транслює Wi-Fi сигнал безлічі користувачів, як зображено на рисунку 1.6. Зазвичай така схема підключення використовується провайдерами для надання послуг доступу в Інтернет.

Підключення точка-мультиточка має наступну структуру:

- модем с доступом в Інтернет;

- точка доступу з потужною всюди спрямованою антеною для трансляції стрибала Wi-Fi;
- клієнтські приймаючі пристрої, які передають сигнал на безпроводну точку доступу користувача.

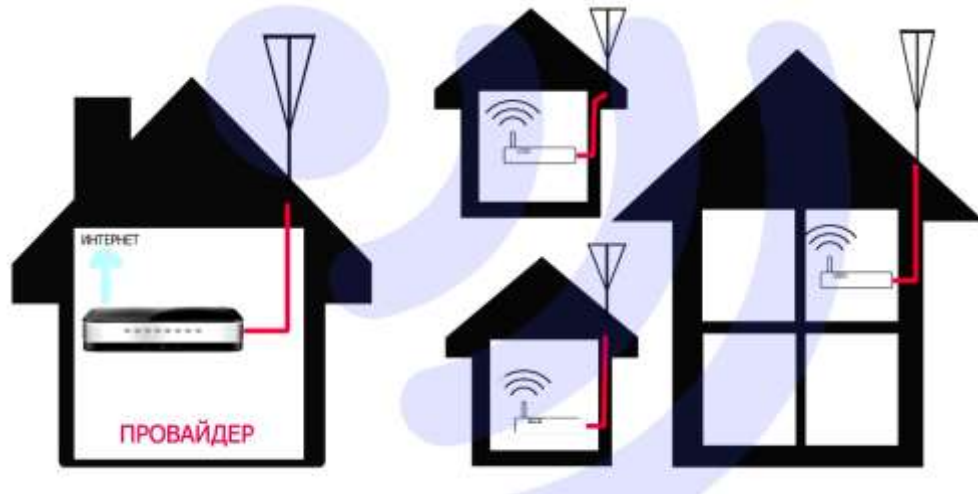


Рисунок 1.5 –З'єднання точка-мультиточка дозволяє підключити до мережі безліч користувачів на значній площі

З'єднання точка-мультиточка широко застосовується в умовах міста, наприклад для організації мережі відеоспостереження, в якій відеокамери можуть бути віддалені від операторського центру на кілометри. Найчастіше з'єднання P2MP використовується для безпроводного доступу в Інтернет і IP-телефонії.

Кількість абонентів в мережі точка-мультиточка залежить від характеристик устаткування і необхідної швидкості підключення у кожного з кінцевих користувачів. Кількість абонентів обмежена пропускною швидкістю базової станції, підключеної до основного мережевого ресурсу (сервер, Інтернет). Зростання кількості абонентів веде до зниження швидкості доступу в мережу у кожного з абонентів, підключеного до своєї точки доступу. Також швидкість доступу знижується разом з падінням рівня сигналу.

Невеликі точки доступу обладнані низькопродуктивним чіпсетом тому зазвичай забезпечують швидкість близько 50 Мбіт/с і обслуговують 10-15 абонентів.

Коли треба забезпечити зв'язком більшу кількість абонентів або забезпечити надійний зв'язок на складному рельєфі місцевості, застосовують продуктивні точки доступу з секторними антенами. Вони направляють усе випромінювання точки доступу у бік абонентів в межах сектора від 30 до 180 градусів. Це дозволяє підвищити якість зв'язку при тій же або меншій потужності передавача. Наприклад, точка доступу Edimax EW - 7303apn V2 зі вбудованою секторною антеною забезпечує швидкість до 150 Мбіт/с (802.11n, 2,4 ГГц). [9]

1.5 Сфери застосування безпроводних мереж Wi-Fi

Сфера застосування технології Wi-Fi дуже велика. Можливо, як і домашнє використання, так і комерційне. Основне призначення безпроводного зв'язку в побуті –це вхід в інтернет для відвідування сайтів, спілкування в мережі, скачування файлів. При цьому немає нужди в дротах. З часом прогресує поширення точок доступу по території міст. В майбутньому можна буде користуватися інтернетом за допомогою мережі Wi-Fi у будь-якому місті без обмежень.

Такі модулі застосовуються для створення мережі усередині обмеженої території між декількома пристроями. Багато фірм вже розробили мобільні застосування для мобільних гаджетів, які дають можливість обмінюватися інформацією через мережі Wi-Fi, але при цьому не підключаючись до інтернету. Це застосування організовує тунель шифрування даних, по якому передаватиметься інформація іншій стороні. [3]

Наприклад, кафе і ресторани, де Інтернет по мережі Wi-Fi надають гостям закладу для приємнішого і зручнішого проведення часу. Також Wi-Fi встановлюють на різних підприємствах для зручного і швидкого обміну

даними між співробітниками і їх зв'язки із зовнішніми організаціями з робочих питань. [10]

Використання Wi-Fi в медицині – це миттєвий доступ до найбільш актуальної інформації з мережі Інтернет, будь-які довідкові посібники, можливість виписувати рецепти одним дотиком до екрану, зберігання і резервування усіх записів про пацієнтів на серверах, і тому подібне.

Окрім комерційного використання, набирає оберти тенденція розгортання мереж Wi-Fi в освітніх установах. У школах і університетах безпроводний доступ з планшетних ПК повністю переводить увесь освітній процес в інтерактивне середовище, що дозволяє значно підвищити якість і рівень навчання. Для відвідування лекцій не обов'язково фізично знаходитися в аудиторіях, вирішується питання доступу до носіїв інформації : паперовим посібникам, бібліотекам, розкладам.[11]

1.6 Основи проектування безпроводних мереж

Будь-яка безпроводна мережа – це обстановка оточення, що постійно змінюється, нестабільний зашумлений ефір і безліч абонентів, кожному з яких необхідно надати сервіс високої якості. Тому, при розгортанні будь-якої Wi-Fi мережі, потрібна ретельна підготовка вхідних даних і детальне проектування інфраструктури Wi-Fi.[12]

Дуже важливо приділяти увагу плануванню і проектуванню Wi-Fi до розгортання мережі. Ця технологія має свої особливості, які слід врахувати ще на початковій стадії проектування. Обов'язково треба виявити і передбачити усі "підводні камені", які згодом можуть вплинути на якість роботи мережі Wi-Fi надалі. Допомагає в цьому радіообстеження об'єкту на початковому етапі проектування безпроводної мережі, що враховує план приміщення, проект установки точок доступу Wi-Fi, особливості поширення радіохвиль.

Передусім, слід переконатися в актуальності креслень будівлі (приміщення), де проводитимуться роботи по монтажу. План Wi-Fi

передбачає завантаження цих креслень в програму, щоб наочно бачити, де, що і як функціонує.

Важливий і матеріал, використаний при будівництві приміщення. У разі розміщення точок доступу у безпосередній близькості від металевих конструкцій сигнал може згаснути дуже сильно.

Проектування Wi-Fi – мережі повинне враховувати інтерференцію, здатну завадити нормальному функціонуванню мережі стандарту Wi-Fi, в тривимірному просторі. Наприклад, на планованій частоті Wi-Fi вже може працювати безпроводна відеокамера. В цьому випадку, є великий ризик негативної дії інтерференції на якість прийому і передачі сигналу і швидкість Wi-Fi з'єднання.

Оскільки максимальну швидкість Wi-Fi забезпечити практично утруднено, не варто налаштовувати усі точки доступу на граничну передавальну потужність. У разі виникнення проблем з покриттям, потужність завжди можна збільшити.

При проектуванні мережі усередині будівлі слід врахувати поглинаючі здібності стін, дверей. Поширюючись, сигнал не лише огинає перешкоди, але і проходить крізь них. Коефіцієнт поглинання сигналу різний.

Радіочастотні виміри при створенні Wi-Fi мережі в приміщенні повинні проводитися до початку розставляння і комплектації усього устаткування. Це, по суті, єдина можливість створити працездатну безпроводну мережу з передбачуваними характеристиками.

Основна мета радіо обстеження – отримання максимум інформації для визначення кількості і місця установки точок доступу з метою необхідного покриття усієї цільової зони. Виконання такого завдання проводиться із застосуванням спеціального устаткування для виміру покриття Wi-Fi усередині приміщень. [13]

У кожному окремому випадку обстановка на об'єкті унікальна. Розташування стін, перегородок, металевих меблів – усе це впливає на проходження сигналу Wi-Fi. Десь досить встановити 2-3 точки доступу на

поверх, щоб забезпечити повне покриття території офісу, а десь треба встановлювати десятки точок доступу і спрямовані антени для забезпечення повного покриття в закритих приміщеннях, коридорах з цегляними і залізобетонними перегородками.

1.6.1 Обстеження об'єкту

Проектування будь-якої мережі Wi-Fi розпочинається з виїзду на об'єкт. На виїзді отримують план приміщення з розмірами, визначають матеріали стін і конструкцій, наявних в оточенні. Відзначаються типи приміщень і можлива кількість безпроводних клієнтів в них. Ведеться робота з технічною документацією на існуючі системи – структуровані кабельні системи, системи контролю доступу, відеоспостереження, електропостачання і так далі. Визначаються можливі джерела перешкод: безпроводні камери відеоспостереження, DECT телефонія, мікрохвильові печі, мережі Bluetooth і інші високочастотні пристрої. Також, джерелами перешкод може бути потужне електроустаткування і електромотори.

Узгоджуються усі параметри проектованої мережі: діапазон, в якому функціонуватиме мережа (2,4 ГГц і 5 ГГц), стандарт мережі (802.11 a/b/g/n) необхідний відсоток покриття приміщень, сервіси, безпека, швидкість, параметри роумінгу клієнтів, кріплення точок доступу і інші не менш важливі характеристики. Потім визначають політику безпеки безпроводної мережі, необхідність розділення мережі на гостьовий і внутрішній доступ, необхідність визначення місця розташування кожного клієнта, типи шифрування і аутентифікації користувачів, можливість автоматичного моніторингу стану радіоефіру і виявлення шкідливих пристроїв.

1.6.2 Проведення вимірів

Проведення вимірів з реальним устаткуванням іншими словами називається Site Survey. Знімається реальна карта покриття приміщень від точок доступу. В процесі вимірів точки встановлюються в кожній

розрахунковій позиції. Виміри проводяться ноутбуком або планшетним ПК, в реальних розташуваннях клієнтів за робочими місцями, на будь-яких поверхнях, сидячих місцях, на яких можлива робота. Окрім цього, знімаються карти покриття існуючих мереж для встановлення зон з можливою інтерференцією (спотворенням інформації в результаті дії перешкод) і уточнення якості проходження сигналу в приміщенні. За результатами Site Survey вносяться коригування в план розміщення устаткування, а також уточнюється кількість точок доступу, необхідних для забезпечення проектних параметрів системи. При надмірній кількості зайві точки доступу виключаються з кошторису. У разі виявлення зон з незадовільним рівнем сигналу, устаткування переміщують і знаходять оптимальне положення, або збільшують кількість точок доступу. Тим самим оптимізується рівномірність покриття будівлі і можливість надання сервісу належної якості, а також стабільність роумінгу клієнтів між точками доступу. Як правило, проведення Site Survey дає найбільш точну конфігурацію мережі, що відповідає усім потребам більш ніж на 95%.

1.6.3 Планування Wi-Fi мережі

Як правило, розробка системи проводиться із застосуванням програмного комплексу автоматизованого проектування безпроводних мереж. Ця система дозволяє змодельовати реальну обстановку на об'єкті і розрахувати попередню кількість устаткування, карту його розміщення і покриття, типи антен, межі областей обслуговування точок доступу і багато інших засадничих параметрів. На підставі цих даних проводиться остаточний вибір устаткування і складання попередньої специфікації. Ця пропозиція буде на 70-85% задовольняти умовам на проектування. [14]

1.7 Аналіз і опис існуючих програм

Для роботи з великими безпроводними мережами представлена на ринку достатня кількість хороших багатofункціональних програмних

рішень, що дозволяють здійснювати усебічне тестування Wi-Fi-мереж. Розглянемо деякі з них.

1.7.1 EkaHau Heat Mapper

EkaHau Heat Mapper — це картографічний програмний інструмент для розгортання невеликих безпроводних мереж рівня будинку і визначення оптимального місця розташування установки точки доступу. Вікно програми зображено на рисунку 1.6. Це спрощена безкоштовна версія професійних рішень від компанії EkaHau. Цей програмний продукт надає таку ж мережеву інформацію, як і Wi-Fi сканер безпроводних мереж, але при цьому ще і генерує теплову Wi-Fi карту, щоб можна було наочно візуалізувати рівні сигналів. У рамках цього огляду мова піде про версію 1.1.4.

Програмне забезпечення пропонує можливість створення плану або макету об'єкту, який досліджується, а також проектування топології безпроводної мережі по координатній сітці для приблизного орієнтування.

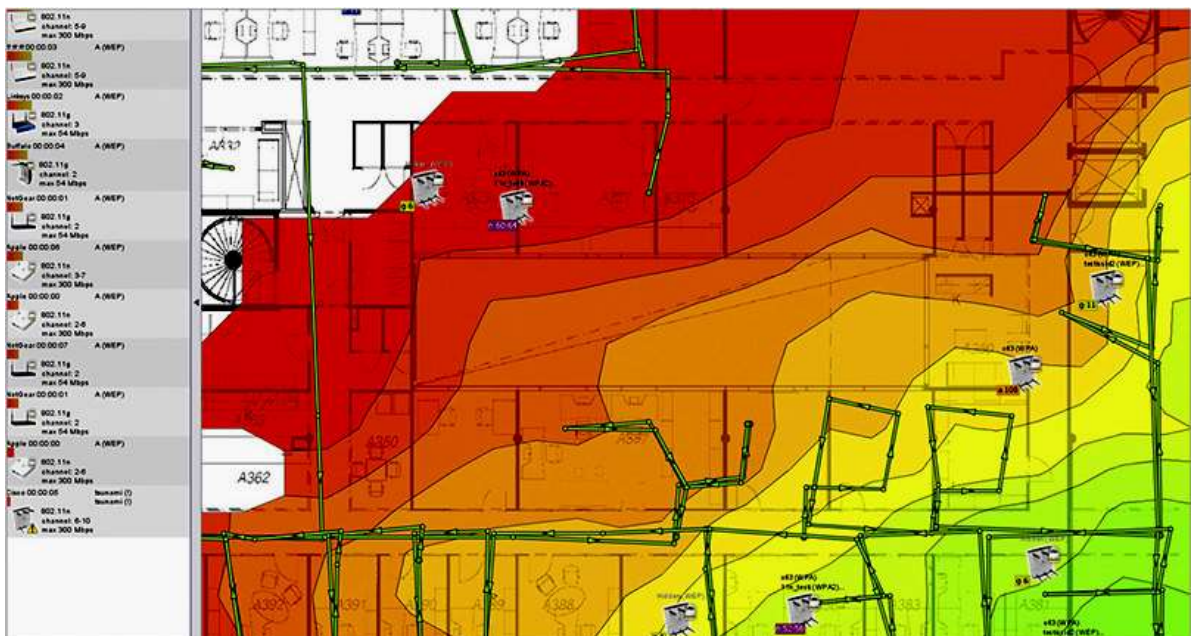


Рисунок 1.6 Вікно програми EkaHau Heat Mapper

На лівій стороні основного екрану призначеного для користувача інтерфейсу відображається список безпроводних мереж і їх дані, які сортуються по сигналу, каналу, SSID, MAC- адресі і типу захисту. Цей список включає основну інформацію, але не містить значень рівня сигналу в дБм і процентному співвідношенні. Крім того, додаток не розпізнає мережі з підтримкою стандарту 802.11ac, визначаючи їх як 802.11n.

Використовуючи EkaHau Heat Mapper, як і при роботі з іншими картографічними інструментами, потрібно позначити своє поточне місце розташування на карті, поки робиться обхід будівлі, щоб згенерувати теплову карту покриття WiFi. EkaHau Heat Mapper автоматично вичислить місце розташування точок доступу і розмістить їх на карті. Після того, як усі дані будуть зібрані, сформується інтерактивна теплова карта покриття Wi-Fi. Так, наприклад, при наведенні курсора на іконку точки доступу окремо підсвічуватиме її покриття; а при наведенні курсора на область теплової карти з'явиться спливаюче вікно підказки для показника рівня сигналу, що приймається, з негативним значенням рівня сигналу у дБм для цієї точки.

По відгуках програмне рішення EkaHau Heat Mapper є занадто спрощеним картографічним Wi-Fi сканером: з безкоштовної версії виробники прибрали майже увесь додатковий функціонал, зробивши це рішення дійсно домашньою версією. Крім того, єдина доступна можливість для експорту або збереження - це просто зробити скриншот карти.

Проте, рішення EkaHau Heat Mapper можна використати для невеликих мереж або для отримання базового уявлення про те, як працюють професіональні інструменти на основі карт.[14]

1.7.2 EkaHau Site Survey Pro

EkaHau Site Survey PRO допомагає спланувати, побудувати і модернізувати Wi-Fi інфраструктуру. Цей продукт, упродовж багатьох років зберігає свою репутацію найпростішого у використанні інструменту для професійного тестування, обслуговування і усунення проблем з Wi-Fi в

корпоративних мережах. Легкі для розуміння карти покриттів, як на рисунку 1.7, і легко генеровані звіти, зроблять оптимізацію безпроводних мереж Wi-Fi набагато легше.

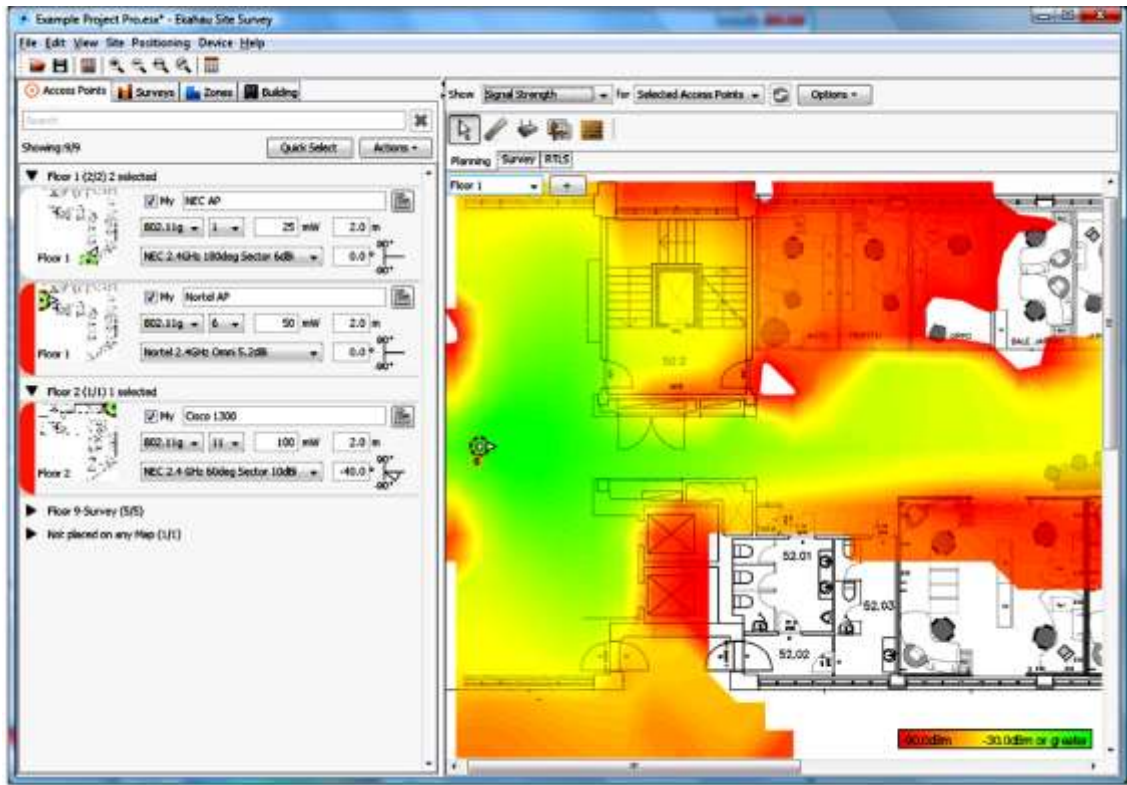


Рисунок 1.7 Вікно програми Ekahau Site Survey Pro

Ekahau Site Survey дозволяє планувати і створювати Wi-Fi мережі, відповідно до конкретних вимог продуктивності і масштабованості. Кількість безпроводних клієнтів нестримно росте. Їм потрібна велика швидкість і стабільність зв'язку для роботи з новими застосуваннями, VoIP, потоковим HD відео і просто для перегляду Web сторінок.

3D планування Wi-Fi мережі:

Ekahau Site Survey допомагає: правильно розмістити і настроїти точки доступу Wi-Fi, спланувати покриття Wi-Fi мережі, заздалегідь оцінити продуктивність і пропускну спроможність у 3D форматі.

Гібридне тестування Wi-Fi:

У одному дослідженні Wi-Fi мережі можна об'єднати декілька варіантів тестування: активне обстеження (оцінка пропускної спроможності точка - точка), пасивне обстеження і аналіз спектру. Попереднє налаштування не потрібно.

Екахау настійно рекомендує використати додаткове облаштування Ekaхаu Sidekick ТМ для прискорення роботи, точніших результатів і одночасного аналізу спектру. Проте, високопродуктивний Wi-Fi адаптер для обстеження поставляється в комплекті. Він також чудово підійде для обстеження, просто швидкість буде в два рази нижче і не буде повної інтеграції із спектральним аналізом.

1.7.3 Net Spot

Додаток Net Spot [15] – це програмне рішення для дослідження, аналізу і поліпшення Wi-Fi мереж, що зображено на рисунку 1.8. Комерційна версія використовує картографічний інструментарій для теплової візуалізації зон покриття, проте у безкоштовній версії для домашнього використання він недоступний. Проте, це рішення пропонується, як для операційних мереж Windows, так і macOS. [14]

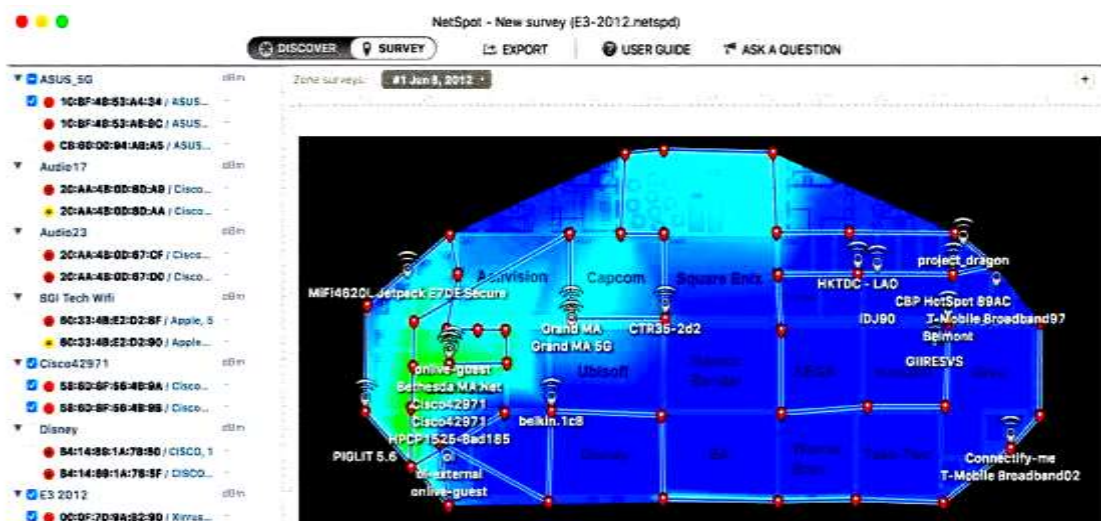


Рисунок 1.8 Вікно додатку Net Spot

Аналіз безпроводних Wi-Fi мереж - це основна функція Net Spot. Досить пройтися по досліджуваній території, відмічаючи на карті своє положення, і вже через декілька секунд Net Spot покаже усю інформацію про знайдені мережах Wi-Fi. Доступно більш 15 візуалізацій, які допомагають визначати проблемні ділянки і покращувати Wi-Fi покриття, завдяки аналізу кожної точки доступу, Net Spot дає можливість диференціювати інформацію від загальнозрозумілої до детальнішої (для професійного налаштування мережі).

Пасивні виміри:

- відношення сигнал/шум;
- рівень сигналу;
- кількість точок доступу;
- рівень шуму;
- відношення сигнал/інтерференція;
- охоплення частотного діапазону;
- охоплення фізичного режиму передачі даних.

Активні виміри:

- тест продуктивності Iperf 3 або інші сервери тестування швидкості;
- швидкість інтернету;
- швидкість безпроводної передачі даних;
- Iperf швидкості інтернету і спотворення сигналу.

Net Spot збирає усю інформацію про навколишні мережі Wi-Fi і показує її в інтерактивній таблиці. Це дозволяє проводити зручну діагностику мереж і покращувати їх покриття, пропускну спроможність, продуктивність, конфігурацію точок доступу, рівні сигналу, перешкод, шуму і тому подібне.

Завдяки інтерактивним колірним картам, глибокий аналіз мережі за допомогою Net Spot дуже простий. Можна легко і швидко відобразити на карті реальну інформацію про досліджувану мережу Wi-Fi.

Net Spot пропонує гнучкі професійні звіти. [15]

1.7.4 Tamograph

Tamo Graph Site Survey — потужний і зручний інструмент для збору, візуалізації і аналізу даних в мережах Wi-Fi стандарту 802.11 a/b/g/n/ac. Для впровадження і експлуатації безпроводних мереж потрібні професійні програмні продукти, які дозволяють значно спростити виконання таких складних і трудомістких завдань як: побудова карт покриття, аналіз інтерференції і рівня сигналу, розподіл Wi-Fi каналів і тому подібне. Якраз для вирішення цих проблем і призначений Tamo Graph, вікно програми якого зображено на рисунку 1.9.

Великі офіси компаній або банків, готелів, кафе – скрізь, де вже використовується або планується розгортати Wi-Fi мережа, там Tamo Graph допоможе істотно скоротити час і витрати на планування і обслуговування мережі, збільшить її продуктивність, розширить покриття, можливо навіть без придбання додаткового обладнання.

Доступні версії Tamo Graph для Windows і macOS.

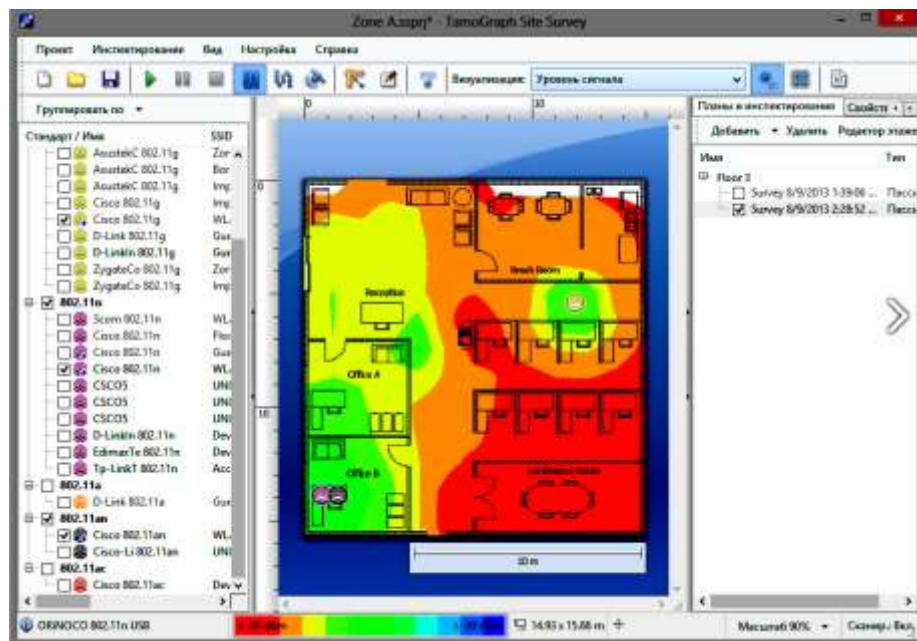


Рисунок 1.9 Вікно програми Тамограф

Ключові особливості Tamo Graph:

- простий і швидкий збір даних;

- пасивні, активні і предиктивні інспекції;
- спектральний аналіз;
- усебічний аналіз безпроводних мереж із зручною і наочною візуалізацією рівня сигналу, перешкод, зон покриття точок доступу, швидкості передачі цих, мережевих проблем;
- автоматичне знаходження точок доступу;
- детальна інформація про кожну точку доступу : робочий канал, максимальна швидкість передачі даних, дані про компанію-виробника, тип шифрування і так далі;
- повна підтримка мереж стандартів 802.11ac, 802.11a, 802.11b, 802.11g і 802.11n;
- інспекція з використанням GPS;
- широкий вибір шаблонів антен, що дозволяють моделювати точки доступу основних постачальників устаткування Wi, - Fi: Cisco, Aruba, Ruckus, Aerohive, Ubiquiti, Meraki, і багатьох інших;
- детальні звіти в PDF і HTML форматах.[16]

1.7.5 NETSCOUT Air Magnet Survey

NETSCOUT Air Magnet Survey – професійне рішення для планування і проектування локальних безпроводних мереж стандартів 802.11a/b/g/n/ac. Дозволяє розрахувати необхідну кількість, розміщення і конфігурацію точок доступу при проектуванні і впровадженні WLAN.

Air Magnet Survey виконує завдання по обстеженню мережі Wi-Fi з можливістю створення карти покриття, аналізу шумів і навіть аналізу продуктивності в призначених для користувача завданнях з підтримкою стандарту 802.11ac. Результат роботи програми наведено на рисунку 1.10.

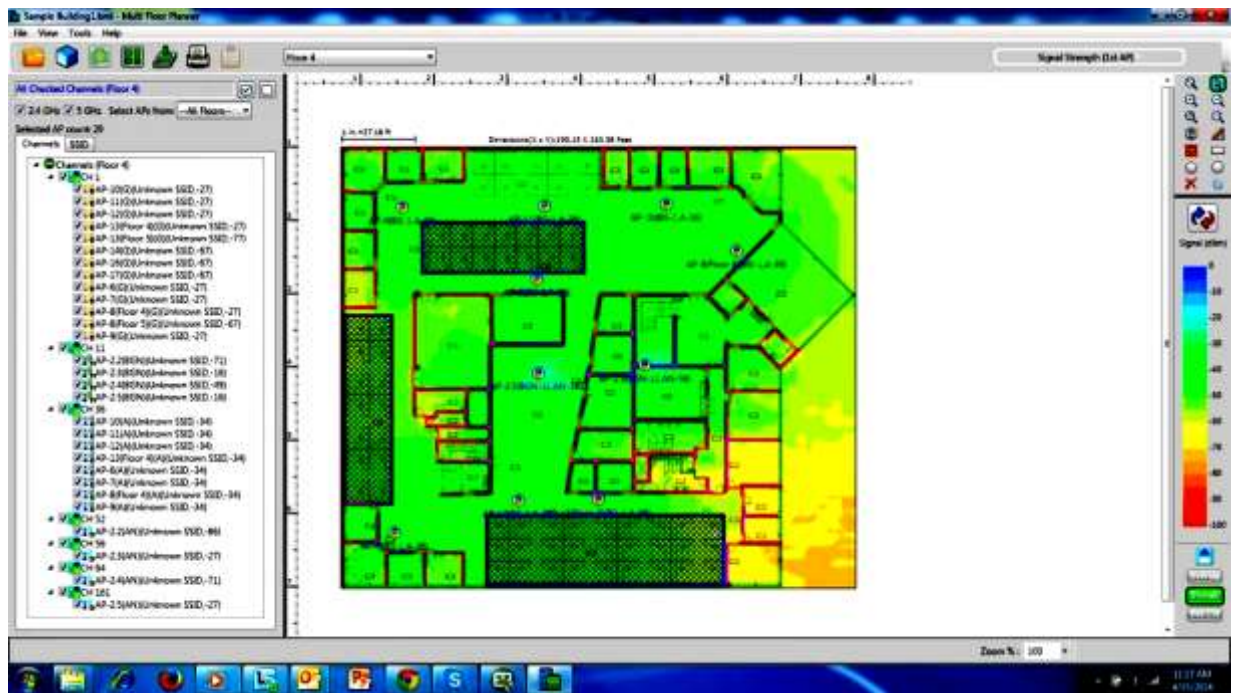


Рисунок 1.10 Вікно програми NETSCOUT Air Magnet Survey

Функціональні можливості:

- обстеження ділянок внутрішніх і зовнішніх мереж стандартів 802.11a/b/g/n/ac з використанням GPS;
- вимірювання реальної продуктивності в висхідному і низхідному каналах;
- аналітична функція RF Spectrum вимірює потужність і визначає місце розташування джерел перешкод;
- створення карти покриття Wi-Fi мережі, робочого режиму, ширини каналу і продуктивності мережі;
- вбудовані функції експертного планування місткості і перевірки проектів WLAN;
- вбудований засіб перевірки готовності і оптимізації Wi-Fi мережі під голосовий зв'язок (VoFi);
- налаштовувальні звіти про продуктивність і зону покриття мережі;
- проектування розміщення точок доступу і прогнозування радіо-покриття;

- інтеграція із спектральним аналізатором Air Magnet Spectrum XT;
- генерація звітів з графікам, у тому числі за стандартом PCI DSS [17].

1.7.6 Acrylic Wi-Fi Heatmaps

Acrylic WiFi Heatmaps — це програма для інспекції мережі, яка дозволяє з легкістю аналізувати покриття і коректність поширення сигналу вашої мережі Wi-Fi для поліпшення її продуктивності.

Програма працює в локаціях (у будівлях, на окремих поверхах, на зовнішньому і внутрішньому периметрі), для яких є креслення, або на певних географічних ділянках.

При проведенні вимірів в мережі Wi-Fi система перехоплює Wi-Fi трафік і збирає детальну інформацію про пристрої, їх рівень сигналу, а також інші релевантні дані. За допомогою цих відомостей програма створює детальні карти покриття Wi-Fi для кожної точки доступу, генерує в автоматичному режимі редаговані звіти з діагностичною інформацією про мережу і надає рекомендації для поліпшення її роботи.

Acrylic WiFi Heatmaps v3 дозволяє використати схеми будівель в приміщеннях, де немає GPS- покриття, щоб уся інформація мала географічну прив'язку, як на рисунку 1.11.

А якщо необхідно зробити аналіз поза приміщеннями, програма Acrylic WiFi Heatmaps забезпечує використання на великих географічних просторах і дозволяє проводити дослідження покриття в "розумних" містах. [18]

1.7.7 Visi Wave Site Survey

Visi Wave Site Survey збирає детальні дані про мережу і навколишні мережі, а потім візуалізує ці дані, як зображено на рисунку 1.12. Кожне представлення призначене для виявлення критичних деталей вашої мережі інтуїтивним і інформативним способом.



Рисунок 1.11 Вікно програми Acrylic Wi-Fi Heatmaps

За допомогою Visi Wave Site Survey можна:

- виявити порожнечі покриття;
- відобразити будь-який витік сигналу з вашої будівлі;
- дізнатися про існування і розташування точок доступу ізгоїв;
- використовувати канал карти;
- визначити ефекти сусідніх точок доступу;
- візуалізувати покриття точки доступу, що перекривається.

Visi Wave Site Survey пропонує три ефективні методи для швидкого збору даних:

- один момент за раз;
- безперервна прогулянка по області зйомки;
- І GPS- позиціонування для зовнішніх зйомок.

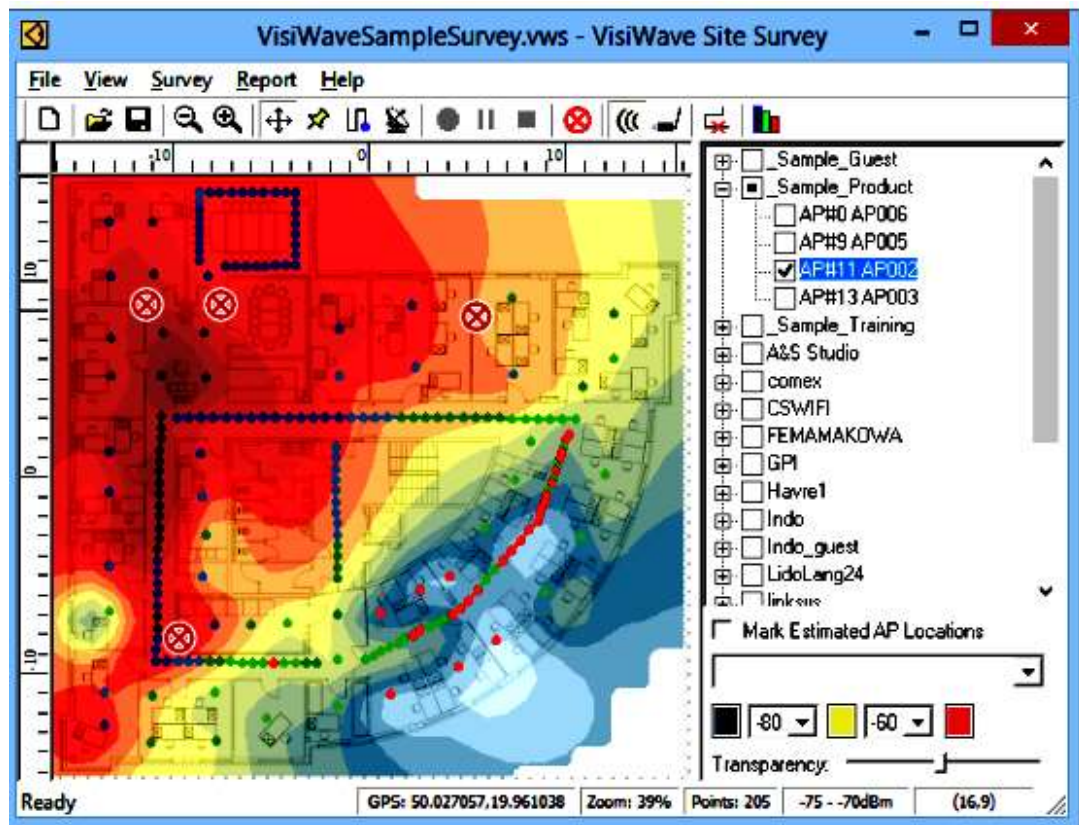


Рисунок 1.12 Візуалізація каналу карти у Visi Wave Site Survey

За допомогою Visi Wave Site Survey можна створювати власні звіти або повторно використати шаблони звітів, щоб візуалізувати своє охоплення або інтерактивно переглядати ваші дані про покриття в Google Earth.[19]

1.7.8 Wi-Fi Planner PRO

Інструмент для радіочастотного моделювання, що спрощує проектування безпроводних мереж.

Планувальник безпроводних мереж Wi-Fi Planner PRO забезпечує комплексну візуалізацію покриття безпроводної мережі перед її фактичним розгортанням. Використання Wi-Fi Planner PRO значно спрощує процес проектування і побудови мережі WLAN. Результат планування за допомогою цієї програми зображено на рисунку 1.13.

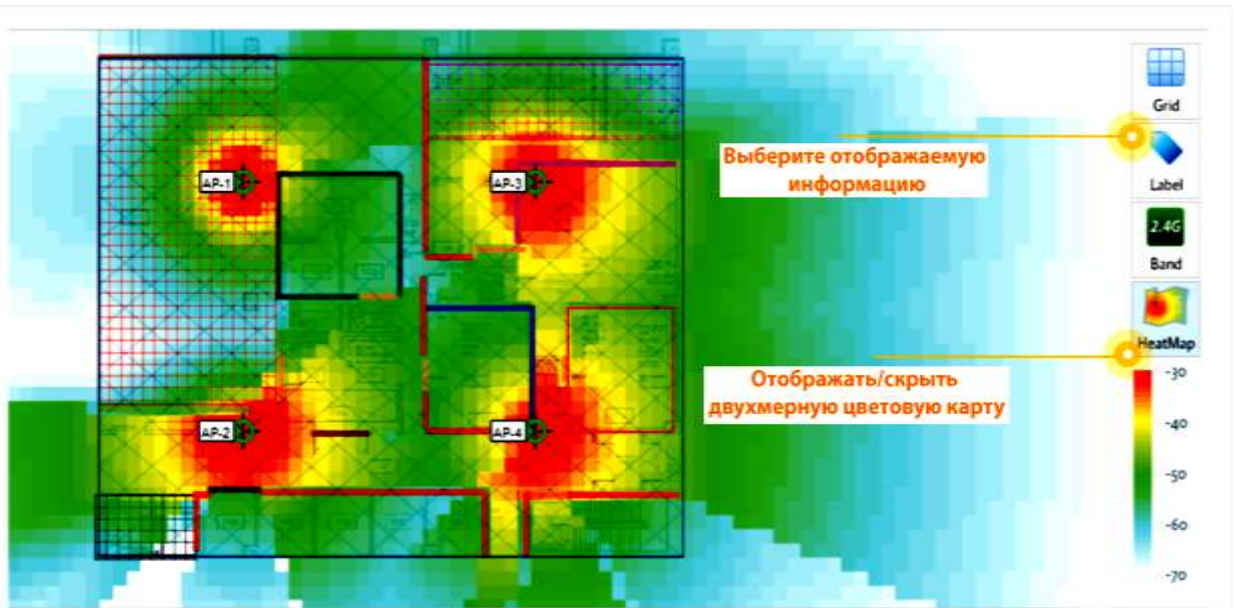


Рисунок 1.13 Результат планування за допомогою Wi-Fi Planner PRO

Передусім, необхідно створити теку проекту. Далі слід завантажити план приміщення для проектної мережі Wi-Fi. Далі за допомогою інструменту Scale задається масштаб карти приміщення для оцінки розмірів плану поверху. Вказати зону покриття безпроводної мережі і зону, в якій не будуть розміщені точки доступу. Відмічаються перешкоди: стіни або двері, а також вказати особливі зони, наприклад, ізольований офісний простір або склад. Це допоможе планувальникові точніше спроектувати безпроводну мережу.

Після установки усіх параметрів, вбудований Майстер розміщення точок доступу (AP Placement Advisor) визначить оптимальну кількість точок доступу і відповідне для них місце установки.

Після розрахунку буде відображена кількість точок доступу і місця їх установки, а також інформація про точки доступу і двовірна колірна карта, що наочно демонструє теоретичний радіус дії безпроводної мережі.

Планувальник безпроводних мереж WFP надає результати у вигляді файлу в двох форматах: PDF і Word.

Цей файл містить наступні основні параметри: [20]

- список точок доступу;

- детальна інформація про точки доступу;
- карта розміщення точок доступу;
- двомірна колірна карта, що відображає радіус дії безпроводної мережі.

1.7.9 Порівняльна таблиця характеристик розглянутого програмного забезпечення

Характеристики розглянутих програм наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння характеристик програмного забезпечення

Назва програми	Ліцензія	Heatmap вимірювання	Віртуальне планування	Рівень перешкод і т.п.	Звіт
Netspot	7 днів	+	- (з одним справжнім роутером)	+	+
EkahauheatMap	Free	+	-	-	-
EkahauSiteSurveyPro	14 днів	+ (15хв/день)	+ (15хв/день)	+	-
Tamograph	30 днів	+ (10хв)	+ (10хв)	+	-
NETSCOUT AirMagnetSurvey	є файл ліцензії	+ (спеціальний адаптер)	+	+	+
AcrylicWi-FiHeatmaps	-	+	-	-	-
VisiWaveSiteSurvey	30 днів	+ (випадкові значення)	-	+	+
Wi-FiPlanner PRO (сайт)	Free	-	+ (тількиDlink)	-	+

1.8 Постановка задач дослідження

Для досягнення поставленої мети дипломної магістерської роботи сформульовані наступні завдання:

- створити характеристику території, яка підлягає дослідженню;
- обґрунтувати вибір програмного забезпечення;
- виконати обстеження території;
- виконати необхідний обсяг планування мережі Wi-Fi;

- провести розрахунок дальності обслуговування бездротового каналу зв'язку;
- визначити капітальні та експлуатаційні витрати для оптимізації мережі.

1.9 Висновки до першого розділу

У першому розділі описана і проаналізована технологія Wi-Fi. Наведено детальний опис програмного забезпечення для обстеження території під технологію Wi-Fi, та планування мережі Wi-Fi. Сформульовано завдання на оптимізацію мережі Wi-Fi для навчального підрозділу університету.

РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристики дослідженої території

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", розташований у місті Дніпро за адресою – проспект Дмитра Яворницького 19. Схема розташування корпусів університету приведена на рисунку 2.1.

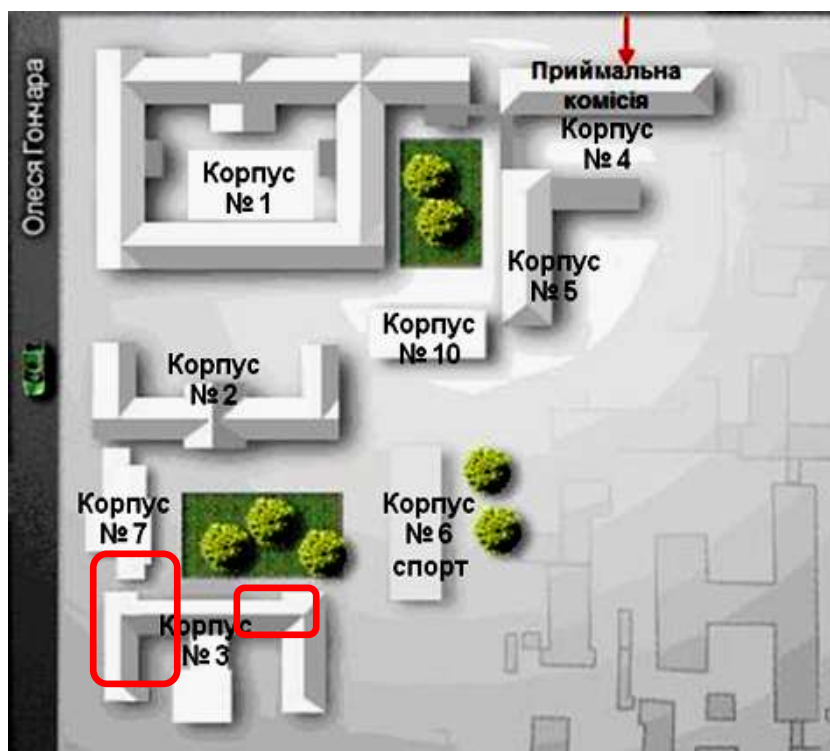


Рисунок 2.1 – Схема розташування корпусів НТУ "Дніпровська політехніка"

Кафедра БІТ розташована на другому і третьому поверхах корпусу №3, а також на другому поверсі у корпусі №7 – як це показано на рисунку 2.1. Оптимізація мережі Wi-Fi для студентів і викладачів кафедри БІТ потрібна в зв'язку з необхідністю забезпечення доступу в Інтернет не тільки безпосередньо в лабораторіях кафедри на другому поверсі корпусу №3, а і в лабораторії на третьому поверсі, також в кабінеті завідувача – другий поверх корпусу №7, і бажано для студентів – в залі буфету – другий поверх корпусу №7.

Територія кафедри другого поверху зображена на рисунку 2.2, третього – на рисунку 2.3, а кабінет завідувача і буфет на рисунку 2.4.

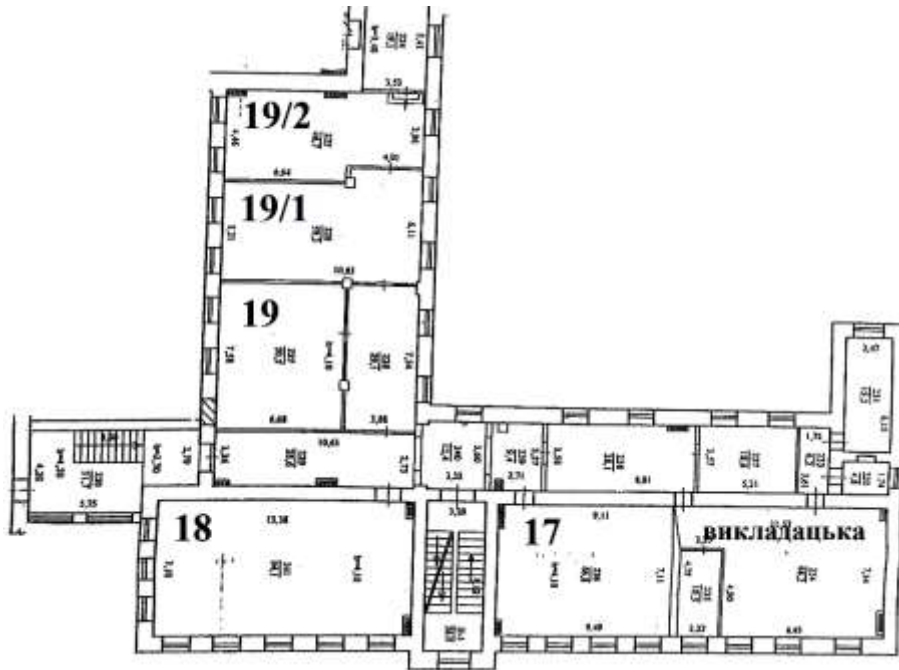


Рисунок 2.2 – Територія кафедри - другий поверх корпусу №3

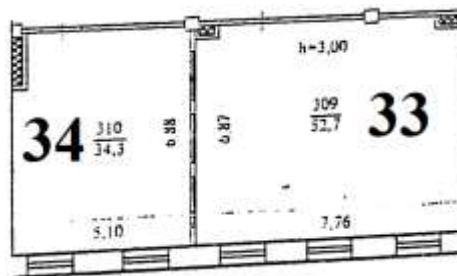


Рисунок 2.3 – Територія кафедри на третьому поверсі корпусу №3

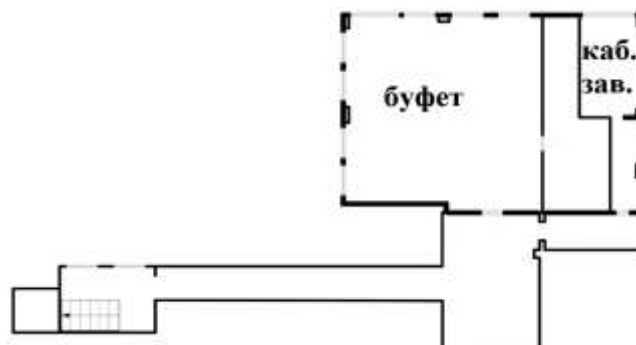


Рисунок 2.4 – Кабінет завідувача кафедрою і буфет – другий поверх корп.№7

Розміри площі приміщень, яким потрібно надати належне покриття, зображені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Площа приміень

Назва кімнат	17	18	19	19/1	19/2	Викладацька	33	34	буфет	кабінет завідуючого
Площа, м ²	66,8	94,1	50,5	59,3	46,7	68,2	52,7	34,3	154,3	35,47

2.2 Обґрунтування вибору програмного забезпечення

Обстеження об'єкту і проведення вимірів вирішено проводити за допомогою програми Net Spot, оскільки вона має необхідний інструментарій, різноманітну візуалізацію, приємний інтерфейс і досить точна, а також є можливість отримати повну версію додатка хоча й на обмежений час. Ця програма не дуже зручна для планування, оскільки робити його можливо тільки з одним реальним роутером, для чого не завжди є можливість.

Для віртуального планування краще всього підходить програма AirMagnet Survey, на яку можливо знайти тимчасову ліцензію, де немає обмеження за часом для віртуального планування, чим обділені інші аналогічні додатки у вільному доступі. Для обстеження вона не підходить, оскільки потрібно мати спеціальний адаптер для ноутбука.

Можна зробити висновок, що ці дві програми взаємозамінні і відмінно доповнюють одна одну.

2.3 Обстеження

Порядок проведення обстеження безпроводної мережі Wi-Fi на території необхідної частини університету за допомогою додатка Net Spot.

В першу чергу було обрано тип середовища зони на закритий офіс або апартамент, потім завантажено карту території, визначено фактичну відстань між двома точками і встановлено одиниці виміру в метрах. Пройдено в один

кут простору і зроблено помітку (точку) на карті, що відповідає місцю знаходження. Потім додаток виконує перший вимір, який займає декілька секунд. При цьому обов'язково треба залишатися на місці впродовж часу вибору.

Для охоплення всієї області карти, яку потрібно сканувати, потрібно рухатись подібно зигзагу, поки сканування не буде закінчено. Виміри мають бути досить близькими, щоб зелені круги на екрані злегка перекривалися. Коридор може бути досліджений в двох варіантах: або по зигзагоподібному від стінки до стінки, або по одній стіні, а потім по іншій.

У кожній кімнаті досліджуваної області повинно бути не менше 3-4 зразків. Упевнимся, що кути покриті і що в середині кімнати є зразки. Натиснемо кнопку "Зупинити сканування" в кутку вікна Net Spot і проглянемо візуалізацію Heatmap.

Візуалізація результатів обстеження - рівня сигналу - для другого поверху корпусу №3 зображено на рисунку 2.5.

Ця візуалізація демонструє карту розподілу рівня сигналу (що називається картою покриття), виміряного в дБм. Рівень сигналу є одним з найважливіших чинників, що впливають на продуктивність безпроводної мережі, оскільки занадто слабкий сигнал не дозволить мати стійкого, високошвидкісного з'єднання між ТД (точкою доступу) і клієнтським пристроєм.

З рисунку видно, що в зоні обстеження встановлено два маршрутизатори Wi-Fi, інформація про яких надана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Інформація про ТД другого поверху корпусу №3

№	Ім'я мережі	Мас-адреса	Канал	Фізичний рівень	Захист	Макс. рівень сигналу	Виробник
1	EOT	B0:48:7A:D0:97:B3	1	n	WPA2 Enterprise	-46,7	TP-LINK
2	EOT	B0:48:7A:D0:95:C7	11	n	WPA2 Enterprise	-50	TP-LINK

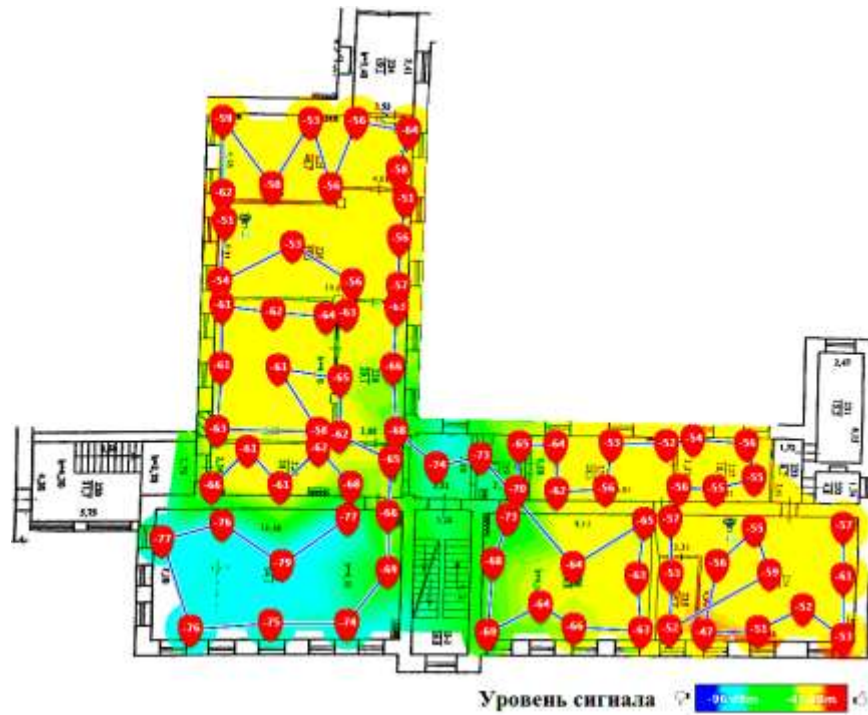


Рисунок 2.5 – Візуалізація рівня сигналу на другому поверсі корпусу №3

Рівень сигналу, коли був включений тільки один маршрутизатор з Мас-адресою B0:48:7a:D0:97:B3 і B0:48:7a:D0:95:C7 відповідно зображено на рисунках 2.6 і 2.7.

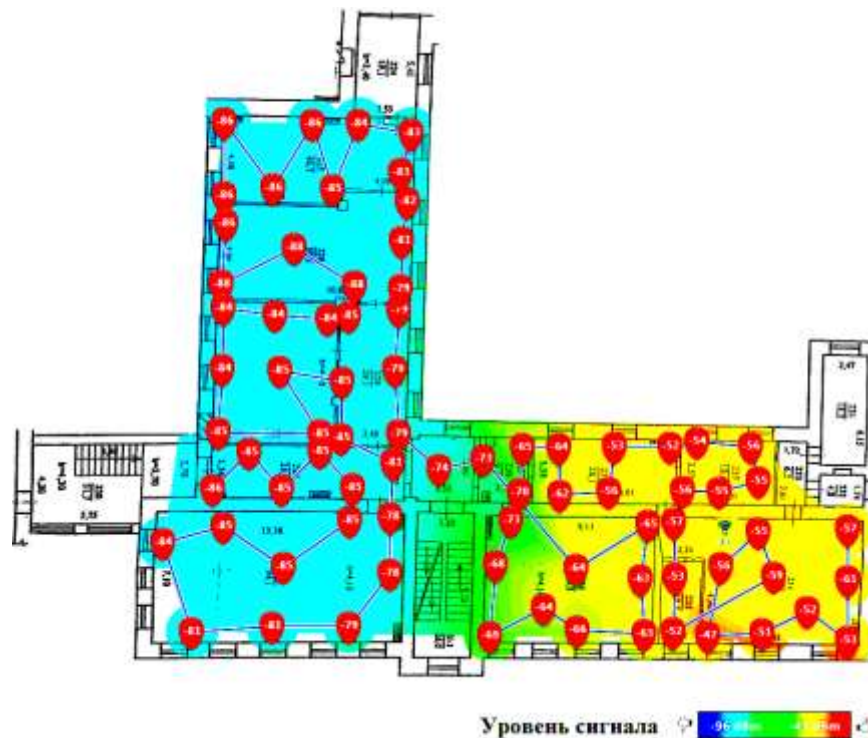


Рисунок 2.6 – Рівень сигналу маршрутизатора з Мас-адресою B0:48:7A:D0:97:B3

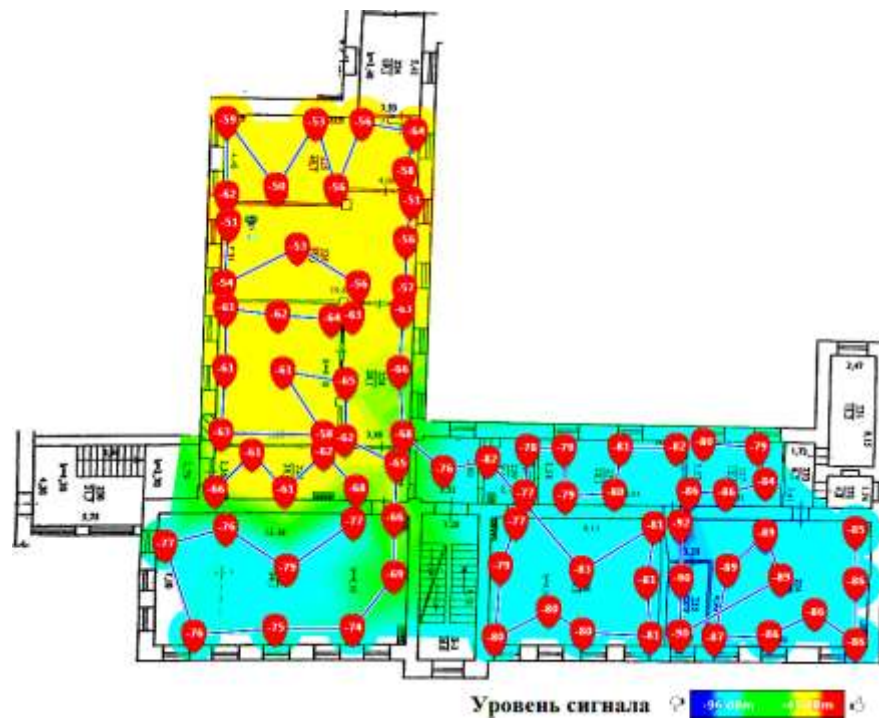


Рисунок 2.7 – Рівень сигналу маршрутизатора з Mac- адресою
B0:48:7A:D0:95:C7

SIR (Signal-to-interference ratio) цієї ж області зображено на рисунку 2.8. Ця візуалізація демонструє розподіл відношення сигнал / інтерференція (SIR), виміряного в дБ. SIR є чисельною характеристикою того, наскільки рівень сигналу (ТД "жертви") перевершує рівень інтерференції. Інтерференція виникає під час роботи інших ТД (ТД, що інтерферують) на одному каналі (чи одному з суміжних каналів 802.11) з "жертвою". У зонах з низьким SIR клієнтські пристрої не зможуть забезпечити оптимальну пропускну спроможність.[21]

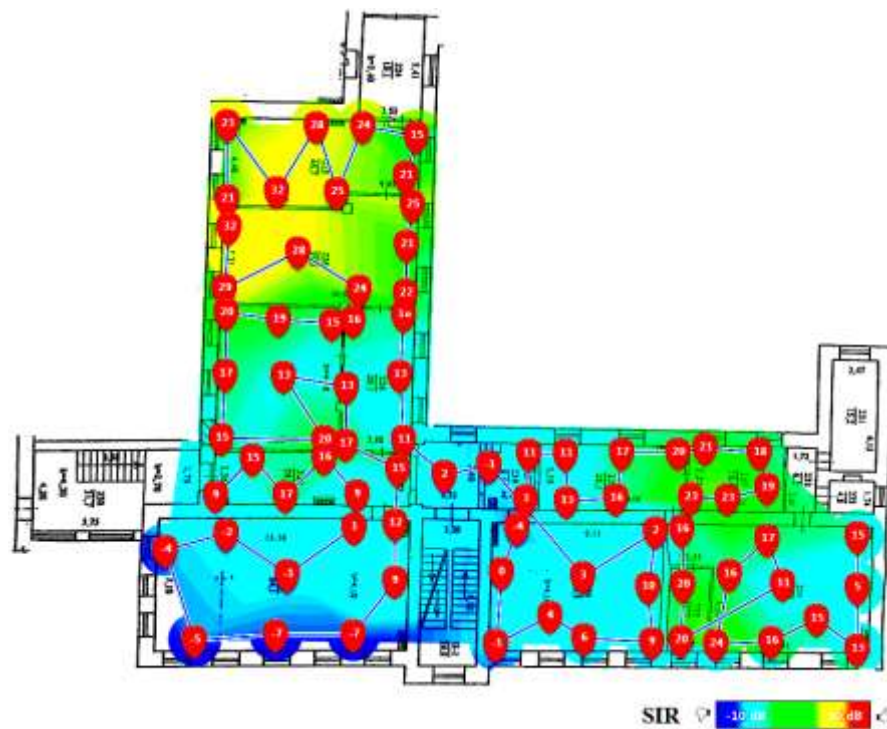


Рисунок 2.8 – Візуалізація SIR

Як бачимо, обстеження показало, що в навчальній аудиторії має місце неідеальний - слабкий сигнал, який необхідно поліпшити. Для виявлених зон з незадовільним рівнем сигналу, устаткування переміщують і знаходять оптимальне положення, або збільшують кількість ТД.

Візуалізація результатів обстеження для другого поверху корпусу №7 зображено на рисунку 2.9.

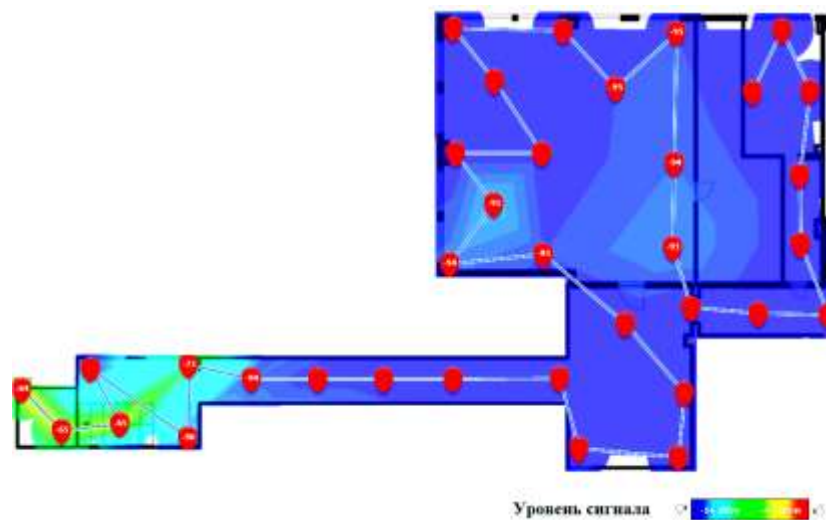


Рисунок 2.9 - Візуалізація рівня сигналу для другого поверху корпусу №7

В цьому випадку, обстеження показало, що в їдальні і кабінеті завідувача сигнал зовсім відсутній, тому в майбутньому треба додати ще одну ТД.

Візуалізація результатів обстеження для третього поверсі корпусу №3 зображено на рисунку 2.10.

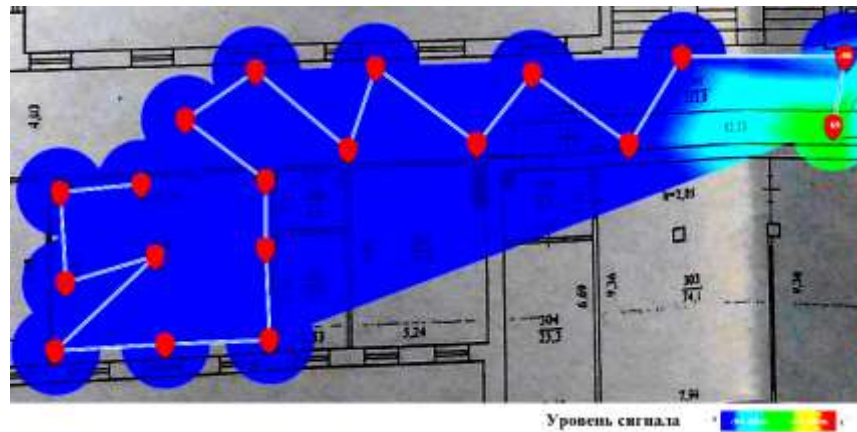


Рисунок 2.10 - Візуалізація рівня сигналу для третього поверху корпусу №3

Як і в минулому обстеженні, сигнал відсутній і потрібна нова ТД для доступу в аудиторіях.

2.4. Висновки по обстеженню

Чим менше чисельне значення дБм, тим рівень сигналу вище, тим краще прийом сигналу. Ідеальним Wi-Fi сигналом вважається рівень від -60 дБм до -65 дБм. Все, що вище мінус 60 дБм – це занадто потужний сигнал, все що нижче мінус 80 дБм – занадто слабкий сигнал. [22]

Провівши обстеження території і проаналізувавши карти розподілу рівня сигналу і SIR, можна зробити висновок, що для продуктивності і стійкості безпроводної мережі необхідно повністю забезпечити Wi-Fi мережею дві зони, а також поліпшити ще одну. Щоб виконати це завдання необхідно або додати нові точки доступу, або перемістити існуючі в оптимальне розташування. Остаточне рішення буде прийнято після здійснення процесу планування мережі.

2.5 Планування мережі Wi-Fi

Проведення планування безпроводної мережі Wi-Fi на території кафедральної частини університету здійснювалось за допомогою додатку AirMagnet Survey. При цьому було використано вбудовану функцією планування.

В першу чергу завантажено карту території, визначено фактичну відстань між двома точками, також як в Net Spot, і вказано одиниці виміру в метрах. Потім вибрано тип стіни і по контурах досліджуваної карти вони були намальовані. У списку, що розкривається, в правому верхньому кутку вікна карти міститься декілька передне встановлених типів стін, які мають властиві рівні падіння рівня сигналу в дБ (вплив цих стін на безпроводну мережу). Типи перешкод вказані на рисунку 2.11.











	Brick Wall (8 dB)
	Brick Wall (8 dB)
	Concrete Wall (12 dB)
	Dry Wall (4 dB)
	Heavy Door (15 dB)
	Light Door (4 dB)
	Metal Door (11 dB)
	Thick Window (4 dB)
	Thin Window (2 dB)
	Window Office (3 dB)

Рисунок 2.11 - Типи перешкод при розповсюдженні сигналу

Слідом, обрано тип області затухання і позначено місця аудиторій, сходів і складів.

Також розміщені точки доступу на карті. При цьому доцільно скористатися характеристиками наявних роутерів, яким відповідає модель TP-LINK TL-WA901ND у кількості двох штук, які працюють на каналах 1 і 11 і посиленні антени 4 дБі. Детальні характеристики наведені в Додатку Б.

Планування проведено для карти другого поверху, яка захоплює корпуси №3 та №7.

TP-Link TL-WA901ND підтримує технологію PoE, яка дозволяє жити мережеве устаткування по мережевому кабелю, позбавляючи користувачів від необхідності встановлювати електричні розетки там, де це незручно і використати громіздкі блоки живлення.[23]

Для поліпшення покриття можна перемістити роутери, тому було розглянуто такий варіант для корпусу №3, а також в корпусі №7 додамо маршрутизатори.

Методами спроб з'ясувалося, що для корпусу №7, знадобиться тільки одна ТД, і для забезпечення задовільного покриття залу їдальні, її розташування має бути віддалене від розетки, тому потрібно буде підібрати маршрутизатор, який також підтримує технологію PoE. Доцільно зупинитись на виборі того ж виробника TP-Link TL-WA801ND з коефіцієнтом посиленням антени 5 дБі. Детальні характеристики наведені в Додатку В. Оскільки в смузі частот Wi-Fi 2.4 ГГц доступні 3 канали, що не перекриваються : 1, 6, 11, то ТД для покриття залу їдальні матиме канал 6.

Налаштування для точок доступу зображені на рисунках 2.12 - 2.14.

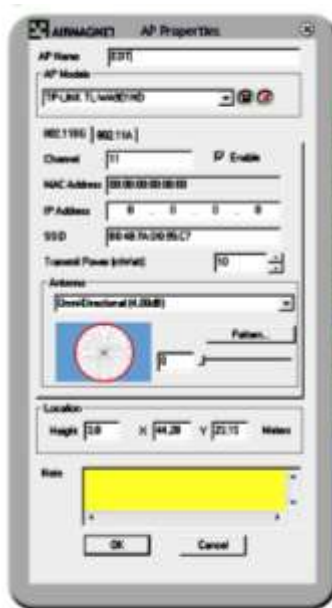


Рисунок 2.12 - Налаштування для маршрутизатора з каналом 11



Рисунок 2.13 - Налаштування для маршрутизатора з каналом 1

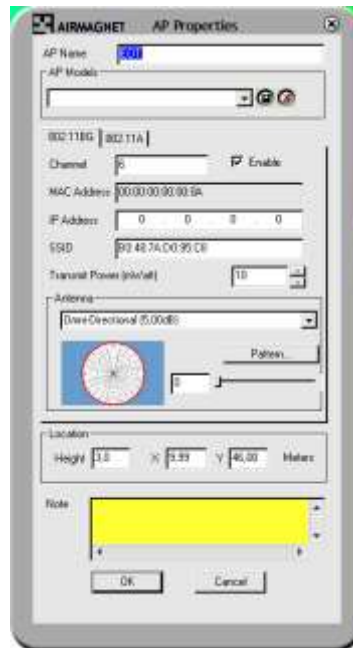


Рисунок 2.14 - Налаштування для маршрутизатора з каналом 6

Після отримання звіту від Air Magnet Survey, було приведено результати планування. Цей звіт забезпечує покриття сигналу точки доступу в режимі реального часу для плану поверху і рекомендує кількість необхідних точок доступу і їх місць розташування на плані поверху (позначено цифри червоним кольором).

Карта покриття сигналу на рисунку 2.15 відображає карту з колірним кодуванням, яке показує очікуване охоплення сигналу Wi-Fi (у дБм) в кожній точці плану поверху. Звернемося до легенди нижче карти для значень дБм, що відповідають кожній області кольору. Це дає швидкий огляд плану і здатності проектної мережі забезпечувати адекватний сигнал для усіх необхідних областей. Важливо забезпечити, щоб в зонах, де потрібно Wi-Fi, не було дірок для покриття.

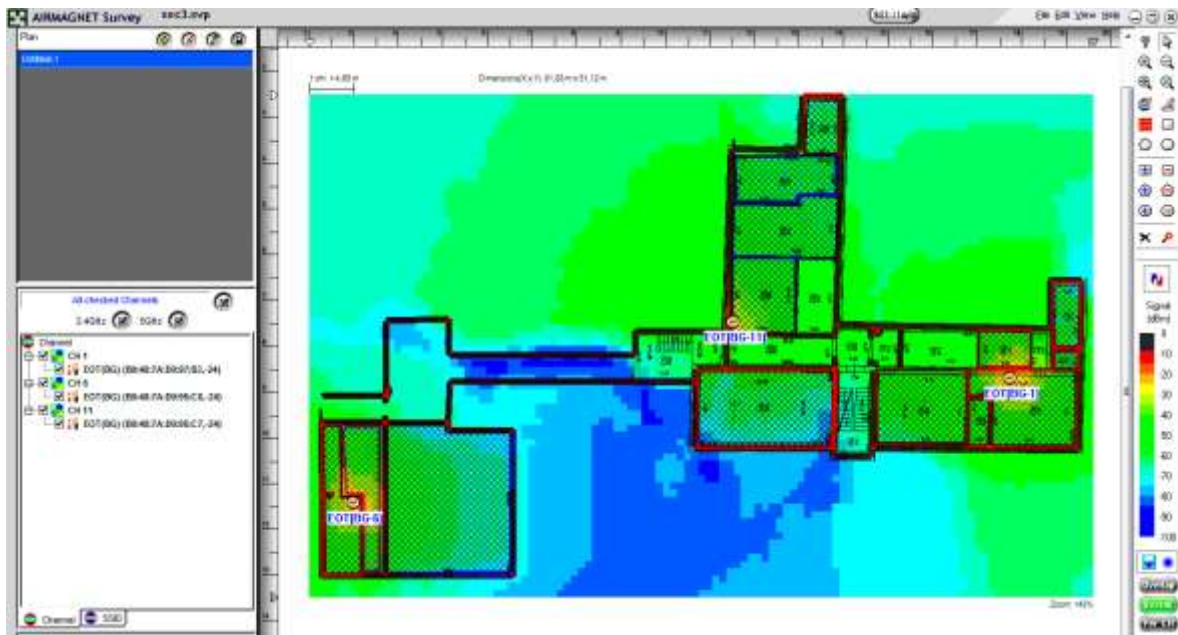


Рисунок 2.15 – Карта покриття сигналу

На рисунку 2.16 зображений індивідуальний розподіл сигналів.

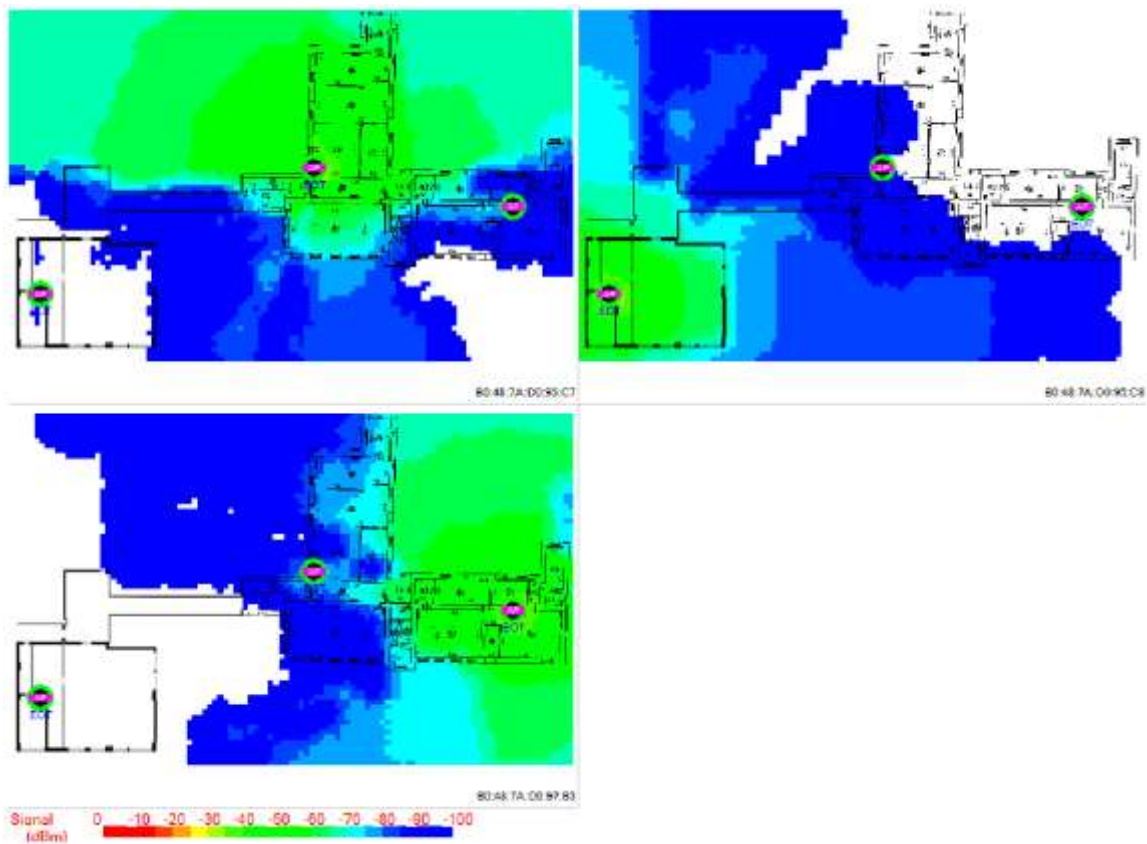


Рисунок 2.16 - Індивідуальний розподіл сигналів

Розподіл сигналу по каналу наведено на рисунку 2.17.

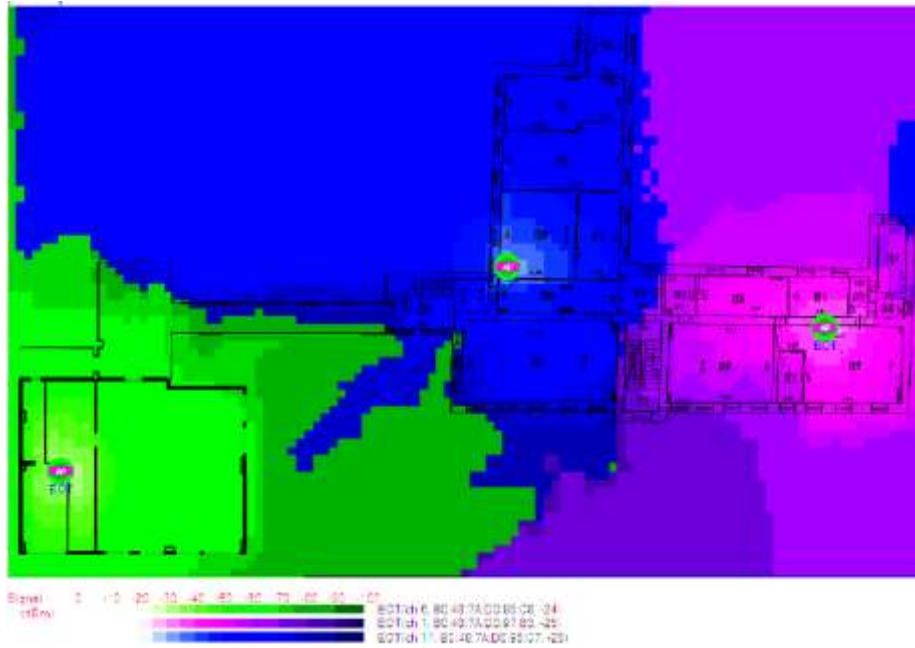


Рисунок 2.17 - Розподіл сигналу по каналу

На рисунку 2.18 відображається сітка, накладена поверх карти, що дозволяє описати потенційні місця розташування розміщених ТД, як показано в списку ТД планувальника. Числа ТД відображаються чисельно, а номери відповідають номерам, вказаним в списку ТД.

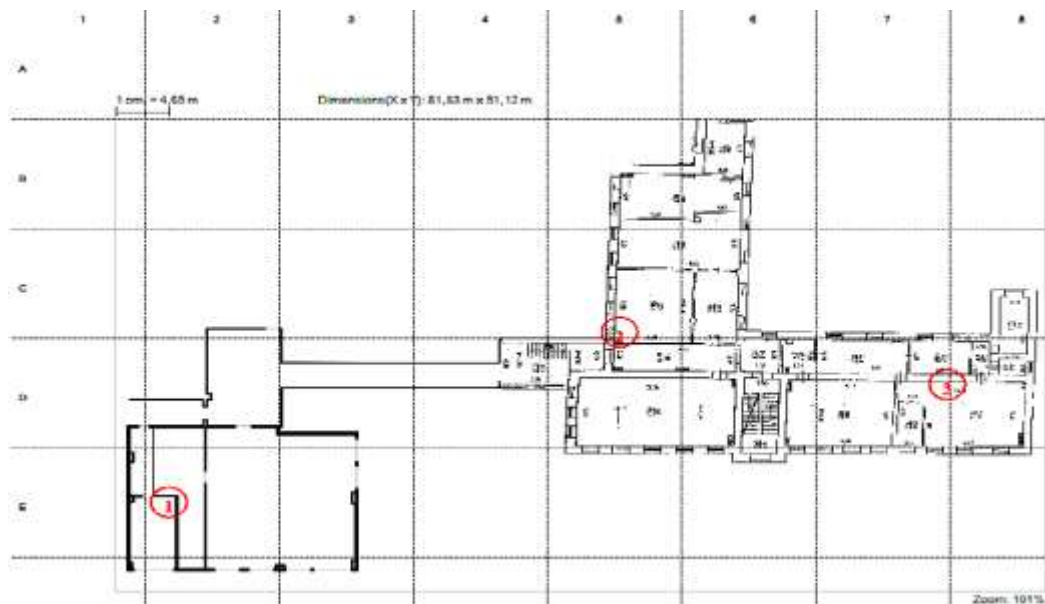


Рисунок 2.18 - Карта розміщення ТД

У приведеному нижче рисунку 2.19 перераховані властивості для кожної ТД, розміщеної на плані, включаючи її ім'я, місце розташування, MAC- адреси, SSID, висоту, тип антени і кут орієнтації, канал і потужність.

	Name	Location	MAC	SSID	Height
1	EOT	2-E	00:00:00:00:00:0A	B0:48:7A:D0:95:C8	3
	Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 6	Angle: 0	Power:10 (mWatts)
2	EOT	5-C	00:00:00:00:00:0C	B0:48:7A:D0:95:C7	3
	Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 11	Angle: 0	Power:10 (mWatts)
3	EOT	7-D	00:00:00:00:00:0E	B0:48:7A:D0:97:B3	3
	Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 1	Angle: 0	Power:10 (mWatts)

Рисунок 2.19 - Властивості ТД

Розглянемо варіант без переміщення роутера, а з додаванням нової точки доступу. Знадобиться тільки одна додаткова ТД для забезпечення задовільного покриття. Вона розташована поблизу розетки, тому можна підібрати маршрутизатор, який також може використовуватися в режимі ретранслятора. Можемо скористатися таким же TP-Link TL-WA801ND з посиленням антени 5 дБі.

Додамо новий роутер в корпусі 3 з каналом 6, а в 7 з каналом 1, а в корпусі 3 залишимо на своїх місцях роутери з каналами 1 та 11.

Приведемо результати планування нижче.

Карта покриття сигналу на рисунку 2.20 відображає карту з колірним кодуванням, яке показує очікуване охоплення сигналу Wi-Fi (у дБм) в кожній точці плану поверху.

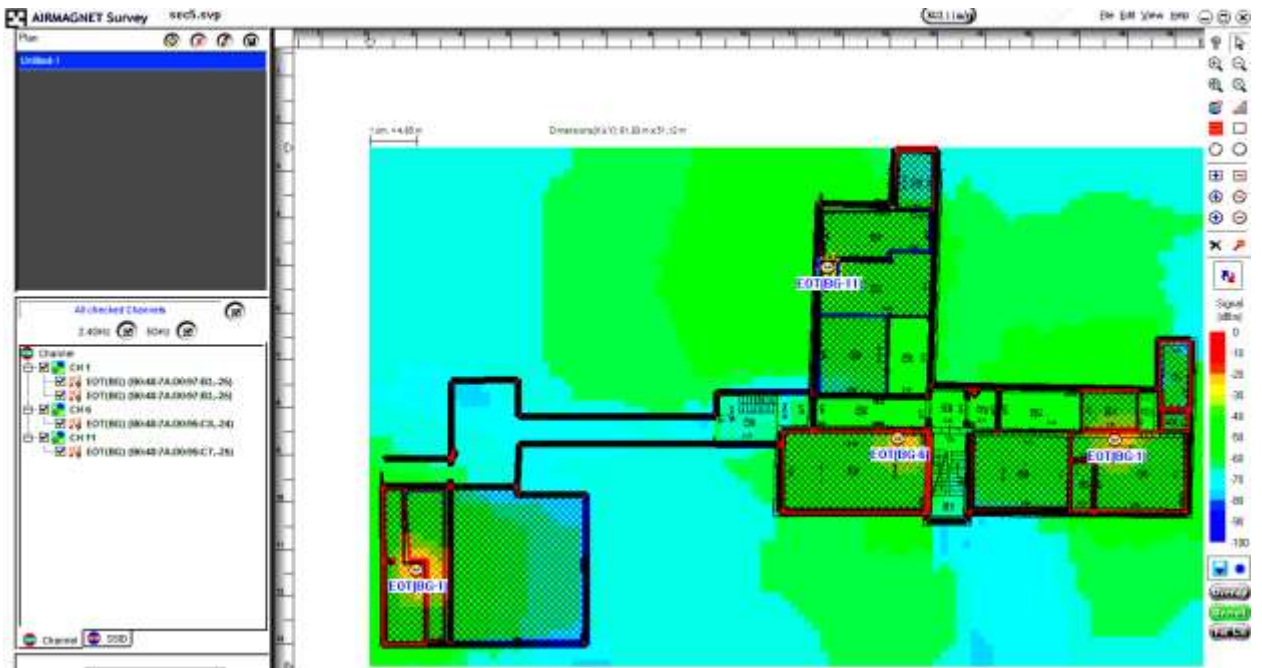


Рисунок 2.20 - Карта покриття сигналу

На рисунку 2.21 зображено індивідуальний розподіл сигналів.

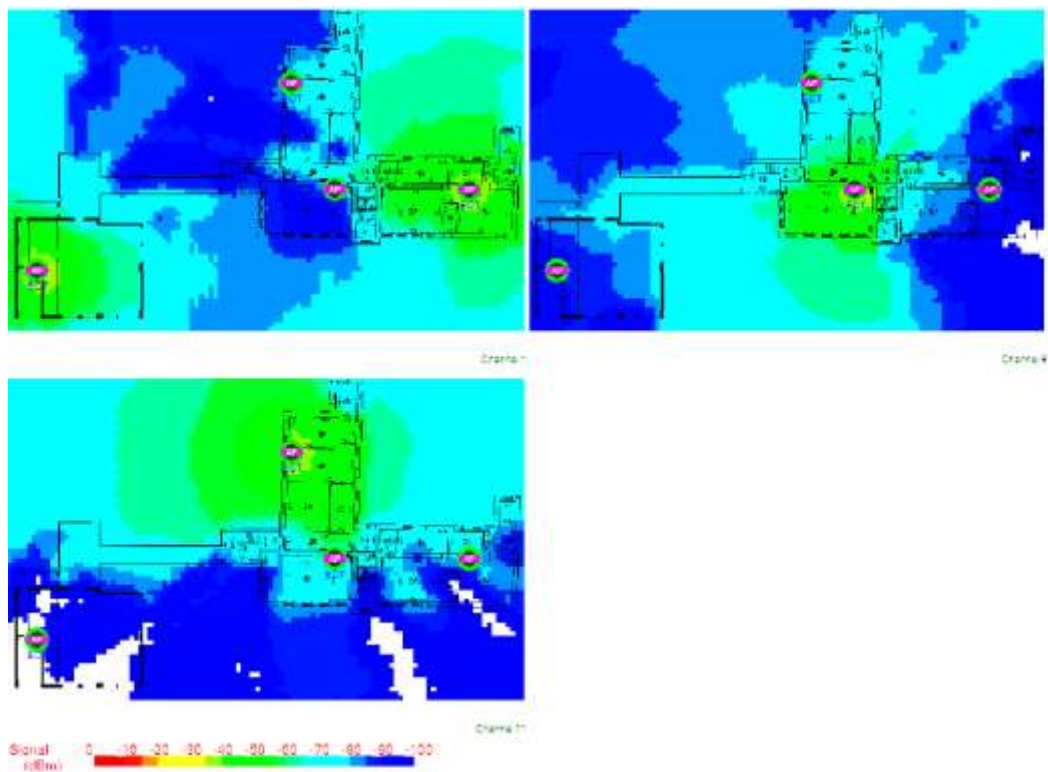


Рисунок 2.21 - Індивідуальний розподіл сигналів

Розподіл сигналу по каналу можна подивитися на рисунку 2.22.



Рисунок 2.22 - Розподіл сигналу по каналу

На рисунку 2.23 відображається сітка місця розташування розміщених ТД.

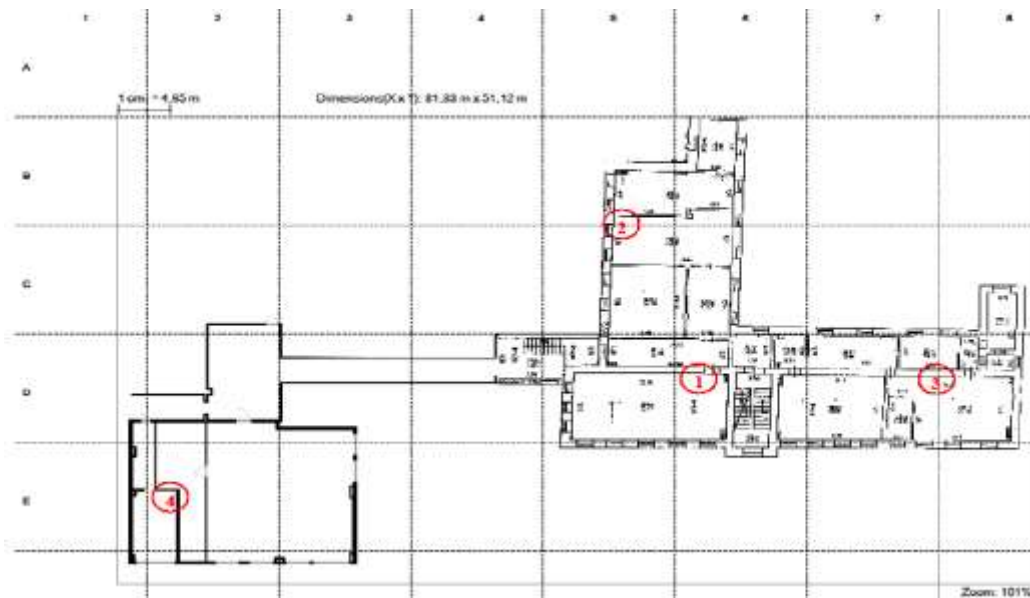


Рисунок 2.23 - Карта розміщення ТД

У приведеному нижче рисунку 2.24 перераховані властивості для кожної ТД.

	Name	Location	MAC	SSID	Height
1	EOT	6-D	00:00:00:00:00:0A	B0:48:7A:D0:95:C8	3
	Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 6	Angle: 0	Power: 10 (mWatts)
2	EOT	5-B	00:00:00:00:00:0C	B0:48:7A:D0:95:C7	3
	Antenna: Omni-Directional (4,00dB)		CH: 11	Angle: 0	Power: 10 (mWatts)
3	EOT	7-D	00:00:00:00:00:0E	B0:48:7A:D0:97:B3	3
	Antenna: Omni-Directional (4,00dB)		CH: 1	Angle: 0	Power: 10 (mWatts)
4	EOT	2-E	00:00:00:00:00:11	B0:48:7A:D0:97:B3	3
	Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 1	Angle: 0	Power: 10 (mWatts)

Рисунок 2.24 - Властивості ТД

Проведемо планування для карти третього поверху. Додамо новий роутер на 3 поверсі з каналом 1.

Приведемо результати планування нижче.

Карта покриття сигналу на рисунку 2.25 відображає карту з колірним кодуванням, яке показує очікуване охоплення сигналу Wi-Fi (у дБм) в кожній точці плану поверху.

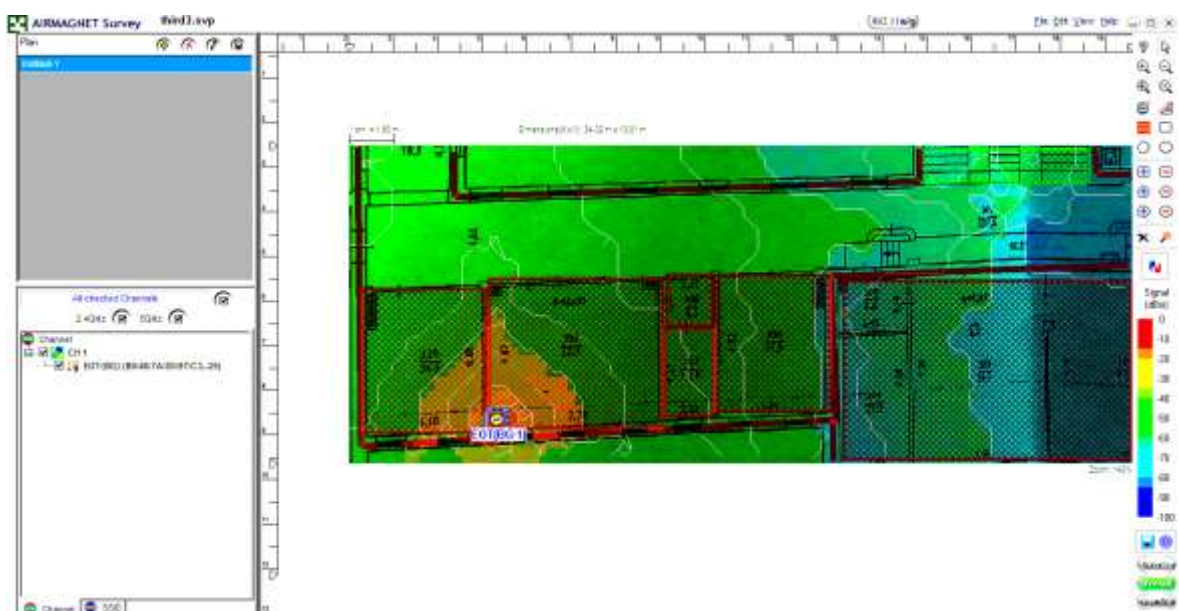


Рисунок 2.25 - Карта покриття сигналу

На рисунку 2.26 відображається сітка місця розташування розміщених ТД.

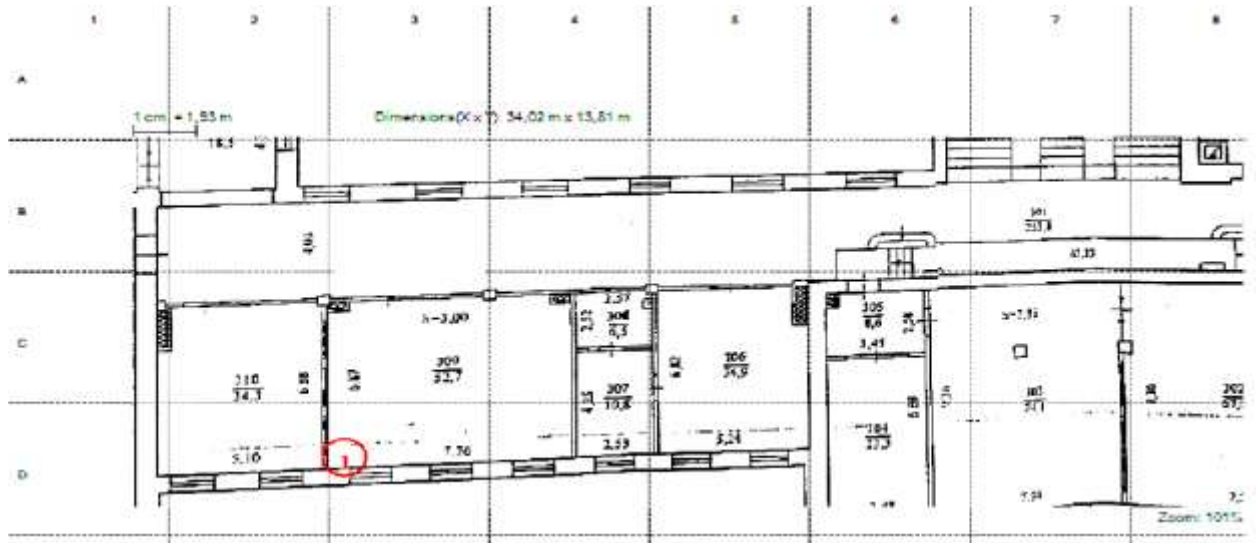


Рисунок 2.26 - Карта розміщення ТД

У приведеному нижче рисунку 2.27 перераховані властивості для кожної ТД.

Name	Location	MAC	SSID	Height
1	EOT	00:00:00:00:00:01	B0:48:7A:D0:97:C3	2
Antenna: Omni-Directional (5,00dB)		CH: 1	Angle: 0	Power: 10 (mWatts)

Рисунок 2.27 - Властивості ТД

2.6 Висновки по плануванню

Провівши планування території, можна зробити висновок, що раціональніше буде скористатися переміщенням вже існуючого роутера на другому поверсі в корпусі 3, який все ще є актуальним на ринку. А також, для забезпечення задовільного покриття залу буфету і кабінету завідувача кафедри БІТ потрібна установка нової точки доступу в корпусі 7, яка підтримує технологію PoE, оскільки оптимальне розташування віддалене від розетки. Для цього завдання найкраще підійде маршрутизатор TP-Link TL-WA801ND, який також відповідає вимогам для третього поверху.

2.7 Розрахунок дальності роботи безпроводного каналу зв'язку

Без виведення приведемо формулу для розрахунку дальності зв'язку. Вона відповідає інженерній формулі розрахунку втрат у вільному просторі[1].

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D) \quad (2.1)$$

де

FSL (free space loss) – втрати у вільному просторі (дБ);

F – центральна частота каналу на якому працює система зв'язку (МГц);

D – відстань між двома точками (км).

FSL визначається сумарним посиленням системи. Воно вважається таким чином за формулою (2.2).

$$Y_{дб} = P_{t,дБмВт} + G_{t,дБи} + G_{r,дБи} - P_{min,дБмВт} - L_{t,дБ} - L_{r,дБ} \quad (2.2)$$

де

$P_{t,дБмВт}$ – потужність передавача;

$G_{t,дБи}$ – коефіцієнт посилення передавальної антени;

$G_{r,дБи}$ – коефіцієнт посилення приймальної антени;

$P_{min,дБмВт}$ – чутливість приймача на цій швидкості;

$L_{t,дБ}$ – втрати сигналу в коаксіальному кабелі і роз'ємах передавального тракту;

$L_{r,дБ}$ – втрати сигналу в коаксіальному кабелі і роз'ємах приймального тракту.

Для кожної швидкості передачі приймач має певну чутливість. Для невеликих швидкостей (наприклад, 1-2 Мегабіти) чутливість найменша: від мінус 90 дБмВт до мінус 94 дБмВт. Для високих швидкостей, чутливість набагато вища. Як приклад в таблиці 2.3 приведені декілька характеристик звичайних точок доступу 802.11a, b, g.

Залежно від марки радіо-модулів максимальна чутливість може трохи варіюватися. Ясно, що для різних швидкостей максимальна дальність буде різною.

FSL обчислюється за формулою (2.3).

$$FSL = Y_{дБ} - SOM \quad (2.3)$$

Таблиця 2.3 - Залежність чутливості від швидкості передачі даних

Швидкість	Чутливість
54 Мбіт/с	-66дБмВт
48 Мбіт/с	-71дБмВт
36 Мбіт/с	-76дБмВт
24 Мбіт/с	-80дБмВт
18 Мбіт/с	-83дБмВт
12 Мбіт/с	-85дБмВт
9 Мбіт/с	-86дБмВт
6 Мбіт/с	-87дБмВт

SOM (System Operating Margin) – запас в енергетиці радіозв'язку (дБ). Враховує можливі чинники, що негативно впливають на дальність зв'язку, такі як:

- температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача;
- всілякі погодні явища: туман, сніг, дощ;
- розузгодження антени, приймача, передавача з антенно-фідерним трактом.

Параметр SOM зазвичай береться рівним 10 дБ. Вважається, що 10-ти децибельний запас по посиленню достатній для інженерного розрахунку.

Центральна частота каналу F береться з таблиці 2.4.

В результаті отримаємо формулу (2.4) дальності зв'язку [1].

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)} \quad (2.4)$$

Таблиця 2.4 - Обчислення центральної частоти

Канал	Центральна частота (МГц)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472
14	2484

Знайдемо відстань, на якій стабільно працюватиме зв'язок на швидкостях 54 Мбіт/с і 6 Мбіт/с для точок доступу TL-WA901ND, TL-WA801ND і безпроводного мережевого USB-адаптера TL-WN821N, характеристики якого наведені в додатку Г.

Потужність передавачів TL-WA901ND та TL-WA801ND: 10 дБмВт;

Чутливість TL-WA901ND та TL-WA801ND на швидкості 54 Мбіт/с: -68 дБмВт;

Чутливість TL-WA901ND та TL-WA801ND на швидкості 6 Мбіт/с: -88 дБмВт;

Чутливість TL-WN821N на швидкості 54 Мбіт/с: -68 дБмВт;

Чутливість TL-WN821N на швидкості 6 Мбіт/с: -88 дБмВт;

Коефіцієнт посилення штатної антени TL-WA901ND: 4 дБі.

Коефіцієнт посилення штатної антени TL-WA801ND: 5 дБі.

Коефіцієнт посилення штатної антени TL-WN821N: 0 дБі.

Вважатимемо, що втрат в тракці антенного фідера, тобто між безпроводними точками і їх антенами немає.

Проведемо розрахунок для моделі TL-WA901ND.

Знайдемо відстань на швидкості 54 Мбіт/с.

Параметр FSL рівний:

$$FSL = 10 + 4 - (-68) - 10 = 72\text{дБ}$$

По формулі (3.8) знаходимо дальність роботи безпроводного устаткування на цій швидкості для 1 каналу:

$$D_{54} = 10^{\left(\frac{72}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2412\right)} = 0,03698\text{км} \approx 37\text{м}$$

Для каналу 11:

$$D_{54} = 10^{\left(\frac{72}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2462\right)} = 0,03622\text{км} \approx 36\text{м}$$

Знайдемо відстань на швидкості 6 Мбіт/с.

FSL рівний:

$$FSL = 10 + 4 - (-88) - 10 = 92\text{дБ}$$

По формулі (2.4) знаходимо дальність роботи безпроводного устаткування на цій швидкості для 1 каналу:

$$D_6 = 10^{\left(\frac{92}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2412\right)} = 0,369\text{км} \approx 369\text{м}$$

Для 11 каналу:

$$D_6 = 10^{\left(\frac{92}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2462\right)} = 0,362\text{км} \approx 362\text{м}$$

Проведемо розрахунок для моделі TL - WA801ND.

Знайдемо відстань на швидкості 54 Мбіт/с.

Параметр FSL рівний:

$$FSL = 10 + 5 - (-68) - 10 = 73\text{дБ}$$

По формулі (2.4) знаходимо дальність роботи безпроводного устаткування на цій швидкості для 1 каналу:

$$D_{54} = 10^{\left(\frac{73}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2437\right)} = 0,0415\text{км} \approx 41,5\text{м}$$

Для 6 каналу:

$$D_{54} = 10^{\left(\frac{73}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2437\right)} = 0,041\text{км} \approx 41\text{м}$$

Знайдемо відстань на швидкості 6 Мбіт/с.

FSL рівний:

$$FSL = 10 + 5 - (-88) - 10 = 93\text{дБ}$$

По формулі (2.4) знаходимо дальність роботи безпроводного устаткування на цій швидкості для 1 каналу:

$$D_6 = 10^{\left(\frac{93}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2437\right)} = 0,414\text{км} \approx 414\text{м}$$

Для 6 каналу:

$$D_6 = 10^{\left(\frac{92}{20} - \frac{33}{20} - \lg 2437\right)} = 0,41\text{км} \approx 410\text{м}$$

Різні перешкоди (стіни, стелі, меблі, металеві двері і так далі), розташовані між Wi-Fi пристроями, можуть частково або значно відбивати/поглинати радіосигнали, що призводить до часткової або повної втрати сигналу. Кожна перешкода, що знаходиться в зоні поширення

сигналу, знижує його потужність. Чим більше перешкод, тим гірше стає сигнал.

Існують матеріали з різним коефіцієнтом поглинання сигналу. Наприклад, дерево, пластик, звичайне скло, гіпсокартон – відносяться до матеріалів з низьким поглинанням. Тоноване скло, вода (великий акваріум), цеглина, штукатурка – матеріали з середнім поглинанням. Матеріали з високим коефіцієнтом поглинання, які чинять сильну негативну дію на сигнал – метал (залізні двері, алюмінієві і сталеві балки), бетон (усередині якого знаходяться арматурні ґрати), кераміка.

Усередині приміщення причиною перешкод радіосигналу також можуть являтися дзеркала (сильно відбивають сигнал) і тоновані вікна.

Нижче показана таблиця втрати ефективності сигналу Wi-Fi при проходженні через різні середовища. Значення (не абсолютні, а зразкові) приведені для безпроводної мережі, працюючої в частотному діапазоні 2.5 ГГц.

Ефективна відстань – означає наскільки зменшиться радіус дії сигналу Wi-Fi після проходження відповідної перешкоди в порівнянні з відкритим простором.

Таблиця 2.5 - Втрати ефективності сигналу Wi-Fi

Перешкода	Додаткові втрати (dB)	Ефективна відстань
Відкритий простір	0	100%
Вікно без тонування (відсутнє металізованне покриття)	3	70%
Вікно з тонуванням (металізованне покриття)	5-8	50%
Дерев'яна стіна	10	30%
Міжкімнатна стіна (15,2 см)	15-20	15%
Несуча стіна (30,5 см)	20-25	10%
Бетонна підлога/стеля	15-25	10-15%
Монолітне залізобетонне перекриття	20-25	10%

Наприклад, якщо на відкритому просторі радіус дії сигналу Wi-Fi до 400 м, то після проходження однієї міжкімнатної стіни він зменшиться до $400\text{м} * 15\% = 60\text{ м}$. Після другої ще раз $60\text{ м} * 15\% = 9\text{ м}$. А після третьої $9\text{м} * 15\% = 1,35\text{ м}$. Таким чином, можна припустити, що через дві міжкімнатні стіни (завтовшки не більше 15 см) мережа Wi-Fi працюватиме, а ось через три стіни швидше за все з'єднання встановити не вийде.[24]

2.8 Висновки до другого розділу

У спеціальній частині дипломної роботи були приведені:

- характеристики дослідженої території;
- обґрунтовано вибір програмного забезпечення;
- проведено обстеження, а також висновки по ньому;
- проведено планування з висновками, що раціональніше буде скористатися переміщенням вже існуючого роутера на другому поверсі в 3 корпусі, який все ще є актуальним на ринку. А також, потрібна установка нової точки доступу в 7 корпусі, яка підтримує технологію PoE у вигляді маршрутизатора TP-Link TL-WA801ND, який також відповідає вимогам для третього поверху.
- розраховані дальності роботи безпроводного каналу зв'язку у вільному просторі залежно від швидкості передачі і номера каналу, а також визначені втрати ефективності сигналу Wi-Fi при проходженні через різні середовища.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

В нашому випадку це засоби, витрачені на оптимізацію бездротової мережі на технології Wi-Fi, на придбання обладнання фірми TP-Link, допоміжне обладнання, витрати на виконання монтажних та налагоджувальних робіт.

При визначенні величини проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + Z_{т} + Z_{м} + Z_{н}, \quad (3.1)$$

де $K_{об}$ – вартість придбання обладнання (засобів автоматизації, програмного забезпечення і т.д.) за проектом;

$Z_{м}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{т}$ – витрати на транспортування.

Витрати на упаковку, транспортування і монтаж (УТМ) визначають як відсоток від вартості обладнання і береться 10% від вартості обладнання [25]

Тоді величина проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) визначається формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + 0.1 \cdot K_{об}, \quad (3.2)$$

Основне виробниче обладнання проектованої мережі представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Витрати на обладнання

Найменування	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Точка доступу TL-WA801ND (комплект) [26]	2 шт.	873	1746
Комутаційний шнур Atcom CAT5e 30 м [27]	1 шт.	232	232
Конектор Goobay FreeEnd-RJ45 UTP5e 10 шт. [28]	1 шт.	48	48
Разом			2026

За формулою 3.2 проектні капіталовкладення складають:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + 0.1 \cdot K_{\text{об}} = 2026 + 202,6 = 2228,6 \text{ грн}$$

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3);
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (C_c);
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T);
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування (C_9);
- інші експлуатаційні витрати ($C_{\text{пр}}$).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_3 + C_c + C_T + C_9 + C_{\text{пр}}, \text{ грн.} \quad (4.3)$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіантів паралельно.

3.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних коштів нараховується виходячи з терміну його корисного використання.

Строк корисного використання основних засобів, що визначається за групами, для передавальних пристроїв складає 10 років.

Норма амортизації N_a при прямолінійній методі постійна протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$N_a = \frac{\Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{п}} * E_{\text{п}}} * 100 = \frac{2228,6}{2228,6 * 10} * 100 = 10\%$$

де $T_{\text{п}}$ – строк корисного використання (амортизаційний період).

Тоді річні амортизаційні відрахування A_B за прямолінійним методом:

$$C_a = \frac{\Phi_{\text{п}} * N_a}{100} = \frac{2228,6 * 10}{100} = 222,86 \text{ грн}$$

3.2.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу, який обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їх чисельності, режиму роботи, годинними тарифними ставками, посадовими окладами, що застосовуються на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання.

Основна заробітна плата працівників - це винагорода за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки).

Додаткова заробітна плата – це винагорода за працю понад установлені норми, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати відносяться премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством.

Результати розрахунку основної заробітної плати обслуговуючого персоналу представлені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу

№ п/п	Найменування професій працівників	Кількість, чол.	Годинна тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, ч.	Разом, основна зарплата по тарифу, грн.
2.	Адміністратор [29]	1	34,34	1744	59889
	Разом	1	-	-	59889

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 10-15% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати становить:

$$C_3 = Z_{\text{заг}} + Z_{\text{доп}} = 59889 + 0,1 \cdot 59889 = 65877,9 \text{ грн.}$$

де $Z_{\text{заг}}$, $Z_{\text{доп}}$ - основна і додаткова заробітна плата відповідно, грн.

3.2.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи (єдиний соціальний внесок) визначаються на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати, що на 2017 рік складає 22% [30].

$$C_c = C_3 \cdot 0,22 = 65877,9 \cdot 0,22 = 14193,14 \text{ грн.}$$

3.2.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати з ремонту обладнання є однією з великих статей витрат і в середньому становить 10% [31].

$$C_T = \Phi_{п} \cdot 0,1 = 2228,6 \cdot 0,1 = 222,86 \text{ грн.}$$

3.2.5. Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу і тарифів на електроенергію:

$$C_3 = W_{Г} \cdot C_{Е} ,$$

де $W_{Г}$ - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт · год;

$C_{Е}$ - тариф на електроенергію станом на конкретну дату, грн. / кВт · год;

$$W_{Г} = 0,0108 \text{ кВт} \cdot 8760 \text{ год} = 94,608 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$C_{Е} = 163,754 \text{ коп/кВт} \cdot \text{год} [32].$$

Витрати на електроенергію складають:

$$C_{Е} = 94,608 \cdot 163,754 = 154,93 \text{ грн.}$$

3.2.6. Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{\text{пр}} = C_3 \cdot 0,04 = 65877,9 \cdot 0,04 = 2635,12 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = 222,86 + 65877,9 + 14193,14 + 222,86 + 154,93 + 2635,12 = \\ 83306,81 \text{ грн}$$

3.5 Висновки до третього розділу

В економічному розділі розраховані капітальні витрати, що складають 2228,6 грн, а експлуатаційні витрати – 83306,81 грн. Так, як оптимізація проводиться на території університету, то є некомерційним проектом, тобто нема необхідності визначати доходи та прибутки для цієї роботи.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту була проведена оптимізація бездротової локальної Wi-Fi мережі для навчального підрозділу технічного університету «Дніпровська політехніка».

У першому розділі описана і проаналізована технологія Wi-Fi. Розглянута актуальність, особливості обстеження та планування мережі. Проведено повний аналіз ринку програмного забезпечення для аналізу и плануванню Wi-Fi мереж, приведені переваги та недоліки кожного рішення. Сформульовано завдання на оптимізацію мережі Wi-Fi для навчального підрозділу університету.

У спеціальній частині було проведено обстеження кафедри університету, що показало недосконалість мережі Wi-Fi та необхідність її модернізації. Тому було здійснено планування мережі, за результатами якого стало відомо, що для оптимізації мережі раціональніше скористатися переміщенням вже існуючого роутера на другому поверсі в корпусі 3. А також, потрібне встановлення нової точки доступу в корпусі 7, яка підтримує технологію PoE у вигляді маршрутизатора TP-Link TL-WA801ND, який також відповідає вимогам для третього поверху. Були розраховані дальності роботи безпроводного каналу зв'язку у вільному просторі залежно від швидкості передачі і номера каналу, та визначені втрати ефективності сигналу Wi-Fi при проходженні через різні середовища.

В економічному розділі розраховані капітальні витрати, що складають 2228,6 грн, а експлуатаційні витрати – 83306,81 грн. Так, як оптимізація проводиться на території університету, то вона є некомерційним проектом, тобто нема необхідності визначати доходи та прибутки для цієї роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пролетарский А. В. Беспроводные сети Wi-Fi / А. В. Пролетарский, И. В. Баскаков, Д. Н. Чирков., 2007. – 178 с.
2. Беспроводные технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://goo.gl/tH3auN>
3. Сети Wi-Fi. Работа и стандарты. Применение и особенности [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/seti-wi-fi/>.
4. Как это работает? | Wi-Fi [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hi-news.ru/eto-interesno/kak-eto-rabotaet-wi-fi.html>.
5. Wi-Fi [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
6. Свои 5 копеек: Wi-Fi сегодня и завтра [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/zyxel/blog/348698/>.
7. Wi-Fi стандарт, сети, механизм передачи сигнала. Недостатки, зоны покрытия, скорость передачи данных. Влияние Wi-Fi на здоровье. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.xtechx.ru/c40-visokotehnologichni-spravochnik-hitech-book/wi-fi-witwork-tecnology/>
8. Какую частоту выбрать: 2,4 ГГц или 5 ГГц? Источник: <https://lantorg.com/article/kakuyu-chastotu-vybrat-24-ggts-ili-5-ggts> © LanTorg.com [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://lantorg.com/article/kakuyu-chastotu-vybrat-24-ggts-ili-5-ggts>.
9. Какие виды Wi-Fi-сетей существуют? [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://wifi-solutions.ru/kakie-vidy-wifi-sushestvyut/>
10. Wi-Fi — достоинства и области применения [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://asadmin.ru/content/view/888/30/>.
11. Беспроводная сеть WiFi для офиса. Безопасность беспроводных сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/>.

12. Проектирование беспроводных сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.lankey.ru/svyaz/network-solutions/wifi/proektirovanie/>.
13. Проектирование Wi-Fi — прерогатива профессионалов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.2test.ru/publications/proektirovanie-wi-fi-prerogativa-professionalov.html>
- 14.9 бесплатных программ для сканирования и анализа WiFi-сетей [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://networkguru.ru/9-besplatnykh-programm-dlia-skanirovaniia-analiza-wifi-setei/>
15. NetSpot [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.netspotapp.com/ru/features.html>
16. TamoGraph® Site Survey [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.tamos.ru/products/wifi-site-survey/>
17. NETSCOUT AirMagnet Survey Pro (вкл. Planner) - ПО для анализа и проектирования WiFi сети [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://skomplekt.com/tovar/1/5/1320525019/>
18. Acrylic Wi-Fi Heatmaps [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://goo.gl/MTezpD>
19. VisiWave Site Survey [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.visiwave.com/>
20. Wi-Fi Planner PRO [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.dlink.ru/tools/wi-fi/#tour>
21. Отчет об исследовании Создан компанией GETWIFI [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.getwifi.ru/images/docs/getwifi-tec-doc.pdf>
22. Как усилить wifi сигнал [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://www.linuxshop.ru/articles/a11761338-kak_usilit_wifi_signal

23. Знакомимся с функцией POE - питание сетевого оборудования по LAN кабелю на примере точки доступа Level One WAP-0009 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://goo.gl/Q8DkqP>
24. Коэффициенты затухания сигнала Wi-Fi при прохождении через различные среды [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://goo.gl/UqdzYp>
25. Затраты на транспортировку и монтаж оборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://economy-ru.info/info/114036/>.
26. TL-WA801ND [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.tp-link.com/ru/products/details/cat-12_TL-WA801ND.html
27. Патч-корд Atcom CAT5e RJ45 UTP 30 м Серый [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://rozetka.com.ua/atcom_6950713149647/p15118995/
28. Конектор Goobay FreeEnd-RJ45 UTP5e 10 шт [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://rozetka.com.ua/48670974/p48670974/>
29. Системный администратор [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.work.ua/jobs/697556/>
30. Единый социальный взнос - 2017 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.buhoblik.org.ua/nalogi/edinyj-soczialnyj-vznos/585-edinyj-soczialnyj-vznos-2013.html>.
31. Ремонт оборудования текущий — Затраты [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://mash-xxl.info/info/225620/>.
32. Тарифы на электроэнергию за 2018 год [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://doe.com.ua/tarify-dlya-biznesa/>

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
Документація				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	1	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	28	
6	A4	Спеціальна частина	25	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	1	
15	A4	Додаток Е	1	
16	A4	Додаток Є	1	

ДОДАТОК Б. Характеристики роутера TL-WA901ND



Система	
Роз'єми	1×10/100 Мбит/с LAN (Passive PoE) 3×RP-SMA
Точка доступу	
Стандарти	IEEE 802.11b/g/n
Бездротові режими	Точка доступу Multi-SSID Точка доступу в режимі клієнта Режим ретранслятора (WDS / універсальний) Режим Точки доступу + Моста (точка- точка / точка-многоточка)
Бездротові функції	Відключення Wi-Fi передавача WDS Bridge
Пропускна спроможність	11n: до 300 Мбіт / с (динамічна) 11g: до 54 Мбіт / с (динамічна) 11b: до 11 Мбіт / с (динамічна)
Частоти	2,400–2,4835 ГГц
Потужність передавача	20 дБм
Тип антени	3 × знімні, всеспрямовані
Посилення антени	4 дБі
Чутливість приймача	270М: -68 дБм при 10% PER 130М: -68 дБм при 10% PER 108М: -68 дБм при 10% PER 54М: -68 дБм при 10% PER 11М: -85 дБм при 8% PER 6М: -88 дБм при 10% PER 1М: -90 дБм при 8% PER
Безпека	64/128/152-bit WEP / WPA / WPA2,WPA-PSK / WPA2-PSK
Додаткові функції	
Управління пристроєм	WEB інтерфейс
QoS	WMM
Інше	
Розміри	174 × 120 × 28,8 мм
Робоча температура	от 0°C до +40°C

ДОДАТОК В. Характеристики роутера TL-WA801ND



Апаратні характеристики	
Інтерфейс	1 порт Ethernet 10/100 Мбіт / с (RJ45) Підтримка пасивного PoE
Кнопки	Кнопка Power On / Off кнопка WPS кнопка Reset
Зовнішнє джерело живлення	9 В постійного струму / 0,6 А
Стандарти бездротової передачі даних	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Розміри (ШхДхВ)	181 × 125 × 36 мм
Тип антени	2 * 5 дБі знімні всеспрямовані антени
Параметри бездротового модуля	
Діапазон частот (прийом і передача)	2400-2483,5 МГц
Швидкість передачі	11n: до 300Мбіт / с (динамічна) 11g: до 54Мбіт / с (динамічна) 11b: до 11Мбіт / с (динамічна)
Чутливість приймача	270М: -68дБм при 10% PER 130М: -68дБм при 10% PER 108М: -68дБм при 10% PER 54М: -68дБм при 10% PER 11М: -85дБм при 8% PER 6М: -88дБм при 10% PER 1М: -90дБм при 8% PER
EIRP (Потужність бездротового сигналу)	< 20 дБм или < 100 мВт
Режими роботи	Точка доступу Multi-SSID клієнт ретранслятор
Захист бездротової мережі	64/128/152-бит WEP / WPA / WPA2, WPA-PSK / WPA2-PSK
QoS	WMM
Робоча температура	0°C~40°C

ДОДАТОК Г. Характеристики TL-WN821N



Апаратні характеристики	
Інтерфейс	USB 2.0
Кнопки	Кнопка WPS
Розміри (ШхДхВ)	86 x 26 x 12 мм
Антенна	Вбудована
Тип антени	On-Board
Параметри бездротового модуля	
Стандарти бездротових мереж	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Діапазон частот (прийом і передача)	2400-2483,5 МГц
Швидкість передачі	11n: до 300Мбіт / с (динамічна) 11g: до 54Мбіт / с (динамічна) 11b: до 11Мбіт / с (динамічна)
Чутливість приймача	270М: -68дБм при 10% PER 130М: -68дБм при 10% PER 108М: -68дБм при 10% PER 54М: -68дБм при 10% PER 11М: -85дБм при 8% PER 6М: -88дБм при 10% PER 1М: -90дБм при 8% PER
EIRP (Потужність бездротового сигналу)	< 20 дБм или < 100 мВт
Режими роботи	Режим Ad-Нос / Infrastructure
Технологія модуляції	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM
Захист бездротової мережі	Підтримка режимів шифрування 64/128-бітний WEP, WPA-PSK / WPA2-PSK
Робоча температура	0°C~40°C

ДОДАТОК Д. Перелік документів на оптичному носії

01. Пояснювальна_записка.docx

02. Презентація.pptx

