

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

МОСПАНКО Олег Анатолійович

**«Моделювання безпроводних мереж і
ефективна організація користувацьких потоків
/ Wireless networks modelling and effective
organization of user flows»**

Студент групи КІм – 21
МОСПАНКО Олег Анатолійович

Науковий керівник
к.т.н., доцент Паздрій І. Р.

Тернопіль – 2020

РЕЗЮМЕ

Кваліфікаційна робота на тему «Моделювання безпроводних мереж і ефективна організація користувацьких потоків» зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» освітнього ступеня «магістр» написана обсягом 127 сторінок і містить 40 ілюстрацій, 21 таблиці, 3 додатки та 27 джерела за переліком посилань.

Метою роботи є аналіз бездротових комп'ютерних мереж та методів оптимізації користувацьких потоків, та розробка моделі оптимізації структури бездротової комп'ютерної мережі.

Методи досліджень базуються на основних положеннях теорії оптимізації, методі послідовних поступок та критеріях комп'ютерних мереж.

Розроблено систему проектування бездротової мережі з використанням математичної моделі на основі пуассонівських потоків. Побудована модель оптимізації структури комп'ютерної мережі, яка може включати такі критерії як вартість, надійність, пропускна здатність та інтенсивність відмов з відповідними обмеженнями.

Описано розроблене програмне та технічне забезпечення підсистеми для оптимізації користувацьких потоків. Наведені результати побудови розкладу для процесу масового тестування. Описані особливості організації оптимізації користувацьких потоків. Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та оптимізації безпроводної комп'ютерної мережі.

Можливими напрямками подальших досліджень є продовження робіт по аналізу та удосконаленню оптимізації користувацьких потоків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОПТИМІЗАЦІЯ, БЕЗДРОВОТА МЕРЕЖА, СТРУКТУРА, КОРИСТУВАЦЬКІ ПОТОКИ.

RESUME

The qualification work on the topic "Modeling wireless networks and efficient organization of user flows" for obtaining the educational qualification level "Master" in the specialty "Computer Engineering" is written in 127 pages and contains 40 illustrations, 21 tables, 3 applications and 27 sources with a list of references.

The aim of the work is to analyze wireless computer networks and methods for optimizing user flows, and to develop a model for optimizing the structure of a wireless computer network.

Research methods are based on the basic principles of optimization theory, the method of successive concessions and the conditions of computer networks.

A system for designing a wireless network using a mathematical model based on Poisson streams has been developed. The constructed model for optimizing the structure of a computer network, which can include criteria such as cost, reliability, bandwidth and failure rate with appropriate constraints.

The developed software and hardware of the subsystem for optimizing user flows are described. The given results of constructing a schedule for the bulk testing process. The features of organizing the optimization of user flows are described.

The results of the work can be used in the design and optimization of a wireless computer network.

Possible directions for further research is the continuation of work on the analysis and improvement of the optimization of user flows.

KEY WORDS: OPTIMIZATION, CELLULAR STRUCTURE, CUSTOM THREADS.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз бездротових технологій обміну даними	11
1.2 Основні принципи побудови і функціонування мереж IEEE 802.11.....	23
1.3 Моделювання систем масового обслуговування.....	30
1.4 Висновки по розділу.....	36
2. Концептуально-методичні моделі проектування бездротових мереж	37
2.1 Модель управління трафіком в бездротових мережах	40
2.2 Особливості використання бездротових мереж в освітніх установах.....	51
2.3 Висновки по розділу.....	59
3. Імітаційне моделювання змішаних потоків з обмеженим часом життя заявок..	60
3.1 Завдання побудови розкладу для процесу масового тестування.....	62
3.2. Дослідження однономенклатурного змішаного потоку.....	67
3.3. Алгоритм побудови розкладу процедури масового тестування.....	75
3.4 Висновки по розділу.....	80
4. Побудова бездротової мережі.....	81
4.1 Технологія Fast Ethernet	83
4.2 Технічне завдання моделі мережі.....	91
4.3 Побудова технічної моделі	93
4.4 Моделювання мережі	110
Висновки.....	106
Список використаних джерел.....	107
Додаток А План-схема будівлі А.1 План-схема 2-го поверху.....	110
Додаток Б Структурна схема поточної мережі Б.1 Структурна схема поточної мережі 2-го поверху	112
Додаток В Структурна схема мережі за проектом В.1	114
Додаток Г Схема мережі для моделювання в Cisco Packet Tracer.....	116

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ARP	–	Address Resolution Protocol (Протокол визначення адреси)
BGP	–	Border Gateway Protocol (Протокол граничного шлюзу)
DNS	–	Domain Name Service (Служба доменних імен)
DHCP	–	Dynamic Host Configuration Protocol (Протокол динамічного налаштування вузла)
FCC	–	Federal Communication Commission, Федеральна комісія зв'язку США
FDDI	–	Fiber Distributed Data Interface (Волоконно-оптичний інтерфейс передачі даних)
FTP	–	File Transfer Protocol (Протокол передачі файлів)
GRE	–	Generic Routing Encapsulation (Загальна інкапсуляція маршрутів)
IEEE	–	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, інститут інженерів з електротехніки та радіоелектроніки
HTTP	–	HyperText Transfer Protocol (Протокол передачі гіпертексту)
ITU	–	International Telecommunication Union, міжнародний союз електрозв'язку
ICMP	–	Internet Control Message Protocol (Протокол керуючих повідомлень в мережі Інтернет)
IP	–	Internet Protocol (Інтернет-протокол міжмережевого обміну даних)
IEEE 802.11	–	Сімейство стандартів безпроводного зв'язку IEEE 802. 16
LAN	–	Local Area Network, локальна мережа
QAM	–	Quadrature Amplitude Modulation, квадратурна амплітудна модуляція
QoS	–	Quality of Service, якість та клас послуг передачі даних
SDC	–	Soft Decision Combining, комбінування м'яких рішень
SISO	–	Soft Input – Soft Output, алгоритм кодування «м'який вхід» «м'який вихід»
SNR	–	Signal-to-Noise Ratio, співвідношення сигнал/шум
VLAN	–	Virtual Local Area Network (Віртуальна локальна мережа)
Wi- Fi	–	Wireless Fidelity, сімейство стандартів безпроводного зв'язку
WIMAX	–	Worldwide Interoperability for Microwave Access,

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема раціональної організації роботи систем, завданням яких є обслуговування випадкових потоків вимог, виникає в самих різних областях техніки, економіки, сфери послуг і т.п. Як правило, виявляється необхідним сформулювати чіткий критерій ефективності їх роботи і відшукати режим, що забезпечує його досягнення з урахуванням конкретних особливостей функціонування системи.

Бездротові мережі і, зокрема, пристрої бездротового доступу в Internet, займають міцне і далеко не останнє місце в житті людської спільноти. В даний час вони є невід'ємним елементом будь-якого бізнес процесу, управлінської та освітньої діяльності, організації дозвілля.

Рівень опрацьованості даної теорії дозволяє вирішувати такі важливі з практичної точки зору завдання, як завдання обґрунтованого вибору граничного часу обслуговування і ряд інших. Особливий інтерес представляє вивчення досить часто зустрічаються в практиці експлуатації бездротових мереж не пуассонівських потоків, а також таких, в яких поряд з ординарним потоком вимог міститься і груповий фрагмент.

У даній роботі розглянуті питання експлуатації бездротової мережі, використовуваної для обслуговування масових заходів. Запропоновано комплекс математичних моделей, що описують різні варіанти організації потоків користувачів.

Обґрунтовано види і функції розподілу змішаного потоку вимог з обмеженим часом обслуговування.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження математичних моделей ефективного адміністрування потоків в бездротових мережах і розроблення алгоритмів для побудови розкладу в умовах обмеженого часу обслуговування.

Рішення загальної наукової задачі і досягнення поставленої мети пов'язано з вирішенням наступних приватних завдань:

1. Побудова математичної моделі управління трафіком в бездротових

мережах;

2. Розробка методики проектування бездротових мереж в освітніх установах;

3. Побудова математичної моделі раціонального адміністрування потоків;

4. Побудова математичної моделі потоку масового комп'ютерного тестування;

5. Побудова математичної моделі однономенклатурного змішаного потоку з обмеженим часом обслуговування;

6. Розробка комплексу програм, що дозволяють використовувати апарат імітаційного моделювання для розрахунку різних варіантів функціонування системи в режимі змішаних потоків.

Наукова новизна. Розроблено алгоритм побудови розкладу, яке дозволяє досягти не тільки значного зниження часу очікування обслуговування, але і високу ефективність використання наявного обладнання.

Практичне значення. Створено спеціалізований програмний комплекс для оцінки ефективності адміністрування засобів імітаційного моделювання. Мета роботи і завдання дослідження.

У першому розділі - проведено огляд та порівняльна характеристика бездротових технологій: 1) позначені їхні переваги і недоліки, також виділені сфери діяльності, в яких вони найбільш ефективні; 2) досліджено основні принципи побудови та відмінні риси функціонування мереж IEEE 802.11, що дозволило обґрунтувати необхідність вдосконалення математичних моделей бездротових мереж і їх каналів, які повинні максимально враховувати умови середовища передачі; 3) проведено аналіз особливостей моделювання системи масового обслуговування (СМО), зіставлені різні методи і інструменти моделювання, обґрунтовано доцільність використання імітаційного моделювання.

У другому розділі - запропонована модель управління трафіком в бездротовій мережі і детально розглянуті особливості проектування бездротових мереж, призначених для забезпечення навчального процесу в закладах вищої професійної освіти. За допомогою методу експертних оцінок виконую порівняння найважливіших техніко-економічних характеристик бездротових мереж.

У третьому розділі - результати, отримані в третьому розділі, застосовані для вирішення важливої прикладної задачі адміністрування потоків користувачів в бездротових мережах, використовуваних при проведенні масових заходів. Конкретний зміст завдання стосується побудови розкладу процесу масового тестування, що є невід'ємним елементом організації навчальної роботи переважної більшості вищих навчальних закладів.

1 АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ДАНИМИ

1.1 Огляд і порівняння бездротових технологій

В даний час, що характеризується інформаційними проривами і активним використанням нових способів і методів передачі інформації, набули широкого поширення бездротові технології обміну даними з відповідними пристроями для реалізації точок входу, які можуть створювати віртуальні мережі. Протягом ряду років протікав процес стандартизації бездротових технологій, збільшувався швидкість передачі даних. Сьогодні вони дозволяють надавати підключення там, де неможливо кабельне з'єднання або потрібна повна мобільність.

При цьому потрібно зазначити, сумісність бездротових мереж з кабельними. Бездротові технології-це інформаційні технології, призначені для бездротової передачі інформації на відстані між двома і більше об'єктами [1-3]. Інформація може передаватися з використанням інфрачервоного випромінювання, радіохвиль, оптичного або лазерного випромінювання. На сьогоднішній день розроблено вже велика кількість бездротових технологій, відомих по своїм маркетинговим назвами, наприклад, Bluetooth, WiMAX, Wi-Fi і інші [4-7]. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають сферу її застосування.

Всі бездротові технології передачі даних підтримують як режим ad-hoc (настройка роботи без використання точки доступу), так і режим інфраструктури (підключення через точку доступу). При цьому передбачена можливість додавання нових користувачів в будь-який час і установки нових вузлів мережі в будь-якому місці без застосування мережових шнурів. Де б не знаходилася точка доступу, абонентський комплект не прив'язаний до провідної комп'ютерної мережі. Робоча станція знаходиться завжди в мережі, що робить необов'язковим підключення мережевого шнура. Можна пересуватися по області, де є покриття і постійно залишатися підключеним до мережі [8-16].

Бездротові технології принципово змінюють соціальну структуру суспільства, моделі державного управління і механізми функціонування економіки, трансформують оборонні пріоритети і повсякденне життя громадян. Згідно з

прогнозами Міжнародного союзу електрозв'язку, до 2020 року з використанням бездротових технологій кількість приєднаних до мережі пристроїв буде більш ніж в 6 разів перевищувати кількість підключених до мережі користувачів (25,5 млрд. Пристроїв проти 4 млрд. «Підключених» людей) [17-23].

Стрімкий розвиток бездротових технологій, пов'язане з поширенням «блочнотних» комп'ютерів і інструментів пошукового виклику, популяризацією систем типу «персональний секретар» (Personal Digital Assistant «PDA»), а також розширення функціональних можливостей мобільних телефонів, дозволяє віднести їх до найбільш швидко прогресуючої галузі телекомунікацій, про що свідчать, наприклад, дати розробки і впровадження принципово нових стандартів і технологій.

Успіхи сучасної радіоелектроніки, розвиток мікропроцесорної техніки і нові алгоритми цифрової обробки сигналів разом з використанням перспективних телекомунікаційних технологій відкривають нові можливості по створенню безпроводних систем зв'язку з виконанням жорстких вимог, що стосуються високої пропускної здатності і перешкодозахищеності. Такі системи покликані забезпечувати розрахунок часу, ділове планування, підтримку постійного зв'язку з віддаленими станціями, зберігання документів. Принципом бездротових технологій став вираз «Any time and any where», тобто надання послуг зв'язку незалежно від місця і часу.

На сьогоднішній день найбільш відомими технологіями бездротового зв'язку є ZigBee, Bluetooth і звичайно ж Wi-Fi. При цьому кожна з цих технологій є ефективною в різних сферах і ситуаціях, розглянемо їх більш детально, виділимо переваги і недоліки, а також проаналізуємо в яких сферах діяльності вони найбільш ефективні.

1.1.1 Технологія бездротової передачі даних Wi-Fi

Технологія Wi-Fi, або Radio Ethernet IEEE 802.11 - є першим промисловим стандартом, який дозволив організувати бездротову локальну мережу (Wireless Local Area Networks - WLAN) на обмеженій території, тобто коли кілька користувачів мають рівний доступ до загального каналу передачі даних [24]. Стандарт був створений в Інженерному інституті електротехніки та радіо

електроніки (Institute Electrical and Electronics Engineers - IEEE) і може зрівнятися зі стандартом 802.3 для звичайних дротяних Ethernet мереж. Центром бездротової мережі WI-FI є точка доступу (Access Point), яка може підключатися до будь-якої наземної мережевої інфраструктури, наприклад, офісної Ethernet-мережі і забезпечувати передачу радіосигналу [25].

На сьогоднішній день розроблено вже безліч версій стандарту - IEEE 802.11 з відповідними літерними індексами a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, t, u, v, w. Однак тільки чотири з них (a, b, g і n) є найбільш поширеними і популярними у виробників обладнання, інші ж являють собою удосконалення, доповнення або виправлення вже прийнятих специфікацій. Перша специфікація стандарту IEEE 802.11 була прийнята в 1997 році. Вона встановила передачу даних на швидкості 1 і 2 Мбіт / с в неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц, а також механізм управління доступом до фізичної середовищі (радіоканалу), який використовує метод множинного доступу з розпізнаванням несучої і усуненням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA-CA). У таблиці 1.1 представлені ключові технічні характеристики основних стандартів IEEE 802.11.

Таблиця 1.1 - Ключові характеристики основних стандартів IEEE 802.11

Стандарт	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b	IEEE 802.11g	IEEE 802.11n
Рік ратифікації Wi-Fi альянсом	1999	1999	2003	2009
Частотний діапазон, ГГц	5.15-5.24 5.67-5.85	2.4-2.482	2.4-2.483	2.4-2.481 5.14-5.25 5.67-5.85
Доступ до радіоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA
Кількість абонентів на один канал	64	64	64	64

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Максимальна швидкість обміну даними	54 Мбіт/с	11 Мбіт/с	54 Мбіт/сек	600 Мбіт/сек
Звичайна швидкість передачі даних	23 Мбіт/сек	4 Мбіт/с	20 Мбіт/сек	120 Мбіт/с
Ширина каналу	20 МГц	22 МГц	20 МГц	40 МГц
Метод модуляції	OFDM	BPSK, CCK	OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Дальність дії в приміщенні	10-20	20-100	20-50	10-20

Одночасно потрібно зазначити, що Міжнародна організація Wi-Fi Alliance презентувала новий стандарт бездротового зв'язку Wi-Fi 802.11ah «Ha Low». Діапазон роботи нового стандарту 900 МГц, саме на цій частоті пристрої Wi-Fi Certified можуть підключатися на більшій відстані з найменшими витратами енергії. За радіусу дії Wi-Fi «HaLow» приблизно в два рази перевершує використовувані в даний час варіанти Wi-Fi. Крім того, діапазон 900 МГц надає можливості, які необхідні для таких додатків, як мобільні електронні пристрої і датчики, які користувачі носять з собою .

На відміну від уже прийнятих стандартів, які працюють на частоті в 2,4 ГГц і 5 ГГц, Wi-Fi 802.11ah подвоює радіус дії сигналу, забезпечує надійне з'єднання, в разі, якщо радіохвилі проникають через перешкоди, наприклад, стіни (див. Рис .1.1). Окремо потрібно звернути увагу на той факт, що, у зв'язку з альтернативної частотою, новий стандарт не схильний до перешкод від мікрохвильових печей і інших побутових приладів.

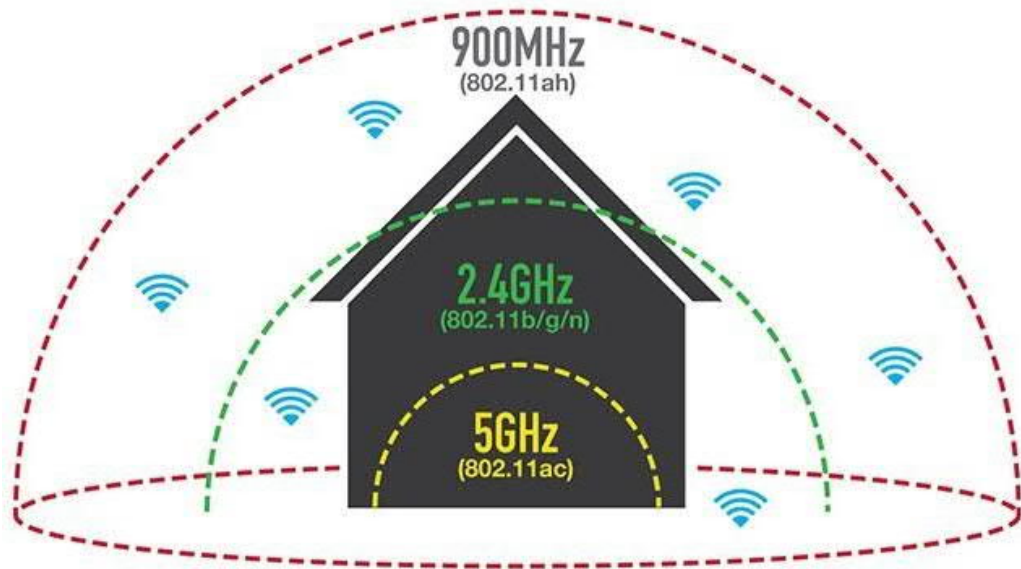


Рисунок 1.1 - Діапазон дії нового стандарту бездротового зв'язку Wi-Fi 802.11ah «HaLow».

Розробники запевняють, що Wi-Fi 802.11ah буде володіти всіма достоїнствами Wi-Fi, включаючи простоту установки, широку сумісність обладнання, а також надійний захист даних. Крім того, планується, що пристрої, з підтримкою Wi-Fi «HaLow» також будуть працювати в діапазонах 2,4 і 5 ГГц, це дозволить їм інтегруватися в діючу екосистему Wi-Fi, до якої входить понад 7 млрд. Пристроїв. Аналогічно пристроїв Wi-Fi, пристрої Wi-Fi «HaLow» будуть підтримувати підключення по IP, завдяки чому вони зможуть працювати з хмарними сервісами, що має велике значення і важливість для інтернету і збережених в ньому речей. Ще одне безперечне достоїнство Wi-Fi «HaLow» полягає в можливості підключення до однієї точки доступу тисяч пристроїв.

Крім нового стандарту Wi-Fi 802.11ah ключові перспективи розвитку Wi-Fi найближчим часом полягають в наступному:

- Освоєння діапазону 60 ГГц. Wireless Gigabit Alliance (WiGig Alliance) розвиває технологію Wi-Fi в діапазоні 60 ГГц з максимальною швидкістю передачі 7 Гбіт / с для сценаріїв пікоклітинного покриття.
- Розвиток технології Wi-Fi Direct, яка дозволяє забезпечити зі звичайною швидкістю Wi-Fi прямі з'єднання між різними клієнтськими пристроями, обходячи традиційні точки доступу і бездротові маршрутизатори.
- Підтримка вдосконалених рішень VoIP з оновленим набором WFA-протоколів для розвитку конкурентоспроможних альтернативних послуг.

- Розвиток стільникових (Mesh) Wi-Fi мереж, заснованих на дешевих модулях, кожен з яких по радіоканалу з'єднаний з усіма сусідами в зоні радіовидимості.

- Подальше вдосконалення радіо інтерфейсу Wi-Fi.

- Удосконалення клієнтського досвіду Wi-Fi за допомогою оптимізації взаємодії з точками доступу .

І в завершенні аналізу технології бездротової передачі даних Wi-Fi відзначимо, що її основні переваги полягають в:

- Простоті використання готових модулів;

- Легкості інтеграції з існуючими провідними мережами (LAN);

- Високій швидкості передачі інформації;

- Більш високою (у порівнянні з іншими бездротовими мережами) ціною на обладнання;

- Великим (в порівнянні з іншими бездротовими мережами) енергоспоживанням;

- Роботою безлічі пристроїв в діапазоні частот 2.4 ГГц, наприклад, мають Bluetooth адаптер, це погіршує якість передачі інформації;

- Існуючими в кожній країні експлуатаційними обмеженнями і частотними діапазонами;

- Недостатньо захищеним стандартом шифрування WEP, який використовується для захисту доступу до мережі.

Розглядаючи більш детально сфери застосування технології бездротової передачі даних Wi-Fi, можна відзначити, що сьогодні вона використовується в багатьох областях діяльності. Найбільший попит технологія отримала у Інтернет провайдерів, оскільки це дозволяє їм відмовитися від десятків кілометрів проводів . Також дана технологія використовується в ігровій індустрії. Такі відомі бренди як Sony і Nintendo монтують Wi-Fi пристрої в свої ігрові консолі, для забезпечення доступу до Інтернету. Деякі комерційні організації надають доступ до мережі Інтернет з використанням даної технології. Якщо ж розглядати великі компанії і корпорації, то вони використовують Wi-Fi для створення корпоративної мережі, так як це дешевше ніж створювати дротову мережу Ethernet.

1.1.2. Технологія бездротової передачі даних Bluetooth

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15) є першою технологією, яка дозволила організувати бездротову персональну мережу передачі даних (WPAN - Wireless Personal Network). Вона дає можливість проводити передачу голосу і даних з використанням радіоканалу на короткі відстані (10-100 м) в неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц, а також з'єднувати мобільні телефони, ПК та інші пристрої в умовах відсутності прямої видимості.

Стандарт Bluetooth має більше 10 профілів, тобто наборів функції пристроїв Bluetooth. Основними профілями, затвердженими групою розробників SIG є:

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP) цей профіль призначений для забезпечення передачі музики в бездротові навушники;
- Audio / Video Remote Control Profile (AVRCP) профіль, який дозволяє керувати функціями телевізора;
- File Transfer Profile (FTP_profile) профіль, що забезпечує обмін даними між пристроями;
- Hands-FreeProfile (HFP) профіль призначений для з'єднання бездротових навушників і мобільних пристроїв, оснащений також функцією розмови по телефону;
- LAN Access Profile (LAP) профіль, який забезпечує доступ до мереж LAN, WAN або Internet з використанням засобів іншого Bluetooth пристрою;
- SIM Access Profile (SAP, SIM) профіль, що дозволяє отримати доступ до SIM-картки мобільного пристрою і використовувати одну SIM-карту на декількох пристроях;
- Wireless Application Protocol Bearer (WAPB) профіль який зрівнює протокол для організації (Point-to-Point) з'єднання через Bluetooth, а також інші профілі.

Як відомо, Wi-Fi і Bluetooth використовують діапазон 2,4 ГГц. У разі якщо Bluetooth пристрої розташовані в зоні покриття пристроїв Wi-Fi і проводять обмін інформацією між собою, часто виникають колізії, що може негативно позначитися на працездатності пристроїв. Технологія AFH дає можливість виключити появу колізій: в процесі обміну інформацією для подолання інтерференцій технологія

Bluetooth використовує стрибкоподібну зміну частоти каналу, при виборі якого не беруться до уваги частотні канали, які обслуговують обмін даними пристрої Wi-Fi. На рисунку 1.2 проілюстровано принцип технології AFH.

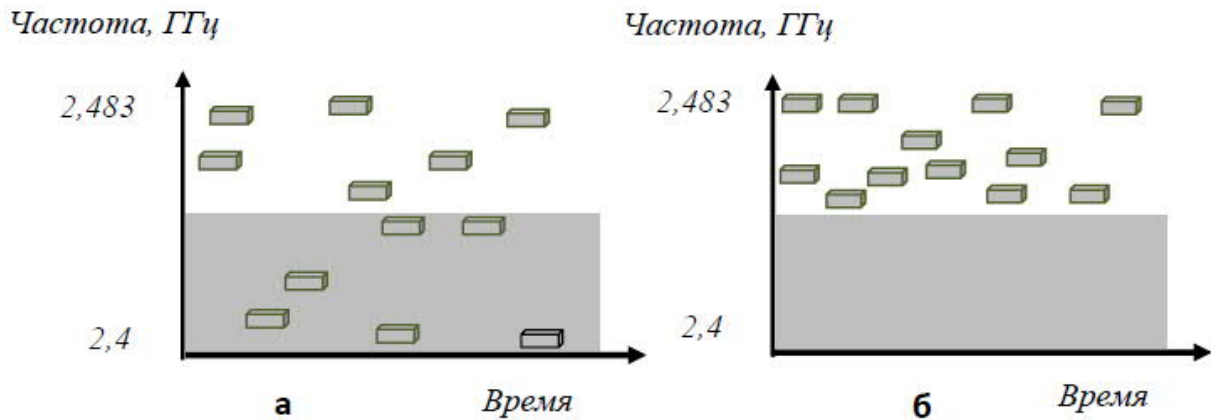


Рисунок 1.2 - Принцип роботи технології AFH: а - колізії; б - перехід від колізій за допомогою адаптивної перебудови частоти.

Підсумовуючи можна сказати, що перевагами технології Bluetooth є: мобільність і малі розміри; простота використання готових модулів; значна швидкість передачі даних; безпеку передачі даних; доступність; необхідність авторизації пристрою; низький поріг чутливості до перешкод (залежить від товщини і матеріалу перешкоди); високий рівень стандартизації.

Однак, слід зазначити, що дана технологія не позбавлена і недоліків. Якщо, наприклад, два користувача хочуть обмінятися даними, то в процесі пошуку пристроїв один одного будуть знайдені всі пристрої, які включені в радіусі 10-15 метрів, що знижує швидкість ініціалізації пристроїв. Крім того, слід зазначити неможливість побудови мереж складної топології і великі (у порівнянні з мережами ZigBee) обсяги енергоспоживання.

Найчастіше технологія Bluetooth застосовується для забезпечення радіозв'язку між різними видами електронних пристроїв шляхом заміни ведучого послідовного з'єднання між двома пристроями на бездротове.

1.1.3 Технологія бездротової передачі даних ZigBee

Технологія бездротової передачі даних ZigBee з'явилася на ринку вже після Bluetooth і Wi-Fi. Необхідність розробки технології ZigBee пов'язана, перш за все, з тим, що для певних операцій, наприклад, таких як дистанційне керування освітленням або воротами, зчитування інформації з датчиків, ключовими критеріями при виборі ефективної технології бездротової передачі є низька вартість і низьке енергоспоживання апаратної частини.

Мережі ZigBee називають мережами, які самоорганізуються і самовідновлюються. Це пов'язано з тим, що ZigBee-пристрої, завдяки вбудованому програмному забезпеченню, при включенні харчування можуть самостійно знаходити один одного і створювати мережу, а в разі поломки будь-якого вузла наділені повноваженнями встановлювати нові маршрути для передачі повідомлень. Таким чином, технологію ZigBee можна використовувати як для забезпечення простих з'єднань «точка-точка» і «Зірка», так і для обслуговування складних мереж.

ZigBee заснований на стандарті IEEE 802.15.4-2006 для бездротових персональних мереж. IEEE 802.15.4-стандарт, який визначає фізичний шар і управління доступом до середовища для бездротових персональних мереж з невеликою швидкістю. Архітектура стандарту показана на рисунку 1.3.

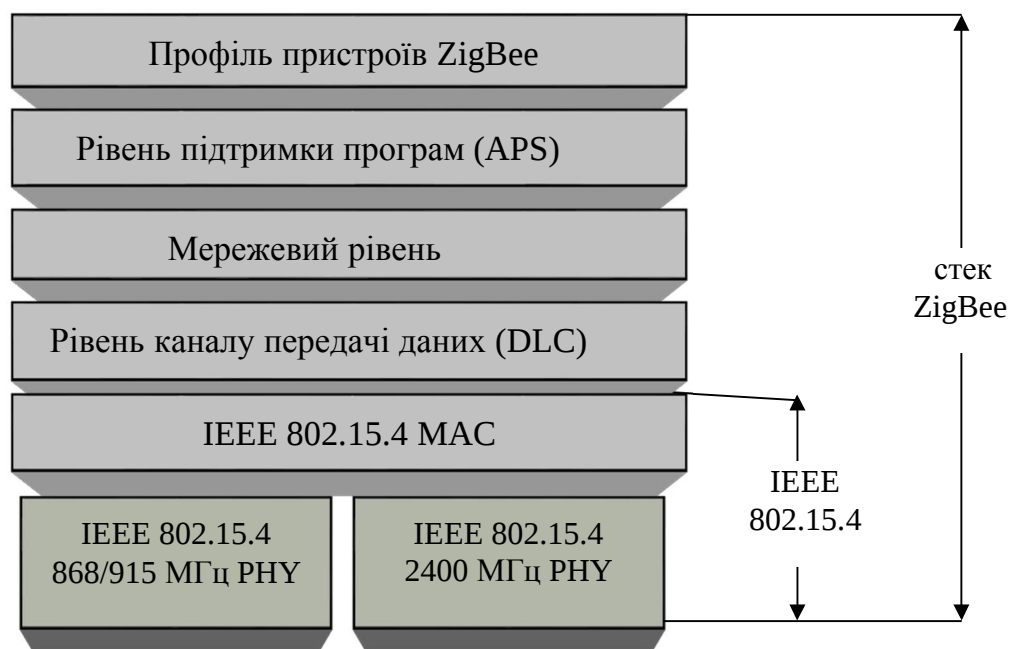


Рисунок 1.3 - Зв'язок стека ZigBee зі стандартом IEEE 802.15.4.

Характеристики ZigBee:

- Частотний діапазон - 2,4 ГГц, 16 частот з шириною 5 МГц;
- DS-SS - пряме розширення спектра сигналу;
- O-QPSK - квадратурна фазова маніпуляція зі зміщенням;
- Автоматичне регулювання виходить потужності в широких межах для забезпечення енергоефективності;
- Дозволена потужність - 100 мВт;
- Оцінка рівня потужності сигналу в ефірі - RSSI і підтвердження про успішну доставку для кожного пакету даних;
- Mesh - мережева технологія, яка забезпечує самовідновлення і самоорганізацію, надійність і гнучкість маршрутизації;
- До 65536 вузлів (модемів) в мережі;
- Механізм множинного доступу в ефір з контролем несучої і запобіганням колізій - CSMA (Carrier Sense, Multiple Access);
- 128-бітове шифрування даних за алгоритмом AES;
- Швидкість передачі даних, включаючи службову інформацію - до 250 кбіт / с. .

Як у випадку з Wi-Fi в ZigBee використовується CSMA-CA для істотного зниження кількості випадків зіткнень, викликаних передачею даних декількома пристроями одночасно.

Крім того, окремий акцент слід зробити на тому, що мережі ZigBee є простими в установці, тому що вони формуються автономно. Також, завдяки поєднанню маршрутизації на основі таблиці і маршрутизації по дереву, забезпечується гнучкість роботи і можливість вибору розробниками широкого спектра співвідношень ціна / продуктивність, що в свою чергу сприяє формуванню масштабується і недорогий мережевої інфраструктури. У порівнянні з технологією Wi-Fi ZigBee має найкраще співвідношення «дальність передачі / швидкість передачі / енергоспоживання» завдяки тому, що первинна обробка лінійно частотного імпульсу виконується в аналоговий спосіб.

Недоліками ZigBee є: недостатньо високий рівень стандартизації і відсутність єдиної програмно-апаратної платформи для розробки складних програм; невисока швидкість передачі даних, в результаті чого велика частина

трафіку ZigBee витрачається на передачу пакетів; обмежена сумісність пристроїв ZigBee різних виробників; відсутність високорівневих профілів.

Технологія ZigBee, завдяки своїм перевагам знайшла широке застосування на практиці. Так, вона успішно інтегрується в системи автоматизації життєзабезпечення будівель і споруд (віддалене управління реостатами, вимикачами, мережевими розетками та ін.); системи автоматичного зняття показань з різних лічильників (води, газу, електрики та ін.); системи управління побутовою технікою та електронікою; системи безпеки (датчики доступу і охорони, руху, задимлення, витоку газу, води і т.д.); системи контролю і моніторингу за навколишнім середовищем (датчики тиску, температури, вологості, вібрації та ін.); системи промислової автоматизації.

Порівняльні характеристики технологій Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee наведені в таблиці 1.2. Ця інформація допоможе прийняти правильне рішення при виборі технології бездротової передачі даних.

Таблиця 1.2- Порівняльні Характеристики технологій Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee.

Стандарти	Технології						
	ZigBee 802.15.4			Bluetooth	Wi-Fi		
					802.11b	802.11g	802.11n
Частота ГГц	0,868	0,915	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4 (5)
Швидкість	20 кб/с	40 кб/с	250 кб/с	1 Мб/с	11 Мб/с	54 Мб/с	600 (300) Мб/с
Вихідна потужність	0 дБм			0-20 дБм	20 дБм	20 дБм	20 дБм
Радіус дії, м.	10-100			10-100	100	100	150-300
Розмір стека Кбайт	4-32			> 250	> 1000	> 1000	> 1000
Розмір мережі	216, 264			7 + 1	64	64	64
Час роботи від батареї, ч.	2400-24000			24-240	12-120		
Максимальна кількість елементів мережі	65536			7	100		

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4
Безпека	+	Аутентифікація, кодування	68/124 бітове шифрування
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Високе
Ціна	Низька	Низька	Висока
Реалізовані стандарти	IEEE 802.14.5	IEEE 802.15.1 IEEE 802.11	IEEE 802.11 a, b, n, g, ah
Сфера застосування	Сенсорні системи	Мобільні пристрою	Локальні мережі

Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити наступні висновки. На сьогоднішній день найбільш поширеними бездротовими технологіями є Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee. Вони користуються такою популярністю за рахунок їх переваг, а саме: відсутність проводів, висока і безпечна швидкість передачі даних, можливість передачі досить великих обсягів інформації та доступність для користувачів.

Технологія Bluetooth переважно використовується в мобільних пристроях, так як майже кожне з них має Bluetooth-адаптер. Технологія ZigBee є оптимальною в масштабах підприємств і офісних будівель.

Однак аналіз розвитку сучасного ринку мобільних пристроїв і мережевих технологій свідчить, що в перспективі домінуючою технологією буде Wi-Fi. Про це свідчить той факт, що більшість сучасних пристроїв мають Wi-Fi адаптер. До того ж, з точки зору створення призначених для користувача додатків, Wi-Fi є більш привабливою технологією для програмної реалізації бездротової передачі даних.

В даний час однією з гострих проблем розвитку технології Wi-Fi є збільшення швидкості передачі даних. Звісно ж, що одним з перспективних шляхів вирішення даної проблеми є застосування методів модуляції цифрових сигналів OFDM (N-OFDM) (ортогональна і неортогональної частотні дискретні модуляції), технології просторово-часової і просторово-поляризаційної обробки сигналів, а також MIMO (множинний вхід - множинний вихід) на базі цифрових антенних решіток. Розвиток елементної бази уможливорює використання цих технологій, як в

малопотужних переносних пристроях, так і в станціях радіо, радіорелейного і тропосферного зв'язку.

Крім того, сучасні досягнення процесорної техніки дозволяють створювати уніфіковані комплекси засобів зв'язку з можливістю програмної реконфігурації обладнання. Вже зараз розробляються нові варіанти конфігурації антен, до 64x64 МІМО. Це дозволить досягти ще більших швидкостей передачі даних, ємності мережі та спектральної ефективності.

Тому, з урахуванням того, що потенціал зазначених технологій не вичерпаний, дослідження в даному напрямку є перспективними і заслуговують додаткового уваги, як з практичної, так і з теоретичної точки зору.

1.2 Основні принципи побудови і функціонування мереж IEEE 802.11

Впровадження технології бездротового широкосмугового доступу, заснованої на специфікаціях IEEE серії 802.11 (Wi-Fi), як уже зазначалося раніше, може забезпечити потреби користувачів не тільки в широкосмуговий доступ до Інтернету, а й в частині передачі даних поверх Wi-Fi. Крім того, Wi-Fi надає можливість для побудови цільових мереж, що може сприяти розширенню клієнтської бази та надання користувачам принципово нових послуг. Все це можливо за умови коректного і ефективного побудови самої мережі.

Як свідчить проведений аналіз існуючих наукових і спеціалізованих робіт з даної проблематики, в даний час дослідження в області бездротових технологій стандарту 802.11 набувають все більшого поширення. Це пов'язано з тим, що апаратні засоби і протоколи, що лежать в основі таких мереж, є досить новими і швидко розвиваються.

Велика увага аналізу та вирішення проблем розробки надійних бездротових мереж, в тому числі і стандарту IEEE 802.11, а також створення програмних і апаратних засобів для них, приділяють провідні компанії в області виробництва радіоелектронних компонентів, а саме Digi, Freescale, Semiconductor, Ember, Texas

Instruments і т.д. В даний час дослідження в цій області ведуться в основному по розробці нових протоколів зв'язку.

У науковій сфері можна відзначити наступні напрацювання. Так, наприклад, в роботах представлені основні характеристики бездротових систем і приведено загальний вираз для потужності приймального сигналу.

Поряд з дослідженнями стандартів 802.11 проводяться дослідження стандарту 802.16. Ці стандарти схожі між собою, а також для них характерна наявність однакових типів перешкод в середовищі передачі. У роботах були оцінені причини і наведені методи боротьби з міжканального інтерференційними перешкодами для багатопозиційних сигналів. В результаті чого було встановлено, що при використанні великої кількості піднесуть, збільшується швидкість передачі в каналі, а також збільшуються вимоги до параметру сигнал / шум. Одним із вагомих чинників, який необхідно враховувати, є тип модуляції.

У стандарті 802.11 використовується два види модуляції MPSK для низькошвидкісної передачі і QPSK для високошвидкісної передачі. Як показують дослідження одним з критеріїв ефективності передачі інформації є забезпечення відповідного рівня сигнал / шум.

Не викликає сумніву той факт, що ключовий параметр, який характеризує будь-який канал передачі - це пропускна здатність. Саме забезпечення цього параметра в певних межах і можливості його підвищення, свідчать про ефективність роботи каналу. З іншого боку, розглядаючи бездротові канали стандарту 802.11 Wi-Fi, можна спостерігати невеликий виділений частотний ресурс, на якому розміщується велика кількість мереж, що використовують однакові канали для передачі інформації. Особливо це стосується областей з високою складністю забудови і щільністю населення (кількість мереж може досягати більше 50). В такому випадку, при збігу частотних каналів, інформаційні пакети кожної мережі займають тимчасові проміжки між пакетами іншої мережі. Всі ці фактори призводять до виникнення перешкод і зменшення параметра корисної пропускної здатності.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного, представляється доцільним з метою визначення ефективних принципів побудови і формалізації структури

бездротового каналу стандарту 802.11 з урахуванням максимально можливої кількості чинників, які впливають на характеристики передачі, докладно розглянути, що являє собою стандарт IEEE 802.11 як базовий для всіх наступних специфікацій.

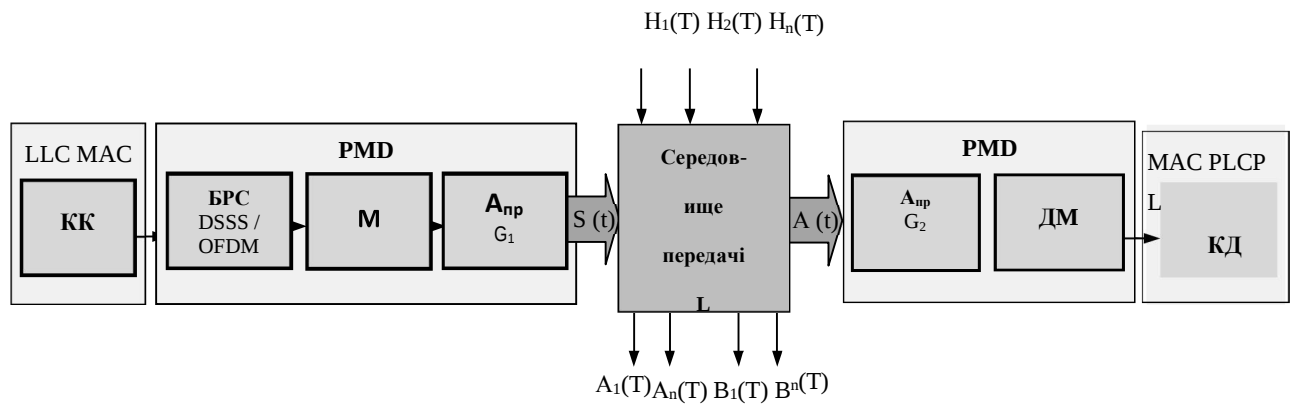
Як і всі стандарти комітету IEEE 802, в документі IEEE 802.11 розглядаються два нижніх рівні моделі взаємодії відкритих систем (OSI): фізичний і канальний (Data Link layer). Причому останній підрозділяється на два підрівні. Верхній - Logical Link Control (LLC) - описаний в стандарті IEEE 802.2. Стандарт IEEE 802.11 розглядає тільки нижній підрівень-Medium Access Control (MAC), тобто управління доступом до каналу (середовищі передачі). Іншими словами, на фізичному рівні стандарт визначив спосіб роботи з середовищем передачі, швидкість і методи модуляції. На MAC-рівні - принцип, за яким пристрої використовують (ділять) загальний канал, способи підключення пристроїв до точок доступу і аутентифікації, механізми захисту даних.

Оскільки стандарт IEEE 802.11 розроблявся як «бездротової Ethernet», він передбачає пакетну передачу з 48-бітними адресами пакетів, як і будь-яка мережа Ethernet. Комітет IEEE 802 особливу увагу приділяв сумісності всіх своїх стандартів, в результаті провідні та безпроводні мережі IEEE 802 легко поєднуються один з одним.

З точки зору побудови бездротових Wi-Fi мереж, канали передачі для аналізу можна уявити, як точки доступу і абонентські адаптери- інтерфейси. Кожне таке пристрій містить як передавач, так і приймач, які виконують обмін радіосигналами через середу передачі, а також виконують роль перетворювачів інформації від мережевих інтерфейсів в радіосигнали і навпаки.

У найпростішому випадку побудова бездротового каналу передачі, можна розглянути, як пару - передавач і приймач, що показано на рисунку 1.4.

На канальному рівні (підрівні LLC і MAC) і підрівні PLCP виконується завадостійке кодування, так званим канальним кодером (КК). Тут виконується формування кадру PPDU, який вміщує в себе службову і корисну інформацію для передачі.



$B_1(t), \dots, B_n(t)$ - перешкоди, які мають природний характер, перешкоди від пристроїв інших систем передачі і побутових приладів;

$A_1(T), \dots, A_n(T)$ - Перешкоди, які вносять інші передавачі стандарту Wi-Fi;

$H_1(T), \dots, H_n(T)$ - Інтерференційні перешкоди.

Рисунок 1.4 - Структура бездротового каналу стандарту Wi-Fi.

Підрівень PMD каналного рівня, перетворює двійкову послідовність в модульоване ВЧ-коливання за допомогою квадратурного модулятора (М) і блоку розширення спектра (ВРХ). Для стандартів 802.11 n і вище використовується OFDM, а для нижчих - DSSS. На виході передавальної антени ($A_{пр}$) формується сигнал $S(t)$ і надходить в середу передачі. Потужність сигналу передавача є заздалегідь визначеною величиною і становить для стандарту Wi-Fi 100 мВт. Поряд з цим значенням внутрішні шуми електричних ланцюгів передавача є незначними і ними можна знехтувати. Основні перешкоди, що призводять до зміни і загасання сигналу, діють в середовищі передачі.

Розглядаючи на наступному етапі радіотракт, не можна обійти увагою ключове питання - частотний діапазон. IEEE 802.11 прив'язаний до існуючих в США і ряді інших країн безліцензійний частотних діапазонах. Спочатку він був орієнтований на діапазон 2,400-2,4835 ГГц з шириною смуги 83,5 МГц. Обумовлена стандартом спектральна маска для одного каналу приведена на рисунку 1.5 (потужність відраховується щодо піків функції $\text{Sin}(x) / x$). Ширина каналу на рівні-30 Дб становить 22 МГц, отже, в смузі 83,5 МГц можливо три канали, які не перекриваються.

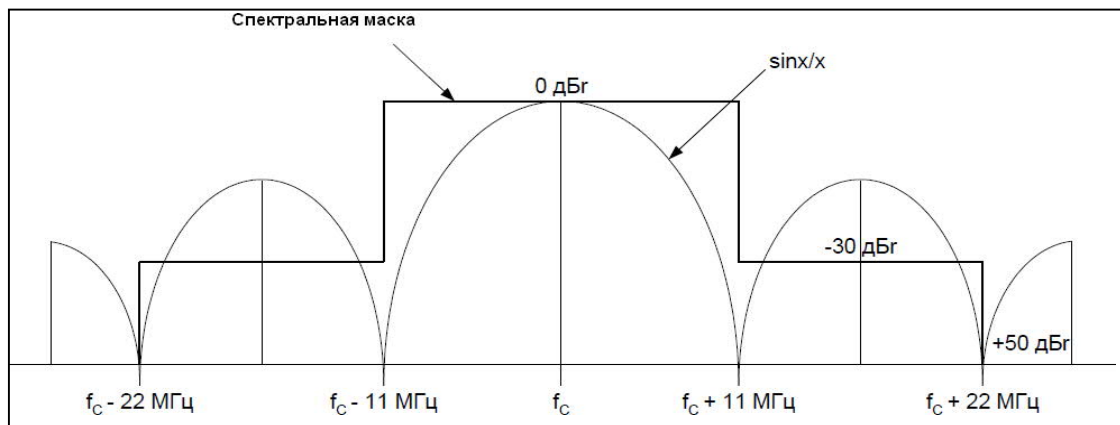


Рисунок 1.5 - Спектральна маска каналу мережі 802.11.

Стандарт IEEE802.11 передбачає два основних способи організації локальної мережі: за принципом «рівний з рівним» (ad-hoc-мережа – рисунок 1.6, а) і у вигляді структурованої мережі (рисунок 1.6, б).

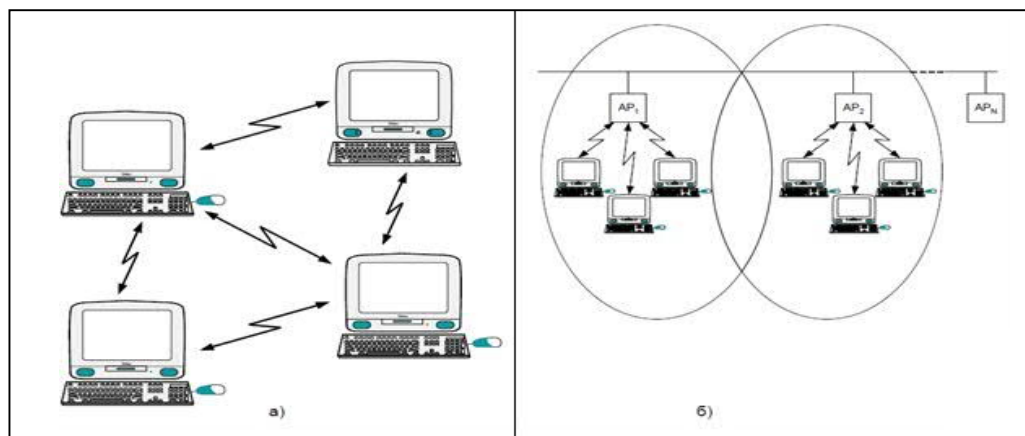


Рисунок 1.6 - Архітектура мережі 802.11: а - Ad-hoc-мережа; б - Структуровані мережі.

У першому випадку, а) зв'язок встановлюється безпосередньо між двома станціями, і ніякого адміністрування не передбачено. У разі структурованих мереж (а, як показала практика, це основний спосіб побудови мереж IEEE 802.11) в їх складі з'являється додатковий пристрій - точка доступу (AP - Access Point), як правило, стаціонарна і діюча на фіксованому каналі. Зв'язок між пристроями відбувається тільки через AP. Через них же можливий вихід в зовнішні провідні мережі.

У мережі IEEE 802.11 може бути кілька AP, об'єднаних провідною мережею Ethernet. Фактично така мережа являє собою набір базових станцій з зонами

охоплення, що перекриваються. Стандарт IEEE 802.11 допускає переміщення пристроїв з однієї зони AP в іншу (роумінг), тим самим забезпечуючи мобільність. Оскільки для мобільних станцій важливим є питання ресурсу елементів живлення, в стандарті закладено спеціальний протокол управління енергоспоживанням - безпосередньо при обміні передавальний пристрій може перевести приймач в режим очікування.

Крім того, при побудові мережі IEEE 802.11 важливі є ряд таких моментів.

По-перше, це вибір стандарту бездротової мережі. Порівняння стандартів наведено в таблиці 1.1 Як свідчить дана таблиця, безсумнівні переваги має стандарт IEEE 802.11n, до числа яких відносяться: збільшення швидкості передачі даних; · збільшення зони покриття; збільшення надійності передачі сигналу; збільшення пропускної здатності. На фізичному рівні стандарту реалізована вдосконалена обробка сигналу і модуляції, додана можливість одночасної передачі сигналу через чотири антени. На мережному рівні реалізовано більш ефективне використання доступної пропускної здатності. Разом ці вдосконалення дозволяють збільшити теоретичну швидкість передачі даних до 600 Мбіт / с, що більше ніж в десять разів більше, в порівнянні з 54 Мбіт / с стандарту 802.11a / g.

По-друге, потрібно визначитися з методом об'єднання всіх елементів бездротової мережі. Завдання полягає в тому, щоб всі мобільні пристрої в підконтрольній зоні мали можливість передавати і отримувати дані від бездротової мережі. При цьому повинен дотримуватися принцип, при якому переміщення мобільного пристрою з однієї зони покриття Wi-Fi в іншу зону для користувача буде непомітно, тобто не потрібно було вручну робити перепідключення і вводити пароль.

Основними режимами роботи точки доступу Wi-Fi є:

- Режим точки доступу Access Point (AP);
- Режим бездротового мосту Wireless Bridge;
- Режим AP / Bridge (AP + Bridge);
- Режим повторювача Repeater (Bridge / Repeater);
- Режим роумінгу (Roaming);
- Режим бездротової системи розподілу WDS (Wireless Distribution System).

По-третє, вибір обладнання. Різноманітність фірм виробників мережевих бездротових пристроїв величезна, а ще більше марок цих пристроїв. Необхідно чітко позначити критерії вибору і ключові моменти. Звісно ж, що при виборі обладнання в першу чергу слід звернути увагу на такі особливості:

- внутрішня або зовнішня точка доступу (в приміщенні / на вулиці);
- тип антени (спрямована, всеспрямована);
- наявність портів (які роз'єми є в пристрої);
- які стандарти підтримує (IEEE 802.11);
- частотний діапазон;
- потужність бездротового сигналу;
- режими роботи;
- скільки користувачів одночасно підтримує одна точка доступу.

По-четверте, можливі втрати ефективності сигналу Wi-Fi після проходження різних перешкод (див. таблицю 1.3).

Таблиця 1.3 - Втрата ефективності сигналу Wi-Fi при проходженні через різні середовища.

Перешкода	Додаткові втрати, Дб	Ефективна відстань, %
Відкритий простір	0	100
Вікно	3	70
Дерев'яна стіна	10	30
Міжкімнатні стіна завтовшки 15,2 см	15-20	15
Несуча стіна завтовшки 30,5 см	20-25	10
Бетонна підлога або стеля	15-25	10-15
Монолітне залізобетонне перекриття	20-25	10

Таким чином, підбиваючи підсумок, відзначимо, що в процесі проектування бездротової мережі необхідно брати до уваги: стандарт зв'язку, спосіб об'єднання точок доступу, тип обладнання та зону покриття «Корисного» сигналу. Якщо один

з чотирьох пунктів не врахований, то дальність дії сигналу скоротиться в багаторазовому розмірі. Це, в свою чергу, буде сприяти появі затримок і помилок під час отримання доступу до послуг з великим обсягом трафіку. Тому, на сьогоднішній день видається актуальним пошук нових методів і засобів для мінімізації впливу вищенаведених факторів. Одне з таких напрямків - вдосконалення математичних моделей бездротових мереж і їх каналів, які здатні максимально враховувати особливості середовища передачі.

1.3 Моделювання систем масового обслуговування

Системам масового обслуговування (СМО) присвячені сьогодні роботи вчених в різних наукових колах різних спеціальностей, зокрема, математики, економіки, кібернетики, інформатики. Серед авторів таких робіт слід виділити в першу чергу А.Ерланга (Erlang A.) і К.Пальма (Palm C.), які вважаються основоположниками теорії системи масового обслуговування. Я.Штрік (Sztrik J.) визначає теорію масового обслуговування як таку, яка вивчає найменш приємний період в житті людини, - очікування, і вона може бути застосована в різних галузях знань.

В цілому в СМО розглядаються найрізноманітніші черзі: черга в магазині; чергу в касі залізниці або телефонної станції; робота декількох операторів, які створюють «чергу» перед ЕОМ; запити електронних приладів до іншого «приладу обслуговування» і т.д.

Природно наявність черги обумовлює ряд вимог до обслуговуючого приладу. Вимоги надходять у випадкові моменти часу, які обслуговують пристрої задовольняють вимоги (обробляють їх) за випадковий термін. Кількість вимог є статистично оцінюваної величиною.

Таким чином, СМО в цілому можна уявити. Як сукупність послідовно пов'язаних між собою вхідних потоків вимог на обслуговування (потоків

замовлень), черг, каналів обслуговування і потоків обслужених замовлень (рисунок 1.7).

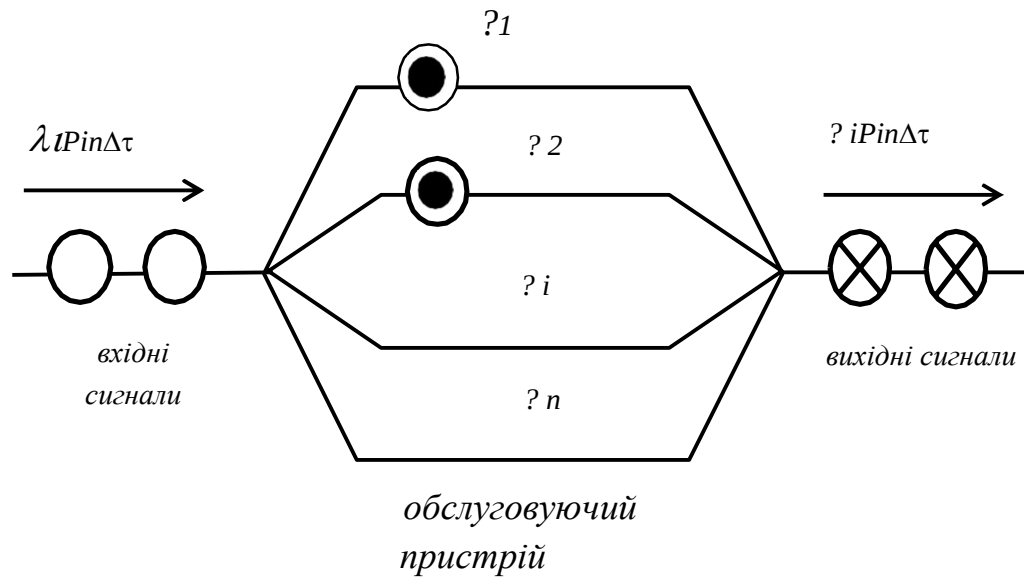


Рисунок 1.7 - Модель n - каналної системи масового обслуговування.

З метою оцінки пропускної здатності СМО необхідно враховувати велику кількість чинників для вибору науково-обґрунтованих методів їх розрахунку, тому планування і оптимізацію таких систем слід здійснювати за допомогою математичних методів. Здійснюючи експеримент за допомогою математичної моделі можна отримати відповіді, наприклад, на такі питання, як: якою має бути максимально допустима довжина черги; скільки часу потрібно витратити, чекаючи своєї черги на обслуговування каналом; яка оптимальна кількість каналів обслуговування повинно бути і ін.

Вчені виділяють найважливіші параметри і характеристики для оцінки якості СМО:

- імовірність очікування в черзі. Цьому параметру відводиться невелика роль в дослідженнях, оскільки навіть якщо значній кількості заявок доводиться очікувати, обслуговування слід визнати задовільним у всіх випадках, коли час очікування виявилося в більшості випадків дуже малим. Найважливішим є пошук закону.

- розподілу часу очікування, оскільки в таких завданнях головну роль грає не частота очікування в черзі, а природа часу очікування як випадкової величини.

- середня довжина черги, яка залежить від часу і кількості надходження заявок на обслуговування, кількості часу на обслуговування вимог і т.д. Фактично це випадкова величина з певною закономірністю розподілу, а тривалість обслуговування кожної заявки незалежна і однаково розподілена.

- середня тривалість очікування вимог і т.д.

Використовуючи отримані дані, можна перевірити на суб'єктивність побудовану математичну модель, яка є аналітичним прообразом досліджуваної реальної системи.

Як свідчить практика, для моделювання СМО використовують статистичні, аналітичні моделі, імітаційне і нечітке моделювання. Розглянемо деякі з цих методів докладніше.

Аналітичні моделі СМО виходять з наступних припущень:

- Випадкова величина «час обробки вимоги каналом обслуговування СМО» є випадковою величиною, яка розподілена за експоненціальним законом з відомим параметром. Параметр розподілу дорівнює інтенсивності обробки вимоги одним каналом СМО.

- Випадкова величина «час надходження вимоги в мережу» є випадковою величиною, яка розподілена за експоненціальним законом з відомим параметром. Параметр розподілу дорівнює інтенсивності надходження вимог до мережі.

- Все черзі необмеженої величини. При моделюванні це припущення означає, що в системі не виникає ситуації

- «Немає місця в черзі СМО».

- Відомі ймовірності проходження вимоги з однієї СМО до іншої, або до неї ж самої. Допускаються складні маршрути вимог з розгалуженнями і поверненнями, проте не допускається блокування маршрутів.

Разом з тим слід зазначити, що недоліками більшості аналітичних моделей є використання в них значних спрощень: зображення потоку замовлень як пуассоновського або найпростішого, неможливість обслуговування замовлень одночасно по декількох каналах обслуговування і т.д. Такі спрощення, а іноді штучні пристосування аналітичних моделей, з метою використання добре розробленого математичного апарату для дослідження реальних систем, можуть

ставити під сумнів результати аналітичного моделювання. Недоліком складних аналітичних моделей є громіздкість обчислень. Зокрема, аналітичне рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів СМО можна знайти тільки в разі, коли кількість каналів обслуговування не перевищує двох. Складною для вирішення в таких випадках є, і відповідна система алгебраїчних рівнянь для ймовірностей станів граничного стаціонарного режиму. Отже, аналітичні методи мають самостійне значення лише для дослідження функціонування СМО в першому наближенні і в окремих, специфічних завданнях.

Статистичні методи передбачають відображення системи в n -мірному просторі «розмитою» точкою, яка характеризується функцією розподілу (щільності розподілу) або математичним очікуванням і дисперсією. Рух цієї точки в фазовому просторі описують деякою випадковою функцією. Основним математичним апаратом статистичних методів є математична статистика, метод статистичних випробувань «Монте-Карло», методи перевірки статистичних гіпотез, теорія статистичних рішень. Основною проблемою, що обмежує застосування статистичних методів, є неможливість у багатьох випадках отримати репрезентативну вибірку для подання необхідних властивостей і зв'язків.

Все більше застосування в інформаційних задачах знаходить теорія нечітких множин. Роботи, присвячені використанню даного підходу для цілей програмування і створення телекомунікаційних мереж, досить часто публікуються у фахових виданнях. Сьогодні теорія нечітких множин та нечітка логіка отримали воістину всесвітнє визнання. Велика заслуга в цьому належить самому Лотфі Заде, який активно пропагує свої ідеї по всьому світу. Важливим кроком розвитку теорії нечітких множин було введення так званих «нечітких чисел», які являють собою нечіткі множини спеціалізованого виду. З їх введенням виявилось можливим прогнозувати майбутні значення параметрів, які очікувано змінюються в зазначеному діапазоні. Також було визначено набір операцій над нечіткими числами і правила їх виконання.

Таким чином, практичний потенціал теорії нечітких множин і нечіткої логіки, їх здатність моделювати гнучкі і неточні обмеження, часткове прояв властивостей,

плавний перехід з однієї ситуації в іншу дозволяє з достатнім рівнем достовірності та адекватності проводити моделювання СМО, особливо в області інформатизації.

На відміну від аналітичного, імітаційне моделювання знімає більшість обмежень, пов'язаних з можливістю відображення в моделях реального процесу функціонування СМО; динамічної взаємної обумовленістю поточних і наступних подій; комплексної взаємозв'язком між параметрами і показниками ефективності системи і т.д. Хоча імітаційні моделі в деяких випадках не такі лаконічні, як аналітичні, проте вони можуть бути як завгодно близькі до системи, яку моделюють, і прості у використанні. Це дає можливість застосовувати імітаційне моделювання в якості універсального підходу для прийняття рішень в умовах невизначеності, враховуючи в моделях навіть ті чинники, які важко формалізувати, а також використовувати головні принципи системного підходу для вирішення практичних завдань.

Описи компонентів реальної системи в імітаційній моделі носять певний логіко-математичний характер і являють собою сукупність алгоритмів, що імітують функціонування цієї системи. Програма моделі, побудована на основі цих алгоритмів, дозволяє звести імітаційне моделювання до проведення експериментів на ЕОМ. Завдяки застосуванню універсальних мов програмування для реалізації імітаційних моделей досягається гнучкість під час створення, налагодження та випробування моделі.

В даний час існує декілька програмних продуктів, що дозволяють здійснювати імітаційне моделювання, в тому числі, СМО.

Пакет AnyLogic 5.0 - підтримує різні типи експерименту (симуляції, оптимізації, метод Монте-Карло), аналіз чутливості, побудова алгоритмів користувача. Має вбудований модуль OptQuest, який працює як з класичними, так і з великими завданнями зі структурною оптимізацією. Крім того, пакет AnyLogic 5.0 має вбудовану анімацію і можливість створення аплетів, в нього включено швидкий механізм планування експериментів і перегляд системної динаміки, також пакет забезпечений зв'язком з базами даних і XML.

Інструмент моделювання Rockwell Arena - має нові потужні можливості, пов'язані з інтеграцією даних, візуалізацією і мультиплікацією процесів

моделювання, переглядом його в режимі реального часу. Також в рамках даного інструменту забезпечено використання вже розроблених моделей без програмного забезпечення середовища розробки.

Програма AutoMod - базується на пакетному підході з використанням AutoStat для планування експериментів з оптимізацією, заснованої на алгоритмах еволюційних стратегій. У складних випадках доступний імпорт заздалегідь створених прототипів в нові моделі. Можливо інтерактивне багатократне аналітичне моделювання з обробкою даних різних підмоделей головною моделі.

Засіб EM-Plant - інформаційна система управління експериментом з підтримкою пакетного режиму роботи на основі нейронних мереж і генетичних алгоритмів. Її особливістю є легкість налаштування інтерфейсу, наявність менеджера експериментів, 3D анімація, інтеграція з програмами Tescomatixе MPower, XML, AutoCad, SDK interfaces.

Програма Witness - має спеціальний модуль Witness Optimizer і розширену 3D анімацію.

Програмний модуль Quest - наголошується потужної 3D анімацією, інтеграцією з CAD засобами, «спіральною» принципом побудови моделей.

Середа GPSS - дає можливість постановки експериментів з багаторазовим відтворенням випадкових ситуацій, що кореспондують можливим випадкам впливу зовнішніх факторів на досліджувану систему, що знаходиться в різних станах. Також дана середовище підтримує взаємодію з Fortran.

Пакет імітаційного моделювання Extend - забезпечує автоматичне виконання різних сценаріїв, які підтримує ця система з використанням еволюційного оптимізатора з відкритим кодом.

На думку автора, для моделювання СМО в інформаційних системах саме імітаційне моделювання є найбільш оптимальним і ефективним елементом. Найбільшу складність при використанні цього моделювання викликає коректний вибір мови та пакета моделювання.

В даний час зусилля розробників програмних засобів імітації спрямовані, з одного боку, на створення спеціалізованих мов і систем, призначених для спрощення процесу створення моделей. З іншого боку, в літературі досить часто

відзначається той факт, що вживання універсальних мов програмування дозволяє досліднику досягти більшої гнучкості при розробці, налагодженні і випробуванні моделі, ніж при використанні спеціалізованих мов і середовищ.

Необхідно також відзначити, що використання спеціалізованих мов моделювання не дозволяє інтегрувати імітаційну модель в реальну інформаційну систему. А це ще раз говорить на користь використання класичних мов програмування і індивідуального підходу при моделюванні. Тому питання розробки імітаційних моделей з використанням прогностичних методів залишається досі відкритим, що ставить перед автором завдання прогнозування стану питання визначення митної системи, з чіткими характеристиками і параметрами її роботи «порядком формування черги запитів, виконання команд, реагування на певні події».

1.3 Висновки до розділу

Проведено огляд і порівняльна характеристика бездротових технологій. Позначені їхні переваги і недоліки, також виділені сфери діяльності, в яких вони найбільш ефективні.

Досліджено основні принципи побудови та відмінні риси функціонування мереж IEEE802.11, що дозволило обґрунтувати доцільність побудова нових математичних моделей бездротових мереж і їх каналів, які повинні максимально враховувати умови середовища передачі.

Проведено аналіз особливостей моделювання СМО, зіставлені різні методи і інструменти моделювання, обґрунтовано доцільність використання імітаційного моделювання.

2. КОНЦЕПТУАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

В даний час існує величезна кількість видів бездротових мереж, що міцно займають своє місце в індустрії телекомунікацій. Безліч стандартів і широка номенклатура використовуваного обладнання, різноманітність областей і умов застосування, особливі вимоги, що пред'являються поруч замовників, дають підставу віднести проектування бездротових мереж до класу складних багатокритеріальних задач. Однак, на практиці виконується розрахунок зони Френеля, розрахунок загальної потужності і кількості точок доступу, що забезпечують необхідну надійність і продуктивність мережі, і підбір обладнання в рамках виділених коштів. У той же час такі важливі питання як розміщення точок доступу усередині приміщень, оцінка впливу елементів конструкції будівлі на поширення сигналу, вибір топологічних пропускну здатності мережі та ряд інших вирішуються евристичний, тобто поза розрахункових схем.

Для якісного порівняння технічних характеристик і експлуатаційних можливостей бездротових мереж з успіхом застосовуються діаграми Ківіата, які є різновидом пелюсткових діаграм. Вони дозволяють візуалізувати і порівняти кілька техніко-економічних показників бездротових мереж, що експлуатуються в різних умовах. Кількість і склад порівнюваних показників може бути різним, але, як правило, варіюється від 4 до 12.

На рисунках 2.1-2.4 приведені діаграми Ківіата для порівняння шести показників чотирьох типів бездротових мереж, взяті з Інтернет - джерела.

З рисунків 2.1-2.4 видно, наскільки різними можуть виявитися техніко-економічні характеристики бездротових мереж в залежності від кола вирішуваних завдань і умов функціонування, наскільки істотно різними будуть витрати на їх створення.

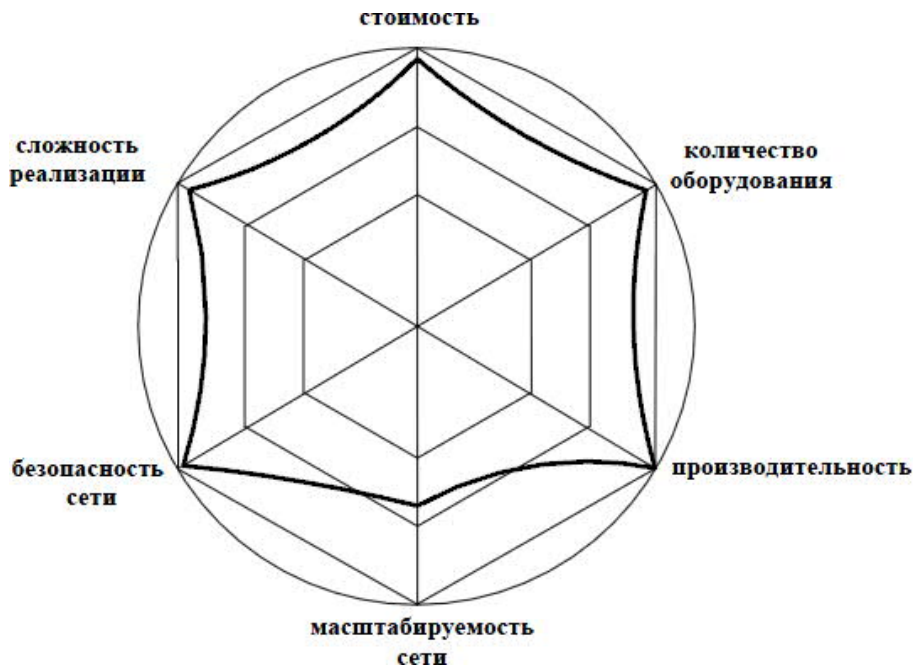


Рисунок 2.1 -Державна установа банк.

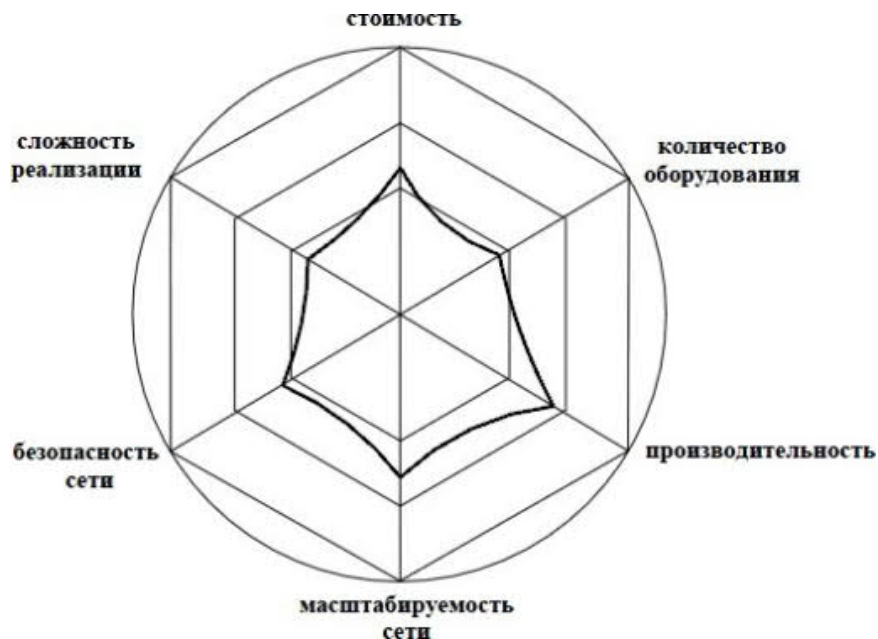


Рисунок 2.2 - Мережа відеоспостереження

Висловлені міркування і розглянуті приклади дозволяють констатувати помітне відставання науково-обґрунтованої методології проектування від потреб практики і необхідність побудови математичних моделей, які могли б стати основою розрахункових алгоритмів розв'язання задач оптимального проектування бездротових мереж. Окремі аспекти цієї вельми актуальної та наукомісткої проблеми розглядаються в цьому розділі.

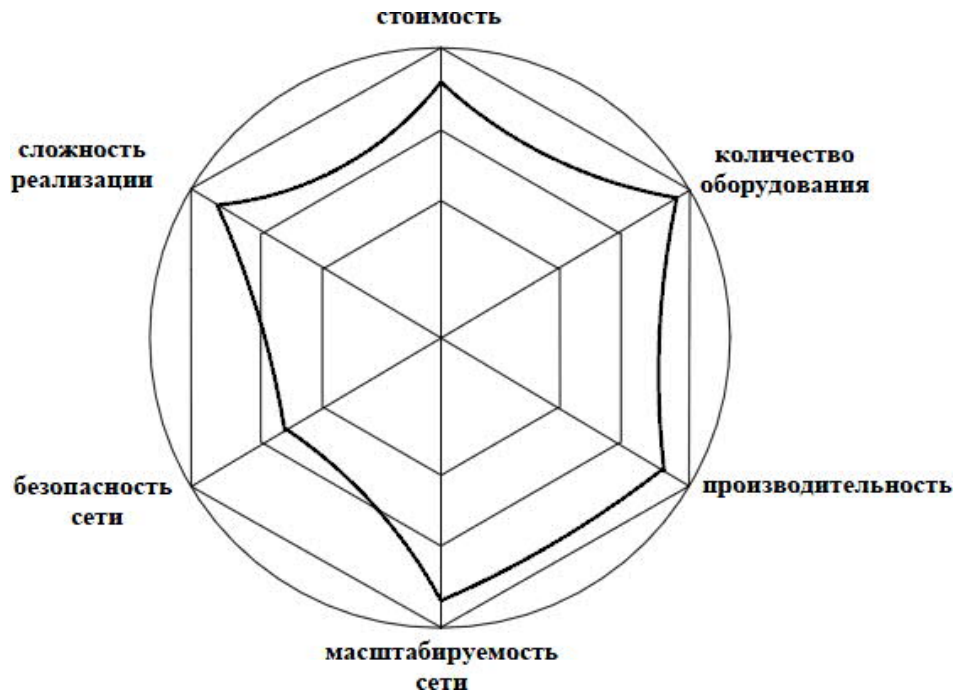


Рисунок 2.3 - Лікарня. Поліклініка.

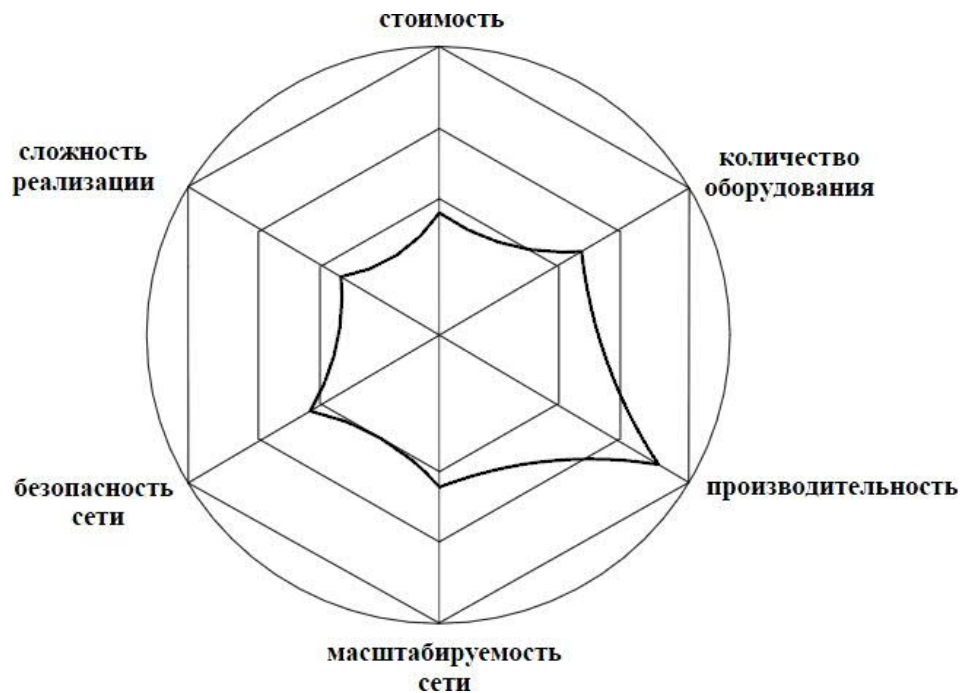


Рисунок 2.4 - Бездротовий міст.

2.1 Модель управління трафіком в бездротових мережах

На стадії опрацювання проектних рішень, замовниками насамперед порушуються питання, що стосуються можливих обсягів і швидкості передачі

інформації. Можна не сумніватися висока ефективність методів математичного моделювання у вирішенні подібних завдань. На жаль, існуючі засоби моделювання бездротових мереж дозволяють врахувати лише окремі параметри трафіку і не в змозі відповісти на питання, пов'язані з його ефективним управлінням і розподілом. Це зумовлює виникнення потреби в нових моделях управління і розподілу трафіку в бездротових мережах, які здатні будуть забезпечити високу якість обслуговування з урахуванням різних вимог, що пред'являються додатками до мережі, що визначає актуальність і практичну значимість даного завдання.

На сьогоднішній день велика кількість відомих вчених, наприклад Клейнрок, D. Grosfsman, Беркман Л.Н., З. Ванг, дослідницькі центри Mobdile Ad-hoc Netwodrks, Center for Embedded Networked Sensing займаються питаннями управління і розподілу трафіку. Однак, незважаючи на велику кількість публікацій і зусилля фірм-виробників, завдання побудови моделей трафіку, найкращим чином відображають його функціонування в реальних умовах, поки не вирішена.

Якість управління і розподілу трафіку в спеціалізованій і технічній літературі характеризується таким поняттям, як якість обслуговування (Quality of Service, QoS), яке представляє собою спроможність комп'ютерної мережі забезпечити необхідний рівень сервісу заданому трафіку в певних технологічних рамках.

Необхідний сервіс характеризується багатьма параметрами, основними з яких прийнято вважати такі:

- .смуга пропускання (bandwidth);
- .пріоритет (priority);
- .затримка передачі даних (delay);
- .варіація затримки - джиттер (jitter);
- .втрати пакетів при передачі мережевих даних (packet losses).

Для визначення який саме інструментарій найбільш підходить і для моделювання управління і розподілом трафіку в бездротових комп'ютерних мережах, розглянемо типові проблеми, що виникають при передачі інформації в періоди найбільшого завантаження мережі.

Якщо причиною перевантаження є недостатня продуктивність процесорного блоку мережевого пристрою бездротової мережі, то необроблені фрагменти

тимчасово накопичуються у вхідній черзі відповідного вхідного інтерфейсу. Зауважимо, що черг до вхідного інтерфейсу може бути кілька, якщо запити на обслуговування диференціюються по декількох класах. У тому ж випадку, коли причина перевантаження полягає в обмежену пропускну здатність вихідного інтерфейсу, інформація тимчасово зберігається в виходить черзі (або чергах) цього інтерфейсу.

Крім того, в залежності від поточної топології мережі, центральні вузли, що формують кластери, не завжди несуть однакове навантаження (кількість приєднаних до центрального вузла мобільних вузлів, середня відстань до вузлів кластера, середня продуктивність кластера і ін.). Це призводить до того, що шлюзові вузли, в якості яких виступають центральні вузли, які використовуються для зв'язку між кластерами, маючи однакові ресурси, завантажуються нерівномірно, що тягне затримку передачі інформації. Точно так же, якщо один з шлюзових вузлів включений як транзитний і перевантажується значніше в порівнянні з сусідніми, то при інтенсивному трафіку це призводить до зниження ефективності міжкластерного обміну.

Зазначені проблеми і причини їх виникнення дають підстави розглядати бездротову передачу даних як процес, де є черга і обробляє пристрій. Відповідно для моделювання управління і розподілу трафіку в бездротових комп'ютерних мережах, доцільно використовувати алгоритми управління чергами та методи реконфігурації кластерів.

Отже, приступимо до моделювання трафіку бездротової передачі даних в комп'ютерних мережах із застосуванням алгоритму керування чергами - параметричної ідентифікації, який дозволяє Ідентифіковані параметри математичної моделі бездротової комп'ютерної мережі, використовуючи тільки значення вікна передачі даних. Це допоможе уникнути перевантажень мережеских буферів, зменшить ймовірність втрат пакетів, збільшить ефективність розподілу каналу зв'язку, забезпечуючи гарантований рівень якості обслуговування.

Наведемо приклад нелінійного диференціального рівняння 1-го порядку, що описує швидкість передачі даних в бездротовій комп'ютерній мережі, для управління довжиною буферної черзі:

$$y'(t) + \alpha p(t)y^2(t) = \beta R^{-1}(1 - p(t)) \quad (2.1)$$

де, $y(t)$ - швидкість передачі даних (пакети / с); p

(t) - функція ймовірності втрати пакетів;

R - затримка (с.);

α - параметр мультиплікативного зменшення розміру вікна передачі даних при втраті пакету;

β - параметр адитивного збільшення розміру вікна при відсутності втрати пакетів.

В роботі, звідки було запозичене це рівняння, функцію втрат пакетів $p(t)$ запропоновано вважати періодичною і змінюється за синусоїдальним законом.

Рівняння (2.1) є типовим представником сімейства рівнянь Риккати, відшукати рішення яких в квадратурі, як правило, неможливо. З цієї причини становить інтерес оцінити вид рішення і з'ясувати його властивості.

Відомо, що загальне рівняння Риккати тісно пов'язане з лінійними диференціальними рівняннями другого порядку. Зокрема, якщо коефіцієнт при квадратному члені є безперервною диференційованою функцією, то кожне рішення $y(t)$ рівняння Риккати перекладається перетворенням

$$u = \exp\left(\alpha \int p(t) y dt\right) \quad (2.2)$$

в відмінне від нуля рішення лінійного диференціального рівняння

$$\alpha p(t)u'' + \alpha p'(t)u' + \frac{\alpha^2 \beta}{R} R^2(t)(1 - p(t))u' = 0 \quad (2.3)$$

Відповідно до загальної теорії лінійних диференціальних рівнянь, вид рішення рівняння другого порядку визначається типом коренів його

характеристичного полінома. Якщо ці корені є комплексними сполученими числами, то загальне рішення рівняння виходить у вигляді сімейства гармонійних функцій

$$u = e^{at}(c_1 \cos b t + c_2 \sin b t) \quad (2.4)$$

де a -коефіцієнт при дійсній частині коренів, b -модуль коефіцієнтів при уявній частині.

Умовою існування такого рішення для рівняння (2.3) буде виконання нерівності

$$(p'(t))^2 - \frac{\alpha \beta}{R} p^3(t)(1 - p(t))^2 < 0 \quad (2.5)$$

Так як коефіцієнт рівняння (2.3) також є гармонійними функціями, створюються реальні передумови для виникнення параметричного резонансу, що може стати причиною значних коливань трафіку. Це загрожує серйозними порушеннями нормального режиму функціонування бездротової мережі і зажадати екстреного втручання адміністратора.

Дослідження поведінки технічних пристроїв, що допускають можливість параметричного резонансу вельми складно і трудомістким, хоча і представляє безперечний інтерес, проте виходить далеко за рамки цієї роботи. Відзначимо тільки, що рішення рівняння (2.3) надзвичайно чутливо до зміни параметрів α і β . Інакше кажучи, навіть вкрай незначні флуктуації цих параметрів можуть перевести стійко працюючу систему в режим параметричного резонансу і зовсім дестабілізувати її роботу. Тому для вирішення питання успішної експлуатації подібних систем необхідно точно встановити межі областей резонансних режимів, що досягається за допомогою побудови так званих діаграм Айнса-Стретта (Див, наприклад,). Це проводиться шляхом обробки результатів тривалих натурних експериментів, або за допомогою спеціально створених імітаційних моделей.

Рівняння (2.1) навряд чи можна вважати інструментом, придатним для ефективного управління трафіком в бездротових мережах, однак воно цілком може бути використано для опису поведінки мережі при змінюються зовнішніх умовах. Тут це рівняння застосовано для оцінки впливу змін частоти функції ймовірності втрат пакетів на стан трафіку.

З цією метою для рівняння (2.1) була сформульована задача Коші при природних початкових умов $y(t_0)=0$, $t_0=0$. Чисельне рішення задачі було отримано за допомогою спеціально написаної програми, що реалізує метод Рунге-Кутта. Графіки відповідних інтегральних кривих представлені на рисунках 2.5 а, 2.5 б, 2.5 в, 2.5 м

Їх вигляд добре ілюструє характер змін, що відбуваються в міру зростання частоти. На частоті 2 Гц (Див. рисунок 2.5, а) є високий пік, який свідчить про безпосередній близькості області параметричного резонансу. При збільшенні частоти до 5 Гц (рисунок. 2.5, б) пік пропадає, що можна пояснити видаленням від резонансної області, хоча амплітуда регулярних коливань продовжує залишатися досить високою. При подальшому збільшенні частоти (рисунок 2.5, в, г) амплітуда коливань, що не втрачаючи регулярності, продовжує знижуватися і вже на частоті 9 Гц досягає значень, що не роблять істотний вплив на стан трафіку.

У разі змін параметрів «вікна», або часу затримки R від інтегральних кривих може виявитися зовсім іншим.

При проектуванні бездротової мережі може бути передбачено використання декількох алгоритмів управління чергами, наприклад, алгоритм FIFO, алгоритми пріоритетного обслуговування, алгоритм зважених черг. Тут пропонується наступна послідовність дій:

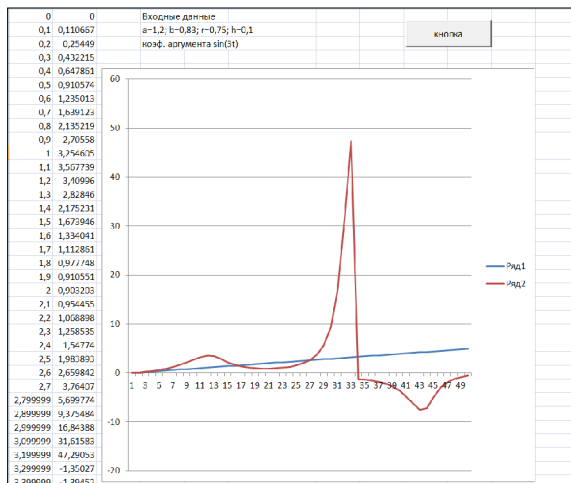


Рисунок 2.5 а - Графік інтегральної кривої

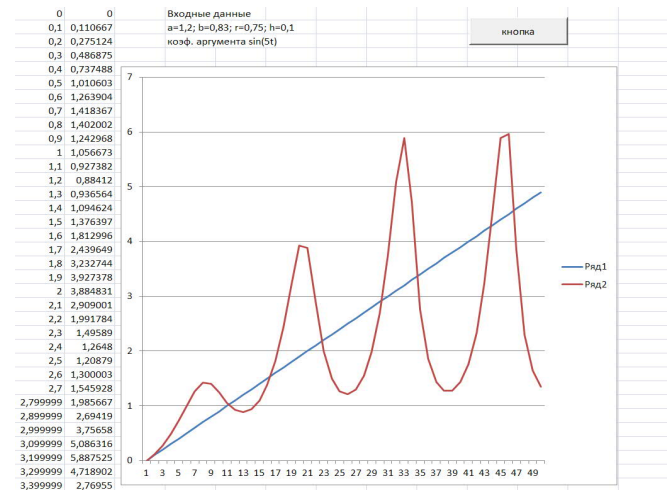


Рисунок 2.5 б - Графік інтегральної кривої

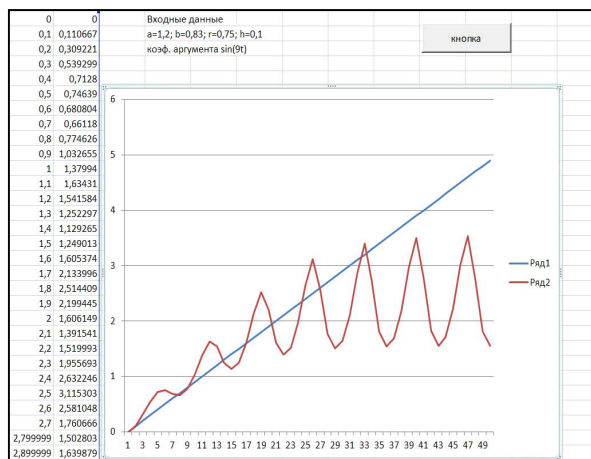


Рисунок 2.5 в - Графік інтегральної кривої

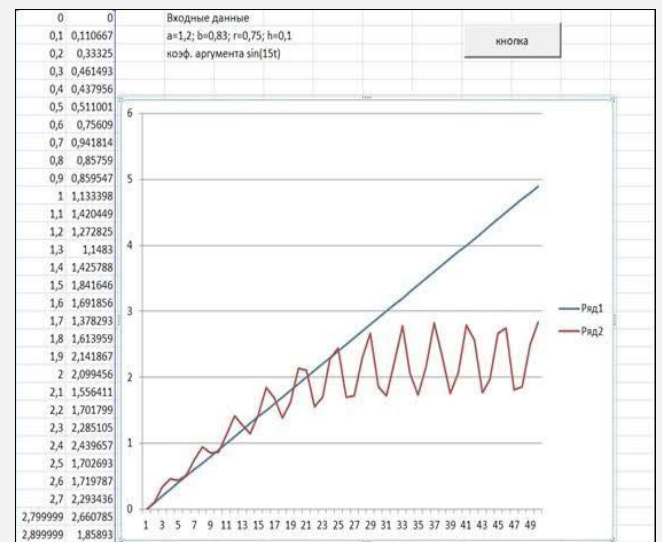


Рисунок 2.5 г - Графік інтегральної кривої

1.)Розрахунок періоду генерації

$$\tau = \frac{1}{f} \quad (2.6)$$

де, τ - період генерації;

f - частота роботи мережі.

2.)Визначення швидкості роботи в мережі.

$$b = \frac{1}{m} \quad (2.7)$$

де, b - середній час обслуговування;

m - швидкість передачі даних.

3.)Пропускна здатність каналів.

$$C = \sum_{k=1}^k \frac{1}{t} \quad (2.8)$$

де C - пропускна здатність;

t - час затримки;

k - кількість каналів.

Проведення порівняльного аналізу, відповідно до запропонованого алгоритму, дозволить здійснити обґрунтований вибір обладнання, необхідного для побудови бездротової мережі, що дозволить мінімізувати затримку передачі інформації, а також ефективно управляти і розподіляти трафік, а також оцінити який з варіантів управління чергою найкраще підходить до складної ситуації.

Перейдемо до розгляду особливостей моделювання трафіку з використанням реконфігурації кластерів.

В процесі моделювання трафіку бездротової мережі, зокрема комп'ютерної мережі державного підприємства, освітнього закладу, лікарні та ін., Доцільно передбачити можливість реконфігурації кластерів, що дозволить зменшити час на передачу інформації і оптимізувати мережевий трафік. Тому, для критерію вибору

$$E = \frac{W_k}{W_k + W_s} \quad (2.9)$$

де W_k - кількість переданих корисних даних;

W_s - кількість службової інформації.

Очевидно, що при фіксованому обсязі корисної інформації, коефіцієнт ефективності буде монотонно зменшуватися з ростом службового трафіку. Таким чином, ключовим параметром підвищення ефективності роботи мережі є величина службового трафіку, яка повинна бути зведена до мінімуму. Визначимо фактори, що впливають на обсяг службового трафіка в бездротовій комп'ютерній мережі.

Обсяг службового трафіку уявімо, як функцію $V_s = f(F_r, V_0)$ від частоти реконфігурації мережі F_r і кількості вузлів nV_i в кластері V_0 .

Зі збільшенням числа конфігурацій в мережі обсяг службового трафіка збільшується по нелінійному закону, що тягне за собою значне зниження ефективності передачі даних. При певних умовах це може стати причиною нестійкої роботи мережі.

Тому, для зменшення службового трафіку в мережі частота реконфігурацій на заданому проміжку часу ΔT і кількість кластерів мережі повинні бути зведені до мінімуму.

$$F_r \rightarrow \min, V_0 \rightarrow \min$$

Оптимальний розмір мережі можна охарактеризувати за допомогою коефіцієнта k

$$k = \frac{F_r * V_0}{\Delta T}, \quad k \rightarrow \min$$

У той же час незалежно від того, який саме математичний інструментарій буде обраний для управління і розподілу трафіку в бездротових комп'ютерних мережах необхідно проводити верифікацію отриманої моделі. Для цього достатньо порівняти величину модельного трафіку зі значеннями, обраними в якості еталону. Відповідним інструментом для вирішення подібних завдань може служити показник конкордації $p(t_k)$ модельних і еталонних значень трафіку на заданому часовому інтервалі

$$p(t_k) = \frac{2 * m(t_k) * M(t_k)}{m(t_k)^2 + M(t_k)^2} \quad (2.10)$$

де, t_k - k -ий момент часу контролю трафіку;

$m(t_k)$ - математичне очікування еталонного трафіку;

$M(t_k)$ - математичне очікування модельного трафіку.

Для дискретного випадку введемо середнє значення критерію конкордації модельного і еталонного трафіку:

$$p_0(Z_1, Z_n) = \sum_{t_k=0}^1 \frac{2 * m(t_k) * M(t_k)}{m(t_k)^2 + M(t_k)^2} \quad (2.11)$$

де Z_1, Z_n - оптимальні квантовані значення моделі трафіку розмірності n .

Для безперервного випадку введемо інтегральний критерій конкордації моделі еталона нестационарного трафіку:

$$p_0(Z_1, Z_n) = \int_0^1 \frac{2 * m(t_k) * M(t_k)}{m(t_k)^2 + M(t_k)^2} dt_k$$

Величина коефіцієнта конкордації варіюється в межах від 0 до 1.

Дослідження і спостереження за роботою комп'ютерних мереж виконані автором, що їх стан можна визнати задовільним, якщо значення коефіцієнта конкордації більше або дорівнює 0,9. Таким чином, підбиваючи підсумки можна зробити наступні висновки з даного розділу.

З метою вибору найбільш оптимального і результативного математичного апарату моделювання розподілу і управління трафіком в бездротових комп'ютерних мережах проаналізовані проблеми, що викликають затримку передачі інформації. На підставі отриманих результатів обґрунтовано необхідність і доцільність використання алгоритмів управління чергами та методів

реконфігурації кластерів. Обґрунтовано можливість використання коефіцієнта конкордації для порівняння величини модельного трафіку з еталонним значенням.

2.2 Особливості використання бездротових мереж в освітніх установах

Впровадження дистанційних технологій навчання в освітній процес передбачає створення нових видів освітнього контенту, що доповнює або замінює традиційні навчальні матеріали, і організацію нових способів доставки цього контенту споживачам освітніх послуг. Поширення локальних і глобальних обчислювальних мереж забезпечує широку доступність і зручність користування електронними освітніми ресурсами. Це новий етап на шляху широкого розповсюдження дистанційних освітніх технологій з застосуванням обчислювальних мереж. В даний час все більшу кількість закладів освіти різного рівня активно впроваджує в процесі освоєння освітніх програм інформаційні ресурси, розміщені як в локальній мережі самої установи, так і в Інтернеті. Це пов'язано з тим, що, хоча кожна організація,

Все це призводить до того, що освітні установи прагнуть не тільки надати учням доступ до електронних ресурсів в робочий час із спеціально обладнаних класів і бібліотек, а й зробити це можливим в будь-який час за допомогою бездротового доступу (часто званого мережею Wi-Fi) до своєї локальної мережі, а через неї і до Інтернету.

В даний час широка номенклатура обладнання, призначеного для організації мереж Wi-Fi, яке рекламується так, що нерідко складається враження про достатність для реалізації такої мережі тільки придбання обладнання, його правильного з'єднання і виконання програмних установок, наведених у доданих інструкціях. Однак для організації безпечної та високоефективної роботи таких мереж слід при їх проектуванні враховувати певні особливості, властиві як апаратурі, так і простору, в якому розгортається мережа, тому обов'язковими

умовами успішної роботи мережі в ході її подальшої експлуатації, є докладний технічний аналіз і розрахунок мережі, враховує зазначені особливості.

У найпростішому випадку для обміну даними в мережі Wi-Fi необхідні два пристрої, що утворюють разом із середовищем поширення канал зв'язку між комутованих пристроєм і локальною мережею. Одним з них є, як правило, мобільний пристрій (наприклад, ноутбук, планшетний комп'ютер, смартфон і т.д.), в сучасних моделях якого передбачена функція формування радіоканалу мережі Wi-Fi. Другим - звичайне стаціонарне програмно-апаратний пристрій (базова станція), до складу якого входить приймач, який бере участь в обміні радіосигналами з мобільним пристроєм, підключеним до цієї бездротової мережі, а також пристрої обробки обмінюються даними і підключення до локальної мережі. Базова станція (часто звана бездротовою точкою доступу) встановлюється в приміщенні установи освіти, однією з істотних особливостей роботи такої апаратури є випромінювання електромагнітних коливань надвисокочастотного (НВЧ) діапазону і базовою станцією, і комутованих пристроєм. Величина такого випромінювання визначається середовищем поширення сигналу між цією апаратурою і може досягати значень, що перевищують встановлені гігієнічними вимогами до рівня електромагнітних полів.

В даний час найбільш часто в мережах Wi-Fi обмін даними відбувається за допомогою радіосигналів, частота яких знаходиться в діапазоні 2,4 ГГц. Рівні електромагнітного випромінювання цього радіочастотного діапазону регламентовані санітарно епідеміологічними правилами і нормативами. Перший з них встановлює, що допустимий рівень електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону 300 МГц-300 ГГц в житлових приміщеннях складає 10 мкВт / см²; другий регламентує рівень електромагнітних полів в діапазоні частот 300 МГц ... 2400 МГц, що створюються антенами базових станцій на території житлової забудови, всередині житлових, громадських і виробничих приміщень, який теж не повинен перевищувати 10 мкВт / см². Відповідно до правовстановлюючими документами, санітарно-епідеміологічні вимоги до житлових будівель та приміщень поширюються на установи освіти, культури,

спорту і т.д., тому зазначена норма обов'язкова до застосування і при проектуванні мережі Wi-Fi в установах освіти.

Наявне в даний час обладнання для реалізації таких мереж, як правило, універсально і призначене не тільки для об'єднання декількох недалеко розташованих пристроїв в загальний сегмент мережі, але і для підключення комутованого пристрою до віддаленої мережі, базова станція якої розташована на відстані декількох кілометрів. Таке обладнання забезпечує значну вихідну потужність передавача (до 1 ... 2 Вт), комплектується антенами з підвищеними значеннями коефіцієнта посилення, а значить, організована з його допомогою в приміщенні освітнього закладу мережу Wi-Fi може формувати в антені базової станції рівень електромагнітних полів, що значно перевищує регламентований.

Поширення електромагнітних коливань розглянутого діапазону має свої особливості: перешкоди, що виникають при їх проходженні, залежать від матеріалу і товщини стін будівель, наявності в них арматури, присутності в приміщенні різних металевих поверхонь і конструкцій, які добре відображають хвилі НВЧ-діапазону. Тому при виборі місця установки базової станції необхідно враховувати особливості конструкції будівлі. Зокрема, сигнал від точки доступу, встановленої в будь-якої аудиторії, в сусідніх аудиторіях може бути істотно ослабленим, що звужує радіус дії мережі Wi-Fi. У той же час облік поширення відбитого сигналу, наприклад, від стін коридору, може розширити зону дії мережі. Тому при опрацюванні проектних рішень потрібен ретельний аналіз конкретних умов розміщення мережі.

Іншою причиною зменшення величини сигналу, що приймається від базової станції, може виявитися збільшення рівня випромінювання мобільного пристрою, що працює в цьому місці з базовою станцією мережі і прагне підтримати стійку безпомилкову передачу даних.

Така зміна величини випромінювання характерно для сучасних комунікаційних мобільних пристроїв і багато в чому залежить від їх конкретних моделей. У них в разі зменшення рівня сигналу величина випромінювання мобільного пристрою може зростати і при певних умовах перевищити значення регламентованого допустимого рівня електромагнітного випромінювання.

Для експериментальної оцінки реальних значень рівнів випромінювання апаратури, призначеної для використання в мережі Wi-Fi, були виміряні їх величини для двох зразків устаткування, яке застосовується в якості базових станцій, і трьох зразків мобільних пристроїв. Вимірювання виконувалися за допомогою селективного вимірювача випромінювання SRM-3006 і узгодженої антени, що входить в комплект вимірника, в режимі безперервного обміну між пристроями інформаційними пакетами, сформованими програмою Ping. В процесі проведення вимірювань, для зменшення рівня, прийнятого сигналу, здійснювалося екранування пристрою, не перериває обмін інформаційними пакетами.

Величини вимірюваних потоків потужності склали: для бездротового маршрутизатора TL-WR542G, що працює зі штатною антеною з коефіцієнтом посилення 5 дБ - 396,6 мкВт / см²; бездротового маршрутизатора ASUS Wireless Router WL-520g - 223 мкВт / см²; планшетного комп'ютера Samsung GT-P7500 - 196 мкВт / см²; смартфона ZTE V970 - 91 мкВт / см²; смартфона Samsung GT-I7500 - 287 мкВт / см². Таким чином, можна вважати доведеним, що спостерігаються показання рівнів випромінювання апаратури можуть значно перевищувати граничні значення, встановлені санітарними нормами .

Інтенсивність випромінювання своїх мобільних пристроїв кожен з користувачів може побічно контролювати самостійно по індикатору рівня сигналу, вибираючи місце входження в мережу таким, в якому прийом буде найкращим, а значить, випромінювання - найменшим.

У той же час місце розташування базової станції при організації мережі Wi-Fi в закритих приміщеннях (навчальних аудиторіях, холах) закладів освіти не може бути вибрано довільно. Це відноситься не тільки до приміщення, в якому буде встановлена базова станція, а й до місця установки її в цьому приміщенні. Наприклад, по-видимому, доцільно застосовувати настінне й стельове кріплення антен, або пристроїв з вбудованими антенами; що не надто їх в безпосередній близькості від робочих місць; застосовувати апаратуру з регульованою величиною вихідної потужності, а також не розмішувати апаратуру поруч з обладнанням, відбиття від якого може направити потік випромінювання на користувача.

Незважаючи на очевидну доцільність застосування результатів математичного моделювання на стадії проектування бездротових мереж, практична реалізація цієї ідеї обмежується, як було зазначено вище, відсутністю реалістичних моделей, доведених до конкретних розрахункових схем. Це підштовхує до пошуку шляхів об'єктивізації евристичних і інтуїтивних рішень, прийнятих в процесі проектування.

Одним з можливих варіантів досягнення сформульованої мети є метод експертних оцінок. Він з успіхом застосовується при вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації, коли кількісна оцінка одного або декількох критеріїв скрутна, або взагалі не існує. Цей метод також часто використовується при відсутності загальновизнаного математичного опису, коли наявна рамкова концепція допускає різні тлумачення, істотно не збігаються один з одним в деталях.

У підставі методу експертних оцінок покладена гіпотеза про те, що сукупний досвід, накопичений в певній галузі практикуючими професіоналами, отримані методом проб і помилок позитивні результати, емпірично знайдені прийоми роботи, не будучи тотожними точного знання, в ряді випадків можуть його замінити. У певних умовах інтуїтивні здогадки і виявлення в процесі вирішення прикладних завдань стійкі зв'язки можуть стати ядром нової теорії, дати поштовх до створення науково обґрунтованих уявлень моделей і алгоритмів.

Для проведення даного дослідження в якості експертів були запрошені вісім фахівців, що мають значний (не менше трьох років) досвід роботи в області проектування, впровадження та експлуатації бездротових мереж, в тому числі в установах освіти (рисунок 2.6). Кожному з них пропонувалося незалежно один від одного оцінити за десятибальною шкалою техніко-економічні та експлуатаційні характеристики бездротової комп'ютерної мережі, що проектується для установи вищої професійної освіти. До оцінювання були відібрані шість показників, які є координатами діаграм Ківіата, представлених на Рис.2.1- 2.4, а саме: вартість, кількість обладнання, продуктивність, масштабованість мережі, безпеку мережі, складність реалізації.

Результати роботи експертів і значення усереднених оцінок представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Зведена карта експертних оцінок.

Характеристики мережі	Е К С П Е Р Т И								Середнє значення
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Вартість	8	8	7	8	8	7	9	8	7,875
Кількість обладнання	9	9	10	9	9	9	10	9	9,25
Продуктивність	7	8	8	8	7	9	8	8	7,875
Масштабованість мережі	9	9	8	9	8	9	9	9	8,75
Безпека мережі	6	6	5	7	6	5	5	7	5,75
Складність реалізації	10	9	10	10	9	10	10	9	9,625

Перед тим, як почати процедуру статистичної обробки даних експертизи був організований круглий стіл, де фахівці ознайомилися з оціночними відомостями один одного. В ході виниклої при цьому дискусії, їм була надана можливість мотивувати виставлені оцінки та поділитися своїми міркуваннями про проблему в цілому.

Нижче представлено коротке резюме обговорення в частині, що стосується тільки оцінюваних показників.

1) Вартість. Середній бал 7,875 оскільки «Кількість обладнання» увійшло до складу анкети як окремий показник, вартість оцінювалася за існуючими цінами на основне і допоміжне обладнання і особливим вимоги замовника до організації мережі. На думку експертів, для створення бездротової комп'ютерної мережі у вищому навчальному закладі досить стандартного устаткування, яке задовольняє вимогам санітарно-гігієнічних норм. Тимчасовий вихід з ладу однієї точки доступу не призведе до безповоротної втрати важливої інформації або зриву навчального процесу, тому додаткові витрати на вирішення проблем резервування не передбачені. Чи не є також ніяких спеціальних вимог до безпеки мережі, що могло б стати причиною істотного подорожчання проекту. Таким чином, вартість створення мережі буде хоча і вище середньої, але не надзвичайно високою.

2) Кількість обладнання. Середній бал 9,25. Цей параметр залежить, звичайно, від площ, якими володіє навчальний заклад і кількості учнів. Однак, якщо пріоритетним є високий ступінь комфорту користувачів і високу порогове значення сигналу, то кількість обладнання, що забезпечує роботу мережі, повинно бути великим. Спроба заощадити на цьому може обернутися неприпустимими порушеннями трафіку, і привести до систематичних збоїв навчального процесу.

3) Продуктивність. Середній бал 7.875. Більшість експертів дотримуються думки, що висока продуктивність мережі, що експлуатується в умовах освітнього закладу, не обов'язкова. Ними справедливо відзначається, що для збільшення продуктивності обов'язково потрібно установка додаткового обладнання. А це, в свою чергу спричинить подорожчання проекту. Справедливість такого погляду підтверджується однаковими значеннями середніх балів для вартості і продуктивності.

4) Масштабованість мережі. Середній бал 8,75. Більшість фахівців, особливо з числа тих, чия професійна діяльність пов'язана з експлуатацією бездротових мереж, вважають масштабованість дуже важливим фактором, що набирає особливої значущості в аспекті перспективного планування і розвитку мережі. Дійсно: бурхливий розвиток інформаційних технологій, активне проникнення їх організацію навчального процесу, поява нових електронних посібників, зростаючий інтерес до дистанційної форми освіти, - все це передбачає розширення мережі та така можливість обов'язково повинна бути передбачена на стадії проектного рішення.

5) Безпека мережі. Середній бал 5,75. В оцінці цього показника думку експертів виявилось абсолютно однотайним. Ніяких спеціальних заходів безпеки, пов'язаних з умовами зберігання і передачі інформації, для бездротових комп'ютерних мереж, які обслуговують навчальний процес у вищих навчальних закладах, не потрібно.

6) Складність реалізації. Середній бал 9,625. У цьому питанні однотайність членів експертної групи знову було майже повним. Необхідність врахування конструктивних особливостей будівлі, ослаблення сигналу елементами арматури, матеріалом стін і перекриттів, обов'язковість виконання санітарно-гігієнічних

вимог щодо розміщення точок доступу усередині приміщень робить реалізацію проектних рішень дуже складною. Експерти також відзначили ряд особливих складнощів, які виникають в будівлях, які є об'єктами історичної та культурної спадщини, побудованих в дев'ятнадцятому і початку двадцятого століття. У Казані, де проводилося дане дослідження, в таких будівлях розташовані головний корпус Казанського Федерального Університету, Аграрного Університету, деякі навчальні корпуси Казанського Технологічного Університету і ряд інших.

За даними таблиці 2.1 побудована діаграма Ківіата для бездротової мережі, вищого навчального закладу в тих же координатах, що і діаграми на рисунок 2.1 - 2.4.

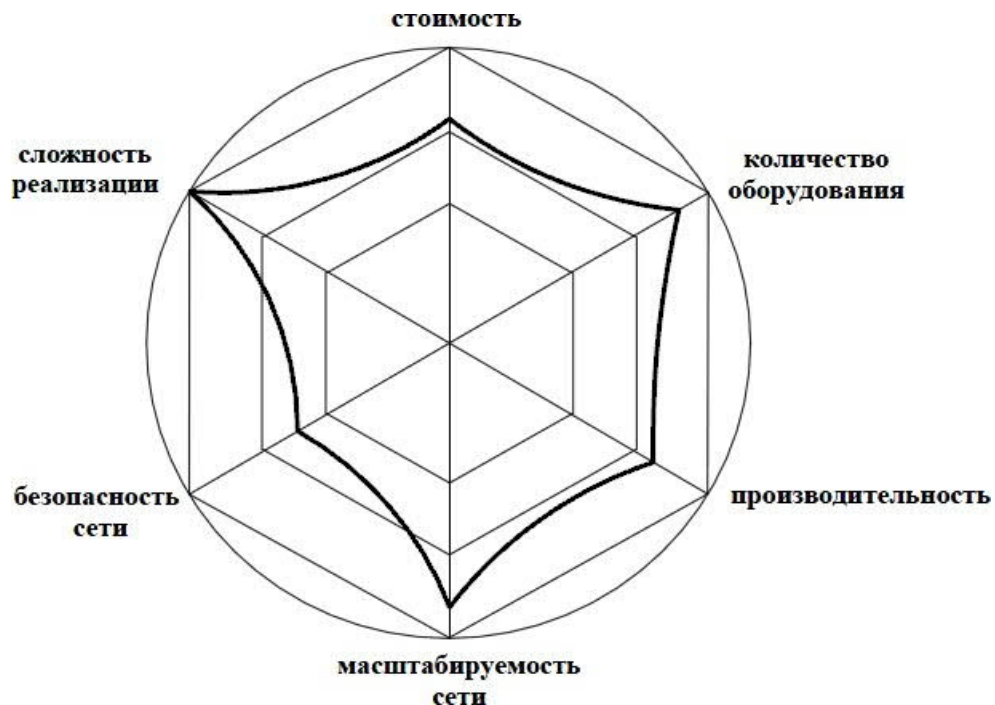


Рисунок 2.6 - Діаграма Ківіата бездротової мережі установи вищої професійної освіти.

Результати роботи експертної групи, отримані в ході анкетування, повинні пройти обов'язкову перевірку на узгодженість. Якщо думки експертів виявляться неузгодженими, тобто істотно різними всередині групи, результати визнаються непридатними для винесення змістовних суджень про предмет експертизи, а сама експертиза не відбулася. Подібна ситуація може виникнути або через значних відмінностей в рівні кваліфікації запрошених експертів, або внаслідок відсутності загальновизнаних критеріїв оцінки обговорюваної проблеми в співтоваристві

фахівців. У першому випадку утруднення легко долається шляхом формування нової групи експертів, а в другому визнається, що проблема дозріла тільки для дискусії, але не для експертизи.

Загальноприйнятим методом перевірки узгодженості думок є метод, заснований на обчисленні коефіцієнта множинної рангової кореляції Кендалла-Сміта і перевірки його статистичної значущості.

Для проведення процедури перевірки оцінки, проставлені експертами, ранжуються: найвищою оцінкою присвоюється ранг 1, наступного - 2 і т.д. Однаковим оцінками присвоюються однакові ранги, рівні середньому арифметичному їх порядкових номерів. Такі ранги іменуються пов'язаними.

Розглянемо порядок ранжирування на прикладі оцінок першого експерта. Вища оцінка, що дорівнює 10 балам була їм дана показником

«Складність реалізації. Йому присвоюється ранг 1. Два показника

«Кількість обладнання» і «масштабованість» мають оцінку 9 балів. У порядку проходження вони мають номери 2 і 3, тому обом цим показникам присвоюється ранг 2,5. Далі слід показник «вартість» з оцінкою 8.

Йому дається ранг 4. І, аналогічно показник «продуктивність» отримує ранг 5, а «безпека мережі» ранг.6.

Зведені результати ранжирування представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Зведена карта рангових оцінок.

Характеристики мережі	Е К С П Е Р Т И								Сума рангів
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Вартість	4	4,5	5	4,5	3,5	5	3,5	4,5	34,5
Кількість обладнання	2,5	2	1,5	2,5	1,5	3	1,5	2	16,5
Продуктивність	5	4,5	3,5	4,5	5	3	5	4,5	35
Масштабованість мережі	2,5	2	3,5	2,5	3,5	3	3,5	2	22,5
Безпека мережі	6	6	6	6	6	6	6	6	48
Складність реалізації	1	2	1,5	1	1,5	1	1,5	2	11,5

Для обчислення коефіцієнта Кендалла-Сміта K скористаємося відомим співвідношенням

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2}{\frac{1}{12} \cdot \left(m^2(n^3 - n) - m \cdot \sum_{j=1}^m T_j \right)} \quad (2.12)$$

де r_{ij} - ранг i -ого показника у j -ого експерта;

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}}{n};$$

n - число оцінюваних показників; m - число експертів у складі групи;

$T_j = V_j \cdot T_j$. де V_j - кількість однакових пов'язаних рангів, виставлених j -им експертом.

Використовуючи розрахункове співвідношення (2.12) отримаємо

$$K = \frac{926}{\frac{1}{12}(64 \cdot 210 - 8 \cdot 90)} = 0,874$$

Високе значення коефіцієнта свідчить про хорошу узгодженості експертних оцінок. Проте, переконаємося в цьому, перевіривши гіпотезу узгодженості статистично за критерієм χ^2 . З цією метою знайдемо значення критерію для рангового масиву таблиці 2.2 за формулою

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2}{\frac{1}{12} \cdot \left(mn \cdot (n + 1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j \right)} \quad (2.13)$$

Скориставшись цією формулою, одержимо $\chi^2 = 34,9$. Порівняємо цю величину з табличним значенням критерію для рівня значущості $\alpha = 0,05$ і числа ступенів свободи $f = n - 1$ $\chi^2 = 11,1$. Оскільки обчислене значення критерію перевершує табличне, гіпотезу про узгодженість експертних оцінок можна вважати підтвердженою. І використовувати отримані результати для вироблення технічних вимог на проектування бездротової комп'ютерної мережі вищого навчального закладу.

2.3. Висновки до розділу

Запропоновано математичну модель управління трафіком в бездротових мережах.

Детально розглянуті особливості проектування бездротових мереж, призначених для забезпечення навчального процесу в закладах вищої професійної освіти.

Організовано роботу групи незалежних експертів на оцінці техніко-економічних характеристик бездротових мереж результати перевірки за допомогою відомих статистичних процедур.

3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІШАНИХ ПОТОКІВ З ОБМЕЖЕНИМ ЧАСОМ ЖИТТЯ ЗАЯВОК

Наявність математичної моделі не гарантує отримання зручних розрахункових схем, які могли б бути використані для вирішення завдань управління потоками користувачів бездротових мереж. Причиною цього може стати як складність самої моделі, так і ускладнює отримання надійних відомостей про параметри, що входять в її склад. У той же час натурні експерименти надаються мало прийнятними, оскільки вимагають значних витрат часу і зусиль по формуванню масиву спостережень, достатнього для винесення статично обґрунтованих суджень. Таким чином, єдиним інструментом отримання результатів, придатних для практичного застосування, залишається апарат імітаційного моделювання.

Основна ідея імітаційного моделювання полягає у відтворенні потоку подій за допомогою послідовності випадкових чисел, розподілених по деякому закону. Можливості сучасної обчислювальної техніки дозволяють формувати послідовності, що мають в своєму складі практично будь-яке число елементів, що робить імітаційне моделювання досить ефективним інструментом дослідження.

У цій главі за допомогою імітаційних моделей будуть досліджені особливості поведінки змішаних потоків з обмеженим часом життя заявок, розроблено практичні рекомендації щодо організації процедури масового тестування і складання оптимального розкладу відповідно до розробленого вирішальним правилом, підтверджені гіпотези, покладені в основу математичних моделей.

3.1 Завдання побудови розкладу для процесу масового тестування

Критерії, що використовуються для оцінки роботи систем масового обслуговування, в яких об'єктами обслуговування виступають люди, завжди

включають в себе фактор часу, на відміну від потоків, сформованих з неживих предметів: приладів, машин, деталей, які надходять на складання і т. Д. Це породжує широкий клас задач побудови алгоритмів керування, що мінімізують величину середнього часу очікування обслуговування, за умови ефективного використання обладнання.

Такі алгоритми прийнято називати розкладами. У змістовному сенсі вони являють собою спробу застосувати регулюючі прийоми для управління випадковими потоками. Розглянемо задачу побудови розкладу для процесу масового тестування в умовах вищого навчального закладу.

Нехай в аудиторії, яка оснащена m комп'ютерами, підключеними до бездротової мережі, повинні пройти тестування k студентських груп. Чисельний склад i -ої групи будемо позначати $g(i)$. Процес тестування, або, в термінах теорії масового обслуговування, обслуговування потоку клієнтів відбувається при наступних обмеженнях:

- Максимальна тривалість обслуговування будь-якого об'єкта з будь-якої групи не перевищує величини T .
- Будь-який об'єкт з будь-якої групи під час обслуговування може скоротити тривалість (T) свого обслуговування на випадкову величину $d \in [0, T - t_e]$, де t_e - величина мінімально допустимої тривалості обов'язкового обслуговування.
- У період обслуговування групи, будь-який звільнився канал миттєво займається об'єктом з цієї групи, або, якщо такого немає, то об'єктом з іншої групи.
- Відомо, що в середньому $Z\%$ елементів групи проходять обслуговування тривалістю T .

Потрібно побудувати розклад ($R(m)$ -план)

$$R(m) = \langle A(\text{гр}(1)), A(\text{гр}(2)), \dots, A(\text{гр}(k)) \rangle$$

де $A(\text{гр}(i))$ - момент часу появи групи з номером i для обслуговування в потоці, $i = 1, k$.

В якості критерію оптимальності приймемо величину

$$F = t(\text{гр}(i)) + t(\text{yc}) \rightarrow \min \quad (3.1)$$

де $t(\text{гр}(i))$ - тривалість очікування групи, яка відлічується від моменту призначеного прибуття групи відповідно з

$R(m)$ - план до початку обслуговування;

$t(\text{yc})$ - тривалість очікування обслуговуючого пристрою.

Розглянемо побудову розкладу $R(1)$ для одноканальної системи, яка обслуговує одну групу. Якщо всі елементи потоку (тестовані) будуть повністю використовувати наданий ліміт часу, то буде мати місце регулярний потік, в якому клієнти підключаються до обслуговування в моменти кратні T , а загальна тривалість тестування виявиться рівною gT .

Припустимо тепер, що кожен користувач, згідно своїм обставинам, може скоротити час перебування на обслуговуванні на випадкову величину $d(i) \in [0, T - t_e] | i = 1, g$, Розподілену по деякому закону. На рисунок 4.1. така ситуація проілюстрована для першого користувача в порядку проходження.

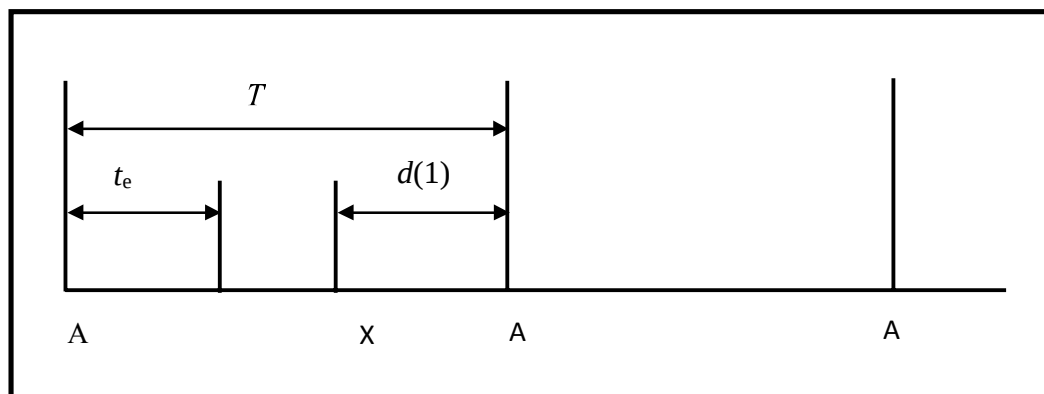


Рисунок 3.1 - Переривання обслуговування першим об'єктом потоку в момент x .

Ця дія призведе до зміни $R(1)$ - плану, тому що починаючи з другого елементу моменти початку обслуговування зміняться

$$R(1) = \langle A(1), A(2) - d(1), A(3) - d(1), \dots, A(g) - d(1) \rangle \quad (3.2)$$

Аналогічна поведінка другого користувача з'явиться причиною ще одного зміни плану $R(1)$, починаючи з третього елемента

$$R(1) = \langle A(1), A(2) - d(1), A(3) - d(1) - d(2), \dots \rangle \quad (3.3)$$

Таким чином, продовжуючи коригування $R(1)$ -плану на кроці з номером g отримаємо повністю відкоректоване розклад

$$R(1) = \langle A(1), A(2) - d(1), \dots, A(2)(g) - \sum_{i=1}^{g-1} d(i) \rangle$$

Загальна тривалість обслуговування групи відповідно до побудованим планом буде

$$T_{R(1)} = gT - \sum_{i=1}^g d(i) \quad (3.4)$$

або, з урахуванням максимально можливого часу обслуговування частини групи

$$T_{R(1)} = gT - \sum_{i=1}^{\hat{g}} d(i), \quad \text{где } \hat{g} = [(1 - Z)g] \quad (3.5)$$

Середній час обслуговування однієї заявки в потоці, організованому подібним чином, дорівнюватиме

$$\overline{T_{R(1)}} = T - \frac{1}{g} \sum_{i=1}^{\hat{g}} d(i) \quad (3.6)$$

Воно істотно залежить від суми елементів $d(i)$, яка, в свою чергу, повністю визначається видом функції щільності ймовірності часу тестування. Техніка відшукування математичного очікування часу обслуговування для випадку експоненціального потоку показана в останньому розділі попередньої глави. Зауважимо, що випадкова величина

$$D = \sum_{i=1}^g d(i), i = \overline{1, g}$$

згідно центральної граничної теореми, буде розподілена за нормальним законом, незалежно від законів розподілу $d(i)$, з математичним очікуванням g

$$M(D) = \sum_{i=1}^g M(i)$$

і дисперсією

$$\sigma^2(D) = \sum_{i=1}^g \sigma^2(d(i))$$

Опис процесу обслуговування групи в m -канальної системі ($g \geq m$) може бути дано шляхом лінійного масштабування результатів, отриманих для одноканальної системи. Використовуючи цей прийом для вираження (4.5), отримаємо розрахункову формулу часу обслуговування групи багатоканальної системою

$$\tilde{T}_{R(m)} = \tilde{g}T - \sum_{i=1}^{\hat{g}} \tilde{d}(i) \quad (3.7)$$

$$\text{де } \tilde{g} = \frac{g}{m}; \quad \tilde{d}(i) \in \left[0, \frac{(T - t_e)}{m}\right]$$

Перейдемо до побудови плану $R(m)$, тобто складемо розклад обслуговування k груп користувачів m -канальної системою в рамках умов 1 - 4 і відповідно до критерію оптимальності (4.1). Для цього за допомогою співвідношення (4.7) знайдемо час обслуговування всіх груп, що підлягають тестуванню

$$\tilde{T}(j)_{R(m)} = \tilde{g}_j T - \sum_{i=1}^g d_j(i), \quad j = \overline{1, k}$$

що дозволить побудувати технологічний маршрут

J	1	2	3	4	...	k
$T(j)$	$T(1)$	$T(2)$	$T(3)$	$T(4)$	...	$T(k)$

Рисунок 3.2 - Технологічний маршрут обслуговування груп в потоці.

Таким чином, $R(m)$ -план буде виглядати наступним чином:

$$R(m) = \langle A(1), A(1), \dots, A(k) \rangle, \text{ де}$$

$$A(1) = 0$$

$$A(2) = A(1) + T(1)$$

$$A(3) = A(2) + T(1) + T(2)$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots$$

$$A(k) = A(k-1) + \sum_{i=1}^{k-1} T(i)$$

Для практичного побудови конкретного розкладу необхідно встановити значення обов'язкового і граничного часу обслуговування, чисельний склад всіх тестованих груп, а також ідентифікувати закон розподілу потоку обслуговування.

3.2. Дослідження однономенклатурного змішаного потоку

У розділі 2.3 другого розділу було дано обґрунтування виду Залежно розподілу часу перебування заявок в активній фазі тестування, і запропоновано вираз для опису цієї залежності (Див. Рис 2.2 і формулу 2.21). Вона являє собою складну багатопараметричну функцію, ідентифікація якої вимагає значного часу і зусиль по організації натурних спостережень для збору досить представницької

статистики. Разом з тим, в розділі 3.4 тієї ж глави було відзначено, що для опису ординарного фрагмента потоку цілком підходить експонентний закон розподілу. І, оскільки групова складова «вимивається» в темпі геометричній прогресії, значний практичний інтерес представляє питання про те, коли впливом групового фрагмента стає можливим знехтувати і використовувати для опису потоку в цілому зручну функцію щільності ймовірності експоненціального закону розподілу.

Для реалізації імітаційного експерименту виконаємо перехід до

«Зворотного часу» за формулою $\tau = T - t$ і за допомогою функції RANDOM програмно згенеруємо змішані потоки при постійній інтенсивності ординарної складової потоку обслуговування $\mu = 0,05$, послідовно збільшуючи тривалість на 5 хвилин. Це породить сімейство функцій, що відрізняються від класичної функції щільності ймовірності експоненціального розподілу тим, що, в точці $\tau = 0$ до неї додається значення, відповідне частці групового фрагмента, а за межами області активної фази тестування її значення обнуляються.

У таблиці 3.1 представлені величини часток групових фрагментів в залежності від тривалості активної фази тестування, обчислені за формулою 3.31 до значення інтенсивності $\mu = 0,05$.

Таблиця 3.1 - Залежність частки групового фрагмента змішаного потоку від тривалості активної фази тестування.

Тривалість активної фази тестування (хв.)	20	25	30	35	40	45	50
Частка групового фрагмента γ	0,386	0,287	0,233	0,174	0,135	0,105	0,082

Гістограми, представлені на Рис.4.3а -4.3г наочно демонструють динаміку зміни відмінностей між функцією щільності ймовірності експоненціального розподілу $f(\tau) = 0,05e^{-0,05\tau}$ і залежностями виходу заявок в режимі змішаного потоку при різній тривалості тестування. Як і слід було очікувати, відмінності виявляються тим значніше, чим менше тривалість активної фази тестування.

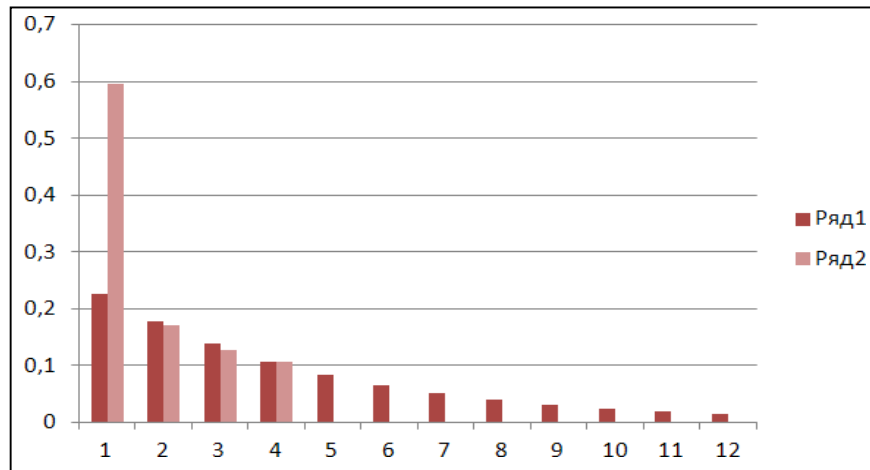


Рисунок 3.3а - Активне час обслуговування 20 хв.

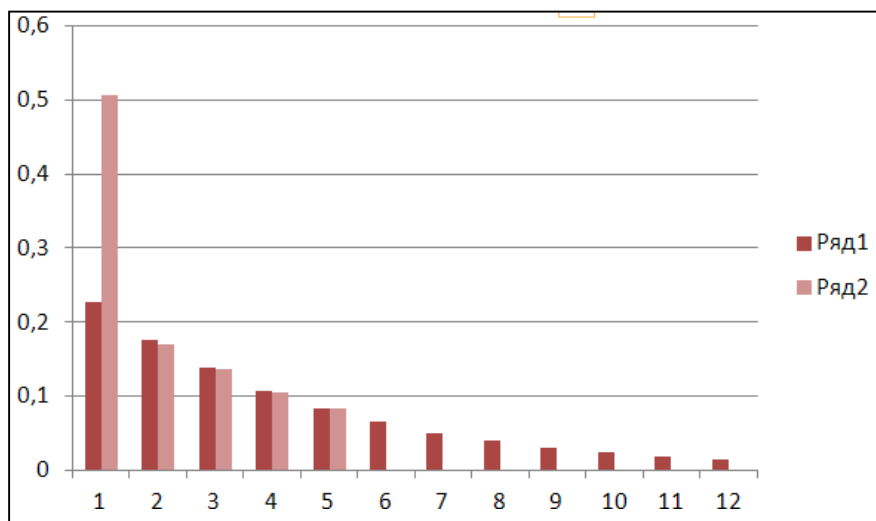


Рисунок 3.3b - Активне час обслуговування 25 хв.

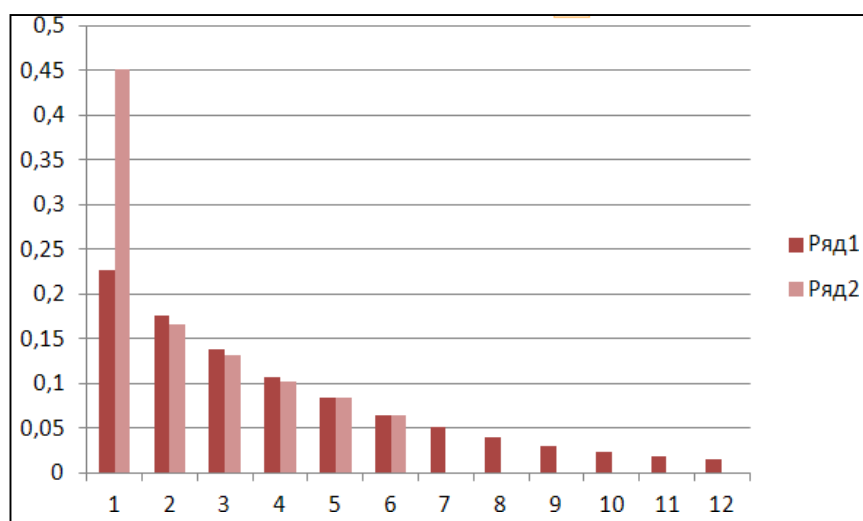


Рисунок 3.3с - Активне час обслуговування 30 хв.

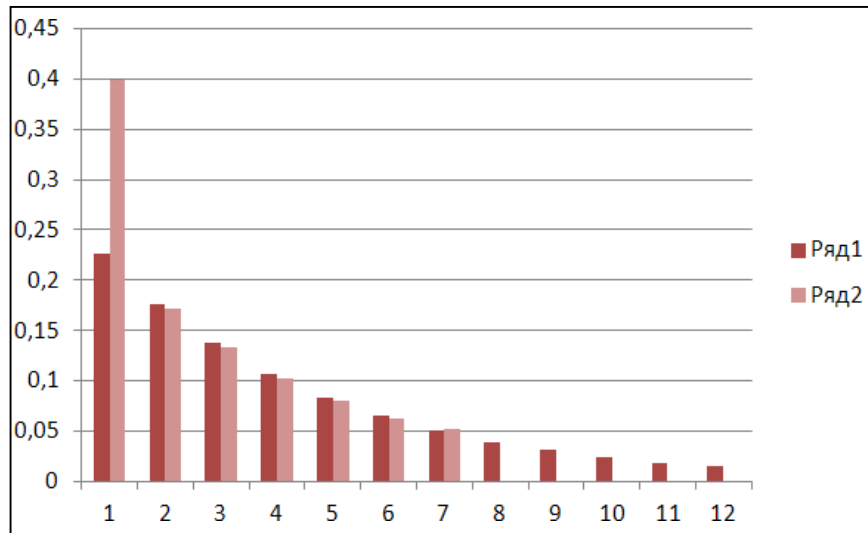


Рисунок 3.3d - Активне час обслуговування 35 хв.

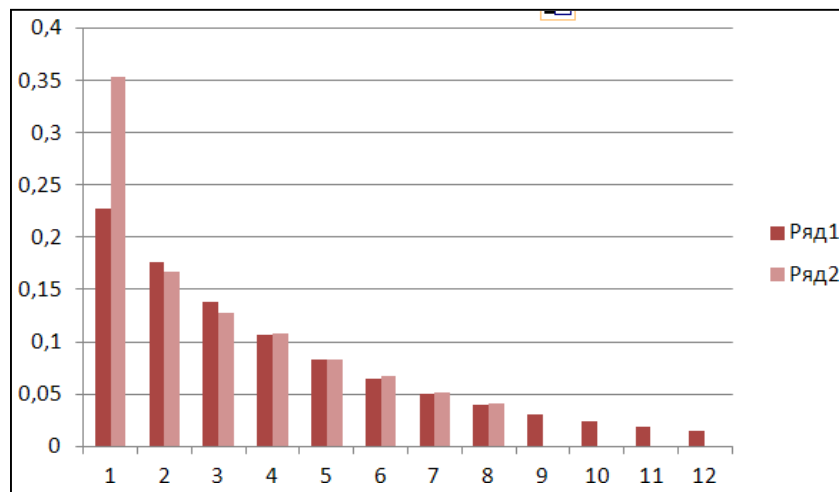


Рисунок 3.3е - Активне час обслуговування 40 хв.

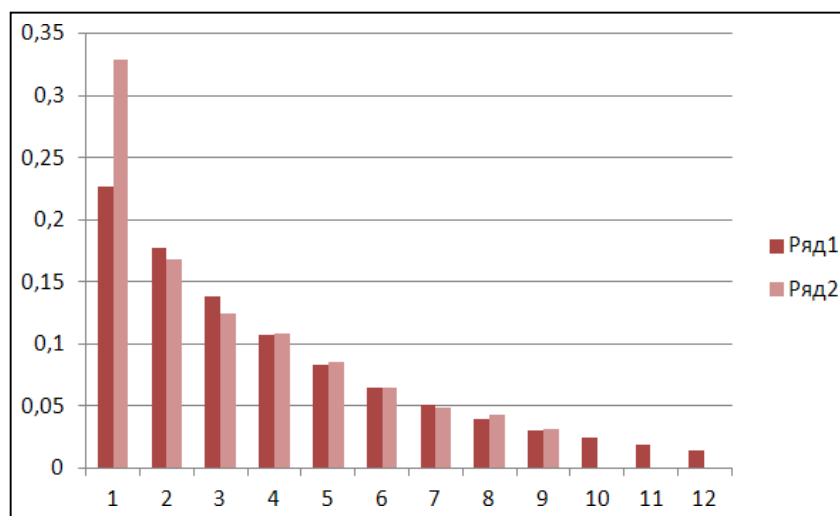


Рисунок 3.3f - Активне час обслуговування 45 хв.

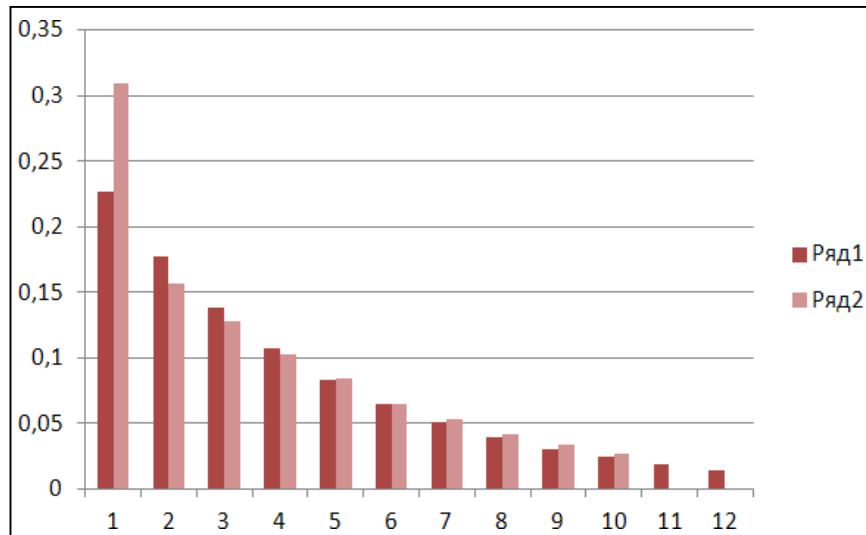


Рисунок 3.3g - Активне час обслуговування 50 хв.

Щоб уникнути можливих непорозумінь з'ясуємо змістовний сенс використовуваних понять і позначень.

При розгляді класичних пуассонівських потоків інтенсивністю обслуговування μ називається величина зворотна середньому часу обслуговування однієї заявки окремо взятим каналом. У нашому випадку інтенсивність визначається як величина зворотна середньому часу перебування студентів в активній фазі тестування, яке, на думку організаторів, досить для успішного проходження випробувань студенту середнього рівня підготовки. Іншими словами, як сама величина, так і порядок її призначення в значній мірі суб'єктивні, так як цілком залежать від людського фактора. Не підлягає сумніву, що тривалість активної фази тестування при незмінному значенні te може і повинна змінюватися в залежності від цілей тестування і результатів, на які розраховують організатори.

Таким чином, інтенсивність, в силу особливостей даної задачі, є в значній мірі умовним поняттям і може виявитися як більше, так і менше зворотної величини математичного очікування часу проходження тесту. Фактично, збільшуючи граничний час тестування, екзаменатор надає додаткові шанси на успіх насамперед студентам з уповільненою реакцією, які, в силу особливостей свого темпераменту, не готові до прийняття рішень у високому темпі, а також сором'язливим, невпевненим у собі людям, які звикли багато разів перевіряти ще раз, здавалося б, очевидні результати.

Наведені міркування дають підставу вважати, що вплив груповий складової змішаного потоку на поведінку потоку в цілому важливо не тільки для вирішення завдання адміністрування процесу комп'ютерного тестування так само може представляти інтерес для практичної педагогіки.

Для перевірки гіпотези про те, що за певних умов опис змішаного потоку може бути дано в термінах пуассонівського потоку, виконаємо ще один імітаційний експеримент.

Промодельюємо процедуру тестування групи студентів в кількості близько 100 чоловік (конкретне число вибирається випадковим чином) в ситуаціях, коли тривалість активної фази тестування становить 40 і 45 хвилин, а $\mu = 0,05$ (Див. рисунок 4.3e і 4.3f). За допомогою імітаційної моделі знайдемо число студентів, які будуть доповнювати тестування на тимчасових інтервалах аналогічних тим, що використані в якості розрядів гістограм, представлених на Рис.4.3a -4.3g. Значення вирівнювальних частот n_j обчислимо за формулою

$$n_j = \tilde{p}_j \cdot k \quad (3.8)$$

де p_j - відносна частота відповідного розряду гістограми;

k -чисельний склад групи.

Результати імітаційного моделювання та допоміжних обчислень представлені в таблиці 3.2.

Використовуючи матеріали таблиці 4.2, знайдемо значення величини χ^2 для обох реалізацій за відомою формулою

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - \tilde{n}_j)^2}{\tilde{n}_j} \quad (3.9)$$

Таблиця 3.2 - Спостережувані і вирівнюють частоти для обчислення значення χ^2 .

№ п/п	Часовий інтервал	p_j	Тривалість активної фази 40 хв. $K = 102$		Тривалість активної фази 45 хв. $K = 99$	
			n_{j2}	n_j	n_{j2}	n_j
1	0 - 5	0,2268	23,13	35	22,45	33
2	5 - 10	0,1766	18,01	17	17,48	17
3	10 - 15	0,1376	14,04	14	13,62	13
4	15 - 20	0,1071	10,92	11	10,60	10
5	20 - 25	0,0834	8,51	9	8,26	7
6	25 - 30	0,0650	6,63	7	6,44	7
7	30 - 35	0,0506	5,16	5	5,01	5
8	> 35	0,1554	15,60	4	15,14	7

Для випадку тривалості активної фази тестування рівній 40 хвилинам $\chi^2 = 14,83$, а для 45 хвилин $\chi^2 = 9,68$. Порівняємо знайдені значення з критичними для рівня значущості $\alpha = 0,05$ і числа ступенів свободи $\nu = d - 2$, де d - кількість розрядів в таблиці 4.2. Критичне значення шуканої величини $\chi^2 = 12,6$. Це означає, що з імовірністю помилки другого роду 5% за критерієм згоди Пірсона гіпотеза про експоненційному характері розподілу для першого ряду повинна бути відкинута, а для другого прийнята.

Зауважимо, що перевірка по менш жорсткого критерію Романовського

$$R = \frac{|x^2 - \nu|}{\sqrt{2\nu}} \quad (3.10)$$

дозволяє прийняти гіпотезу експоненціального розподілу для обох рядів, оскільки обчислення за формулою (4.10) для 40 хвилин дають

$R = 2,55$, а для 45 хвилин $R = 1,06$, тоді як значення $R_{кр.} = 3$. Очевидно, що застосовується для розрахунку інтенсивності $\mu = 0,05$, перевірки для часів великих 45 хвилин дадуть свідомо позитивний результат, а для менших 40 хвилин - негативний.

Звідси випливає, що частка групової складової рівна $\sim 13\%$ визначає прикордонний стан змішаного потоку. Якщо величина групового фрагмента менше 13% , то для опису змішаного потоку допустимо і доцільно використовувати експонентний закон розподілу. В іншому випадку вплив групової складової стає істотним, а гіпотеза експоненціального розподілу виявляється статистично недостовірною. Цей висновок може бути поширений на будь-які системи масового обслуговування, що функціонують в умовах змішаних потоків, в тому числі і таких, де груповий фрагмент має стійкий характер і не змінюється в часі.

Як видно з виразу 3.31, величина групового фрагмента γ залежить від твору $\mu\tau$, де змінна τ фіксується в точках, відповідних тривалості активної фази тестування. І, оскільки інтенсивність в нашому випадку трактується як величина зворотна середньому часу перебування, тестованого в активній фазі, визначеного організаторами як достатнього для виконання тестових завдань, можна стверджувати, що частка групового фрагмента повністю визначається відношенням тривалості області активної фази тестування до середнього часу перебування випробовуваних в області активної фази. З даних таблиці випливає, що граничне значення цього відношення дорівнює 2 і кореспондує величиною $\gamma = 0,135$. Це може служити ефективним інструментом управління розмірами частки груповий складової змішаного потоку при вирішенні завдань адміністрування.

3.3. Алгоритм побудови розкладу процедури масового тестування

У розділі 3.1 була детально описана постановка задачі побудови розкладу процесу масового тестування і сформульовані загальні принципи її вирішення.

Результати, отримані в ході імітаційного моделювання, дають можливість оформити цю ідею у вигляді конкретного алгоритму, що і є основним змістом цього розділу.

Необхідність побудови такого розкладу і відповідного алгоритму обумовлена переходом на більш раціональний формат тестування. Традиційно практикується формат передбачає проведення тестових випробувань виключно в режимі групового обслуговування, при якому аудиторія, де проводиться тестування, і устаткування, що знаходиться в ній, вважаються «зайнятими», поки весь наявний склад академічної групи не завершив тестування. Це призводить до непродуктивних простоїв робочих терміналів і істотного збільшення тривалості процедури тестування в цілому.

Значно більш ефективним є варіант обслуговування, коли випробовувані підключаються до тестування в міру звільнення робочих місць. Коефіцієнт завантаження технічних засобів при цьому наближається до одиниці, а продуктивність системи помітно зростає.

Потрібно зазначити одна обставина, вельми важливе в плані практичного використання різних варіантів організації тестових випробувань. Чим більшу вагу має групова складова потоку тестованих, тобто чим більше випробовуваних повністю використовують весь ліміт часу, тим менший ефект дає відмову від чисто груповий форми організації тестування. Дійсно: чим більше студентів будуть затримуватися в системі аж до примусового відключення, тим менше число випробовуваних може бути прийнято в режимі ординарного потоку. Звідси випливає, що перехід від чисто груповий до комбінованій формі обслуговування найбільш доцільний в тих випадках, коли частка випробовуваних, які будуть доповнювати тестування і залишають систему в режимі ординарного потоку, явно переважає над тими, хто виходить із системи в зв'язку із закінченням ліміту часу. Саме для цієї ситуації і буде тут розглянутий алгоритм побудови розкладу.

У попередньому розділі даної глави показано і статистично обґрунтовано положення, що дозволяє розглядати потік студентів, що виходять з тестування, як пуассоновський, незважаючи на наявність в його складі групового фрагмента. Для цього тривалість активної зони тестування, яка визначається як $T - te$, повинна бути

принаймні в два рази більше середнього часу перебування в активній зоні t_{cp} , Достатнього, на думку організаторів, для успішного виконання завдань. Такий стан досягається, якщо частка групової складової в вихідному потоці не перевищує 13,5% (див. таблицю $\frac{T-t_e}{t_{cp}} \geq 2$ 3.1).

Для побудови шуканого алгоритму, за допомогою імітаційного моделювання знайдемо кількісну оцінку ефективності переходу від чисто групового режиму тестування до комбінованого, в умовах, коли, відповідно до зазначених вище ознаками, вихідний потік користувачів можна розглядати як пуассоновський. В якості критерію ефективності приймемо величину зекономленого часу за рахунок підключення до обслуговування користувачів в режимі ординарного потоку.

Нижче представлена блок-схема програми, за допомогою якої була реалізована імітаційна модель, а також результати імітаційного моделювання, оформлені у вигляді таблиці.

Таблиця 3.3 - Результати імітаційного моделювання комбінованого режиму тестування.

$\frac{T - t_e}{t_{cp}}$	Число випробовуваних 25 чол.					Число випробовуваних 30 чол.				
	2	2,25	2,5	2,75	3	2	2,25	2,5	2,75	3
Частка групового фрагмента γ	0,135	0,105	0,082	0,064	0,05	0,135	0,105	0,082	0,064	0,05
Відсоток економії %	20,0	21,4	22,3	22,4	22,4	20,4	21,4	21,9	22,3	22,1
Коефіцієнт варіації %	13,8	13,2	14,6	14,9	16,2	12,1	12,0	11,7	13,9	13,6

Аналіз результатів імітаційного моделювання дозволяє стверджувати, що економія часу, що отримується при відмові від групового режиму обслуговування, практично не залежить ні від кількості тестованих, ні від частки групового

фрагмента, за умови, що . Це підтверджує статистично встановлений вище факт практичної непомітності змішаних потоків, групові складові яких не перевищують 13,5%, і правомірність розгляду їх як пуассонівських потоків. Близькість коефіцієнтів варіації вказує на високу стабільність отриманих результатів і дає підстави вважати факт 20% економії часу при переході на комбіновану схему тестування експериментально доведеним.

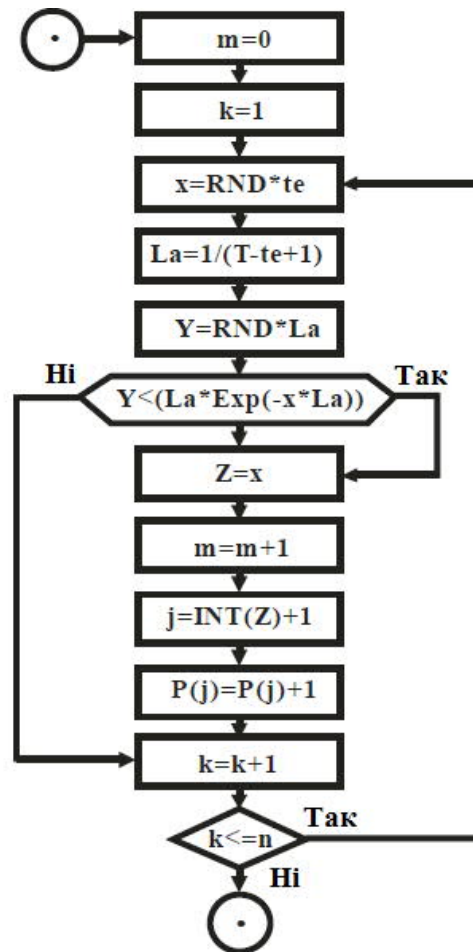


Рисунок 3.4 - Блок-схема генератора експоненціального розподілу в інтервалі $[0, T - te]$

Опишемо послідовність дій, що дозволяє побудувати розклад процедури масового тестування в умовах комбінованого режиму обслуговування.

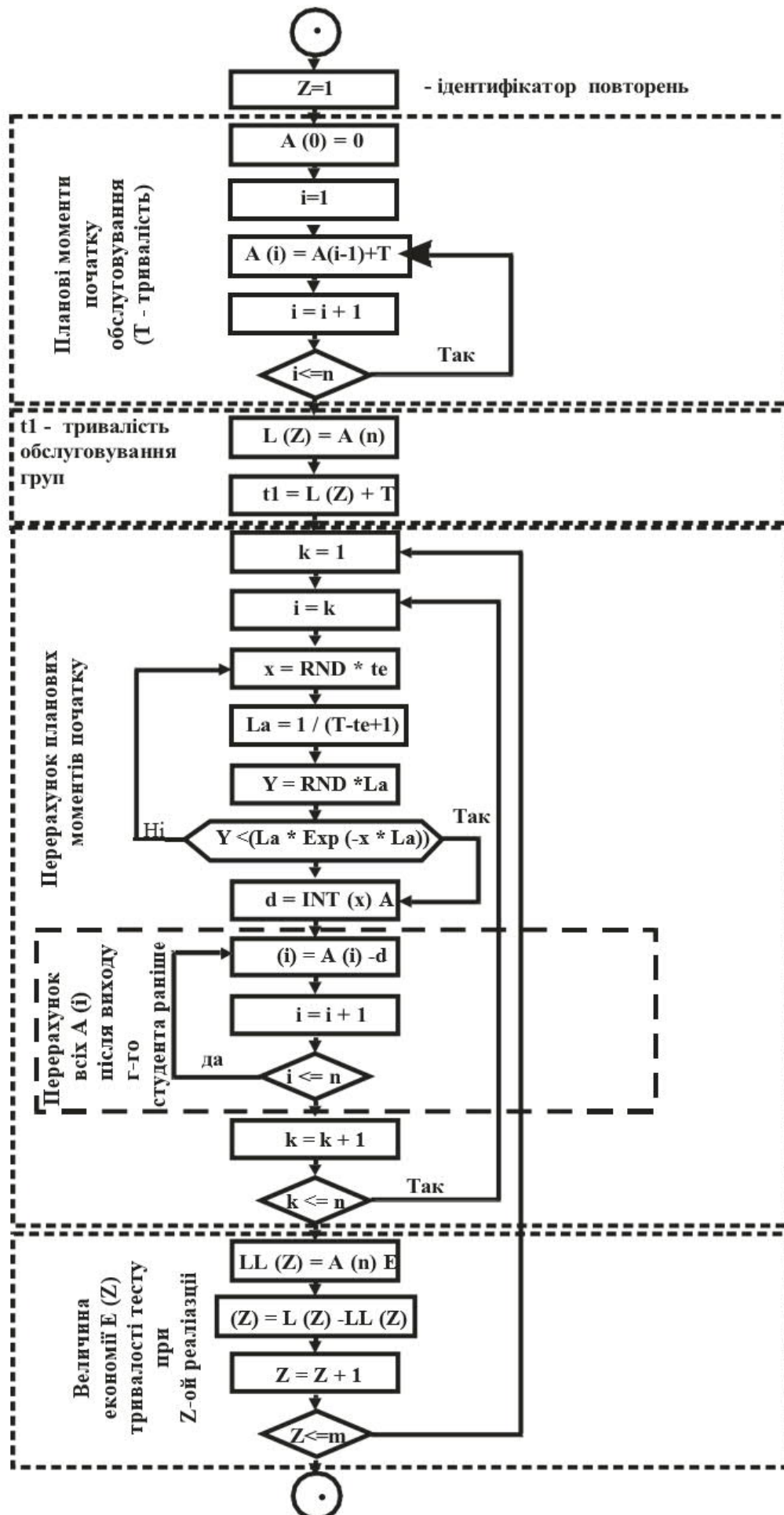


Рисунок 3.5 - Блок-схема програми, що реалізує імітаційний експеримент.

Розглянемо ситуацію, коли число робочих терміналів (каналів обслуговування) незгірш від числа студентів в складі групи. В позначеннях, прийнятих в розділі 4.1, $m \geq g$. Зупинимося на разі, що характеризує граничний

стан: $m = g$; $\frac{T-t_e}{t_{cp}} = 2$ і простежимо вузлові етапи роботи системи.

1. У початковий момент часу $t = 0$ перша з поставлених в розклад груп приступає до тестування, займаючи все наявні термінали. Тобто $t_1 = 0$.

2. Оскільки за допомогою імітаційного моделювання доведено можливість економії $\sim 20\%$ часу активної фази обслуговування, знаходимо час прибуття і почала тестування другої групи за формулою

$$t_2 = T - 0,2 (T - t_e) = 0,8T - 0,2t_e$$

3. Як впливає з формули (3.31), до цього часу $\sim 54\%$ першої групи завершать тестування і, отже, не менше 54% другої групи зможуть приступити до тестування в момент часу t_2 , а решта будуть підключатися до обслуговування в міру звільнення робочих місць, але не пізніше моменту T . Таким чином, час очікування жодного з них не

4. перевищить $0,2 (T - t_e)$. Зауваження. Внаслідок розмивання групового фрагмента, частка студентів, які будуть доповнювати тестування до моменту прибуття нової групи, буде рости і при повному усуненні груповий складової складе $\sim 67\%$.

5. Діючи аналогічно, визначимо час прибуття третьої групи

6. $t_3 = t_2 + T - 0,2 (T - t_e) = 1,6T - 0,4t_e$ і, за допомогою найпростіших індуктивних міркувань, отримаємо загальну розрахункову формулу

$$t_k = (k - 1) (0,8T - 0,2t_e) \quad (3.11)$$

де k - порядковий номер групи в розкладі.

Проілюструємо дію запропонованого алгоритму на числовому прикладі. нехай $t_e = 20$ хв., $T = 60$ хв., Середній час перебування в активній фазі тестування $t_{пор.} = 20$ хв., Число каналів $m = 20$. У цих умовах економія часу при переході на комбінований формат обслуговування для неї групи складе $0,2 (T - t_e) = 8$ хв ..

Покладемо початок тестування першої групи $t_1 = 9.00$, тоді, округляючи до найближчого моментів часу кратного 10 хвилинам, отримаємо $t_2 = 9.50$. При цьому 11 з 20 студентів зможуть приступити до випробування відразу після прибуття. А час очікування дев'яти залишилися не перевищить 10 хвилин. Використовуючи співвідношення (4.11), знайдемо часи прибуття всіх груп, що залучаються до тестування:

$$t_3 = 10.40; \quad t_4 = 11.30; \quad t_5 = 12.20; \text{ і т.д.}$$

Зупинимося тепер на побудові розкладу в умовах, коли чисельний склад більшості академічних груп перевершує число відведених для тестування робочих терміналів. У цій ситуації створення розкладу в режимі змішаного потоку, при якому зберігається єдність академічних груп на момент їх прибуття, не представляється можливим, оскільки похибка оцінки повного часу перебування в системі конкретної групи виявляється досить значною. Використання середніх значень оцінок завідомо не продуктивно, бо може спричинити як неприйнятні простої устаткування, так і накопичення великої черги, що стане причиною плутанини, конфліктів, нервозності серед очікують.

Керуючись висловленими міркуваннями, в загальній базі тестованих, потужність якої позначимо N , виділимо L груп, чисельність яких (крім завершальній в порядку проходження) дорівнює числу каналів обслуговування. Групи ці є тимчасовими, допоміжними утвореннями, створюваними тільки на час проведення тестування з метою побудови розкладу, що дозволяє найбільш ефективно використовувати переваги змішаного потоку. Зв'язок між кількістю тимчасових груп, потужністю бази тестованих і числом робочих терміналів може бути задана співвідношенням

$$L = \begin{cases} \frac{N}{m} & \text{Якщо результат є ціле число} \\ \left[\frac{N}{m} \right] + 1 & \text{Якщо } \frac{N}{m} \text{ число не ціле} \end{cases} \quad (3.12)$$

Таким чином, за рахунок реалізації чисто організаційних заходів, завдання побудови розкладу вдалося звести до пана вирішеною для випадку, коли число студентів в академічних групах не перевищує числа доступних каналів. Це дозволяє використовувати для розрахунку часу прибуття на тестування сформованих груп вираз (3.11) і побудувати макет розкладу.

Номер Групи	Номер студента в порядку проходження	Прізвище ім'я по батькові	Розрахунковий час прибуття групи
1	1	П.І.Б	$t_1 = 0$
	2	П.І.Б	
	----- -----		
	M	П.І.Б	
2	$m + 1$	П.І.Б	$t_2 = t_1 + 0,8T - 0,2t_e$
	$m + 2$	П.І.Б	
	----- -----		
	$2m$	П.І.Б	
	----- -----		
L			$t_L = t_1 + (L - 1) (0,8T - 0,2t_e)$
	$N - 1$	П.І.Б	
	N	П.І.Б	

Рисунок 3.6 - Макет розкладу для тимчасових груп

3.4. Висновки до розділу

За допомогою імітаційних моделей досліджені особливості поведінки змішаних потоків з обмеженим часом життя заявок, розроблено практичні рекомендації щодо організації процедури масового тестування і складання оптимального розкладу відповідно до розробленого вирішального правила, підтверджені гіпотези, покладені в основу математичних моделей, побудованих в третьому розділі.

Розроблено комплекс програм, що дозволяють використовувати апарат імітаційного моделювання для розрахунку різних варіантів функціонування системи в режимі змішаних потоків.

Аналіз результатів імітаційного моделювання дозволяє стверджувати, що економія часу, що отримується при відмові від групового режиму обслуговування, практично не залежить ні від кількості тестованих, ні від частки групового фрагмента.

4. ПОБУДОВА БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ

4.1 Технологія FastEthernet

У технології Fast Ethernet (FE) величина бітового інтервалу дорівнює 0,01 мкс, що дає десятикратне збільшення швидкості передачі даних. При цьому формат кадру, обсяг даних кадру та механізм доступу до каналу передачі даних, залишилися без зміни порівняно з Ethernet.

Фізичні специфікації технології FE включають такі середовища передачі даних (таблиця 4.1):

— 100 Base-TX – мережа з топологією пасивна зірка з концентратором в центрі. Використовується вита пара (UTP) категорії 5 або вище, що пов'язане з необхідною пропускнуою здатністю дроту. Для приєднання дроту застосовуються 8-контактні рознімання типу RJ-45. Довжина дроту не може перевищувати 100 метрів (стандарт рекомендує 90 метрів для 10- відсоткового запасу). Стандарт передбачив також можливість використання екранованого дроту з двома витими парами проводів (хвильовий опір – 150 Ом). В цьому випадку використовується 9-контактне екрановане рознімання DB-9. На сьогоднішній день 100 Base-TX самий популярний тип мережі FastEthernet.

— 100 Base-T4 – передача здійснюється не двома, а чотирма неекранованими витими парами UTP). При цьому дріт може бути менш якісним категорії 3, 4 або 5). Прийнята в 100BASE-T4 система кодування сигналів забезпечує ту ж саму швидкість 100 Мбіт/с на будь-якому з цих дротів, але стандарт рекомендує все ж використовувати дріт категорії 5. Обмін даними іде по одній передавальній витій парі, по одній приймальній витій парі та по двом двонаправленим витим парам з використанням трьохрівневих диференціальних сигналів.

— 100 Base-FX – застосовується топологія пасивна зірка з підключенням комп'ютерів до концентратора за допомогою двох різнонаправлених оптичних дротів. Дроти підключаються до адаптера (трансивера) та до концентратора за

допомогою рознімань типу SC, ST або FDDI. Максимальна довжина дроту між комп'ютером та концентратором - 412 метрів (це обмеження визначається не якістю дроту, а встановленими часовими співвідношеннями). Відповідно до стандарту, використовується мультимодовий або одномодовий дріт з довжиною хвилі світла 1,35 мкм. В останньому випадку втрати потужності сигналу в сегменті (в дроти і розніманнях) не повинні перевищувати 11 дБ.

Таблиця 4.1 – Специфікація фізичного середовища FE

Параметр	100BASE-TX	100BASE-T4	100BASE-FX
Дріт	UTP кат.5	UTP кат. 3 або 5	Оптичний
Кіл-ть ВП2	2	4	—
Довжина	100м (90 м)	100 м (90 м)	412 м
Кодування	4В/5В + MLT-3	8В/6Т	4В /5В +NRZI
Топологія	Пасивна зірка	Пасивна зірка	Пасивна зірка

4.1.1 Розрахунок за першою моделлю

Для визначення працездатності мережі FE стандарт IEEE 802.3 пропонує дві моделі, які іменуються Transmission System Model 1 та Transmission System Model 2. Перша модель заснована на кількох нескладних правилах. Вона виходить з того, що всі компоненти мережі (зокрема, дроти) мають найгірші з можливих часових характеристик, тому завжди дає результат зі значним запасом.

Друга модель використовує систему точних розрахунків з реальними часовими характеристиками дротів. У зв'язку з цим її застосування дозволяє іноді подолати жорсткі обмеження моделі 1.

Перша модель мережі FE являє собою по суті набір правил побудови мережі:

1. Сегменти, які виконані на електричних дротах (витих парах) не повинні бути довшими за 100 метрів. Це відноситься до дротів усіх категорій – 3, 4 та 5, до сегментів 100BASE-T4 та 100BASE-TX.

2. Сегменти на оптичних дротах, не повинні бути довше 412 метрів.

3. Якщо застосовуються адаптери з зовнішніми (виносними) трансиверами, то трансиверні дроти (MII) не повинні бути довше 50 сантиметрів.

Стандартом визначено два класи повторювачів:

1) *Повторювачі I класу* виконують перетворення вхідних сигналів в цифровий вигляд, а при передачі знову перекоднують цифрові дані у фізичні сигнали; трансформація сигналів в повторювачі вимагає деякого часу, тому в домені колізій допускається тільки один повторювач класу I;

2) *Повторювачі II класу* негайно передають отримані сигнали без перетворення, тому до них можна підключати тільки сегменти, що використовують однакові способи кодування даних; можна використовувати не більше 2-х повторювачів II класу в одному домені колізій.

Модель номер 1 виділяє три можливі конфігурації мережі Fast Ethernet:

3) З'єднання безпосередньо двох абонентів (вузлів) мережі, без репітера або концентратора (рисунок 4.1).

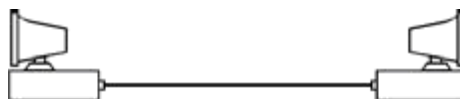


Рисунок 4.1 – Схема безпосередньо з'єднання двох вузлів

Абонентами можуть при цьому виступати не тільки комп'ютери, але та мережевий принтер, порт комутатора, моста чи маршрутизатора. Таке поєднання називається з'єднанням DTE-DTE або двоточковим.

Правила моделі 1 для даного випадку прості: електричний дріт не повинен бути довшим за 100 метрів, напівдуплексний оптоволоконний – не більше 412 метрів, повнодуплексний оптоволоконний – 2000 м. (при цьому затримка сигналу в дроти не має значення, так як метод CSMA/CD не працює).

З'єднання двох абонентів мережі за допомогою одного репітерного концентратора класу I чи класу II (рисунок 2.2).

В даному випадку потрібно обмежувати довжину дротів А та В мережі відповідно до таблиці 4.2.

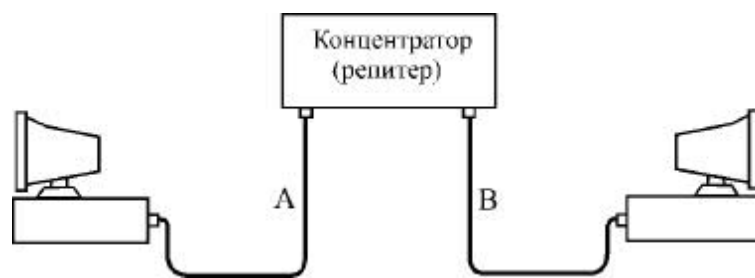


Рисунок 4.2 – Схема з'єднання двох абонентів мережі за допомогою одного репітерного концентратора

Таблиця 4.2 – Максимальна довжина дротів у схемі з одним концентратором

Вид дроту А	Вид дроту В	Клас концентратора	Макс. довжина дроту А, м	Макс. довжина дроту В, м	Макс. розмір мережі, м
TX, T4	TX, T4	I або II	100	100	200
TX	FX	I	100	160,8	260,8
T4	FX	I	100	131	231
FX	FX	I	136	136	272
TX	FX	II	100	208,8	308,8
T4	FX	II	100	204	304
FX	FX	II	160	160	320

1) З'єднання двох абонентів мережі за допомогою двох репітерні концентраторів класу II. При цьому передбачається, що для зв'язку концентраторів завжди застосовується електричний дріт довжиною не більше 5 метрів.

Концентратори класу II мають меншу затримку, тому їх може бути два. Використання трьох концентраторів відповідно до моделі 1 не допускається.

В даному випадку потрібно обмежувати довжину дротів А та В відповідно до таблиці 4.3. При цьому за умовчанням передбачається, що дріт С має довжину 5 метрів.

В обох конфігураціях з концентраторами при використанні одночасно електричного та оптоволоконного дротів можна за рахунок зменшення довжини електричного дроту збільшити довжину оптоволоконного.

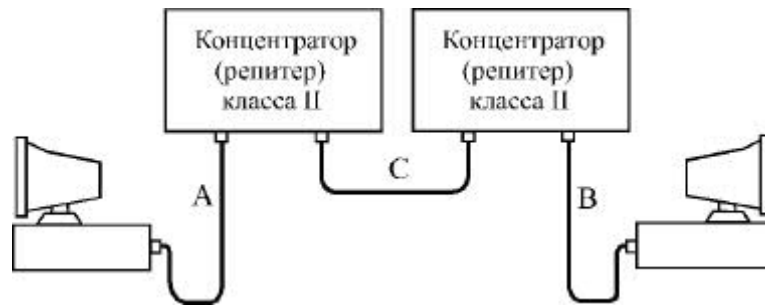


Рисунок 4.3 – Схема з'єднання двох абонентів мережі за допомогою двох репітерні концентраторів класу II

Таблиця 4.3 – Максимальна довжина дротів у конфігурації з двома концентраторами

Вид дроту А	Вид дроту В	Максимальна довжина дроту А, м	Максимальна довжина дроту В, м	Максимальний розмір мережі, м
TX, T4	TX, T4	100	100	205
TX	FX	100	116,2	221,2
T4	FX	136,3	136,3	241,3
FX	FX	114	114	233

Причому зменшення довжини електричного дроту на 1 метр кореспондує збільшення довжини оптоволоконного дроту на 1,19 метра. Наприклад, зменшивши дріт TX на 10 метрів, можна збільшити дріт FX на 11,9 метра, та його гранична довжина складе при двох концентраторах 128,1 метра.

У разі використання двох оптоволоконних дротів можна зменшувати один з дротів за рахунок збільшення іншого. При зменшенні одного дроту на 10 метрів можна збільшити другий теж на 10 метрів. Якщо ж застосовується два електричні дроти, то збільшувати один з них за рахунок зменшення іншого не можна, так як їх довжина в принципі не може перевищувати 100 м. через загасання сигналу в дроти.

4.1.2 Розрахунок по другій моделі

Друга модель для мережі Fast Ethernet, як та у випадку Ethernet, заснована на обчисленні сумарного подвійного часу проходження сигналу по мережі.

Проводити розрахунки величини скорочення міжпакетного інтервалу (IPG) не потрібно. Це пов'язано з тим, що навіть максимальна кількість репітерів та концентраторів, допустимих у FE(два), не може викликати неприпустимого скорочення міжпакетного інтервалу.

Для розрахунків відповідно до другої моделі спочатку потрібно виділити у мережі шлях з максимальним подвійним часом проходження та максимальним числом репітерів (концентраторів) між комп'ютерами, тобто шлях максимальної довжини. Якщо таких шляхів кілька, то розрахунок повинен проводитися для кожного з них. Розрахунок ведеться на підставі таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Подвійні затримки компонентів мережі FE(величини затримок надані в бітових інтервалах)

Тип сегменту	Затримка на метр	Максимальна затримка
Два абонента TX/FX	–	100
Два абонента T4	–	138
Один абонент T4 та один TX/FX	–	127
Сегмент на дроті категорії 3	1,14	114 (100 м)
Сегмент на дроті категорії 4	1,14	114 (100 м)
Сегмент на дроті категорії 5	1,112	111,2 (100 м)
Екранована вита пара	1,112	111,2 (100 м)
Оптичний дріт	1,0	412 (412 м)
Репітер (концентратор) класу I	–	140
Репітер (концентратор) класу II з портами TX/FX	–	92
Репітер (концентратор) класу II з портами T4	–	67

Для обчислення повного подвійного (кругового) часу проходження для сегмента мережі необхідно помножити довжину сегмента на величину затримки на метр, взяту з другого стовпця таблиці. Якщо сегмент має максимальну довжину, то можна відразу взяти величину максимальної затримки для даного сегмента з третього стовпця таблиці.

Потім затримки сегментів, що входять в шлях максимальної довжини, потрібно підсумувати та додати до цієї суми величину затримки для прийомопередавальних вузлів двох абонентів (це три верхні рядки таблиці 4.3) та величини затримок для всіх репітерів (концентраторів), що входять в даний шлях (це три нижні рядки таблиці 4.4).

Сумарна затримка повинна бути менше, ніж 512 бітових інтервалів. При цьому потрібно пам'ятати, що стандарт IEEE 802.3u рекомендує залишати запас в межах 1-4 бітових інтервалів для урахування дротів всередині з'єднувальних шаф та похибок вимірювання. Краще порівнювати сумарну затримку з величиною 508 бітових інтервалів, а не 512 біт-інтервалів.

4.1.3 Приклад розрахунку конфігурації мережі Fast Ethernet

На рисунку 2.4 наведено схему однієї з гранично допустимих конфігурацій мережі Fast Ethernet.

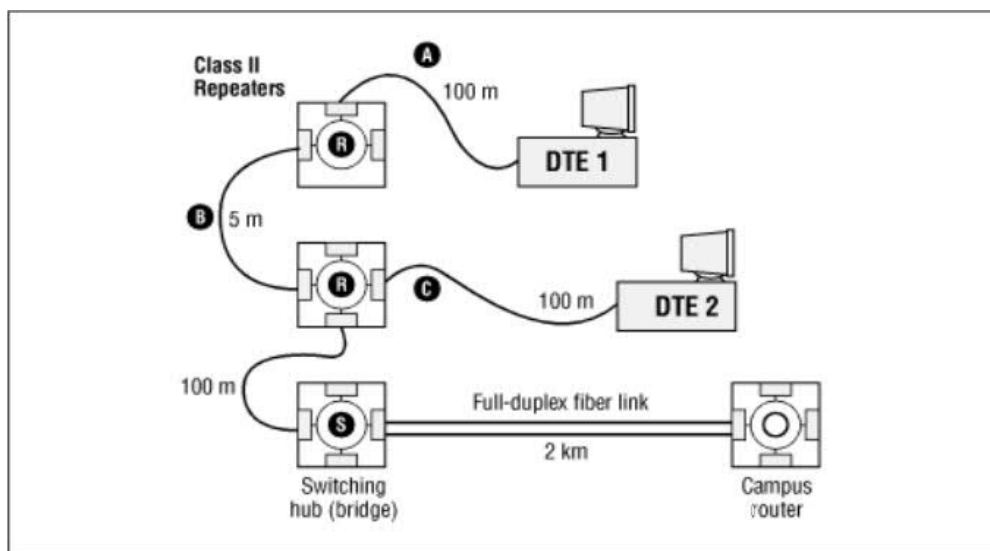


Рисунок 4.4 – Приклад допустимої конфігурації мережі Fast Ethernet

Діаметр домену колізій обчислюється як сума довжин сегментів А (100 м), В (5 м) та С (100 м) та дорівнює 205 м. Довжина сегменту, що з'єднує повторювачі, може бути більш 5 м, якщо при цьому діаметр домену колізій не перевищує допустимий для даної конфігурації межу. Комутатор-хаб, що входить до складу мережі, зображеної на рисунку 4.4, вважається кінцевим пристроєм, оскільки колізії через нього не поширюються. Тому 2-кілометровий сегмент оптоволоконного дроту, що з'єднує цей комутатор з маршрутизатором (router), не

враховується при розрахунку діаметра домену колізій мережі Fast Ethernet. Мережа задовольняє правилам першої моделі.

Перевіримо тепер її по другій моделі. Найгірший шлях в домені колізій: від DTE1 до DTE2 та від DTE1 до комутатора-хаба. Обидва шляхи складаються з трьох сегментів на кручений парі, з'єднаних двома повторювачами класу II. Два сегменти мають гранично допустиму довжину 100 м. Довжина сегмента, що з'єднує повторювачі, дорівнює 5 метрів.

Припустимо, що всі три розглянутих сегмента є сегментами 100BASE-TX та в них застосовується вита пара категорії 5. У таблиці 4.5 наведені величини часу подвійного обороту для розглянутих шляхів. Склавши числа з другого стовпця цієї таблиці, отримаємо 511,96 біт – це та буде час подвійного обороту для найгіршого шляху.

Таблиця 4.5 – Час подвійного обороту мережі на рисунку 4.4

Компонент шляху	Час подвійного обороту, біт
Пара терміналів з інтерфейсами TX	100
Сегмент на кручений парі категорії 5 (100 м)	111,2
Сегмент на кручений парі категорії 5 (100 м)	111,2
Сегмент на кручений парі категорії 5 (5 м)	5,56
Повторювач класу II	92
Повторювач класу II	92

Потрібно зважити, що в даному випадку немає страхового запасу в 4біт, так як в цьому прикладі застосовуються найгірші значення затримок, наведені в таблиці 4.3. Реальні часові характеристики компонентів FЕможуть відрізнитися в кращу сторону.

4.2 Технічне завдання моделі мережі

Модернізацію локальної обчислювальної мережі необхідно виконати в торговельному підприємстві ТОВ «Обеліск». Станом на 1 грудня 2020 року в локальну мережу організації підключені 44 комп'ютери, з урахуванням наявного обладнання, а також з огляду на комп'ютери які необхідно запустити в експлуатацію необхідно підключити ще 14, таким чином, в мережі буде функціонувати 58 комп'ютерів.

Комп'ютерна мережа функціонує на двох поверхах будівлі, які з'єднуються кабелем всередині мережі.

На підприємстві інтернет реалізований за допомогою виділеної лінії від компанії «Тенет», підключення приходить з 4-го поверху будівлі та через 315 кабінет дрiт заходить в кабінет 314_, де встановлено головний маршрутизатор, який обробляє всю інформацію, що надходить. План – схема 2-го та 3-го поверхів будівлі надані у додатку А.

Пакет послуг «Бізнесмакс 150» передбачив роботу в Інтернеті на швидкості до 100 Мбіт в секунду.

Всі функціонуючі та плановані підключення по локальній мережі відображені в планах 2-го та 3-го поверхів, які наведені у додатку Б. Структурні схеми мережі підприємства для 2-го та 3-го поверхів наведені на рисунку 4.5.

На підприємстві застосовується 8 одиниць мережевого обладнання, серед яких 2 маршрутизатора та 6 комутаторів – вся інформація по пристроях показана у таблиці 4.5.

Топологія локальної мережі компанії – багаторівнева зірка.

Використовуваний дрiт: кручена пара категорії 5е, яка дозволяє передавати сигнал на швидкості до 100 Мбіт в секунду.

Інформація про внутрішній будові мережі, та дані по кожному абоненту, були надані замовником та включала:

- пристрій, до якого виконане підключення;
- протяжність дроту від обладнання до комп'ютера.

Головною вимогою до модернізації КМ підприємства є вдосконалення топології КМ з метою усунення проблем, пов'язаних з вимиканням окремих сегментів мережі при вимиканні комутаторів. Нова топологія КМ повинна передбачити більш раціональне підключення комп'ютерів та мережевого обладнання, яке надасть можливість зробити мережу краще масштабованою та керованою.

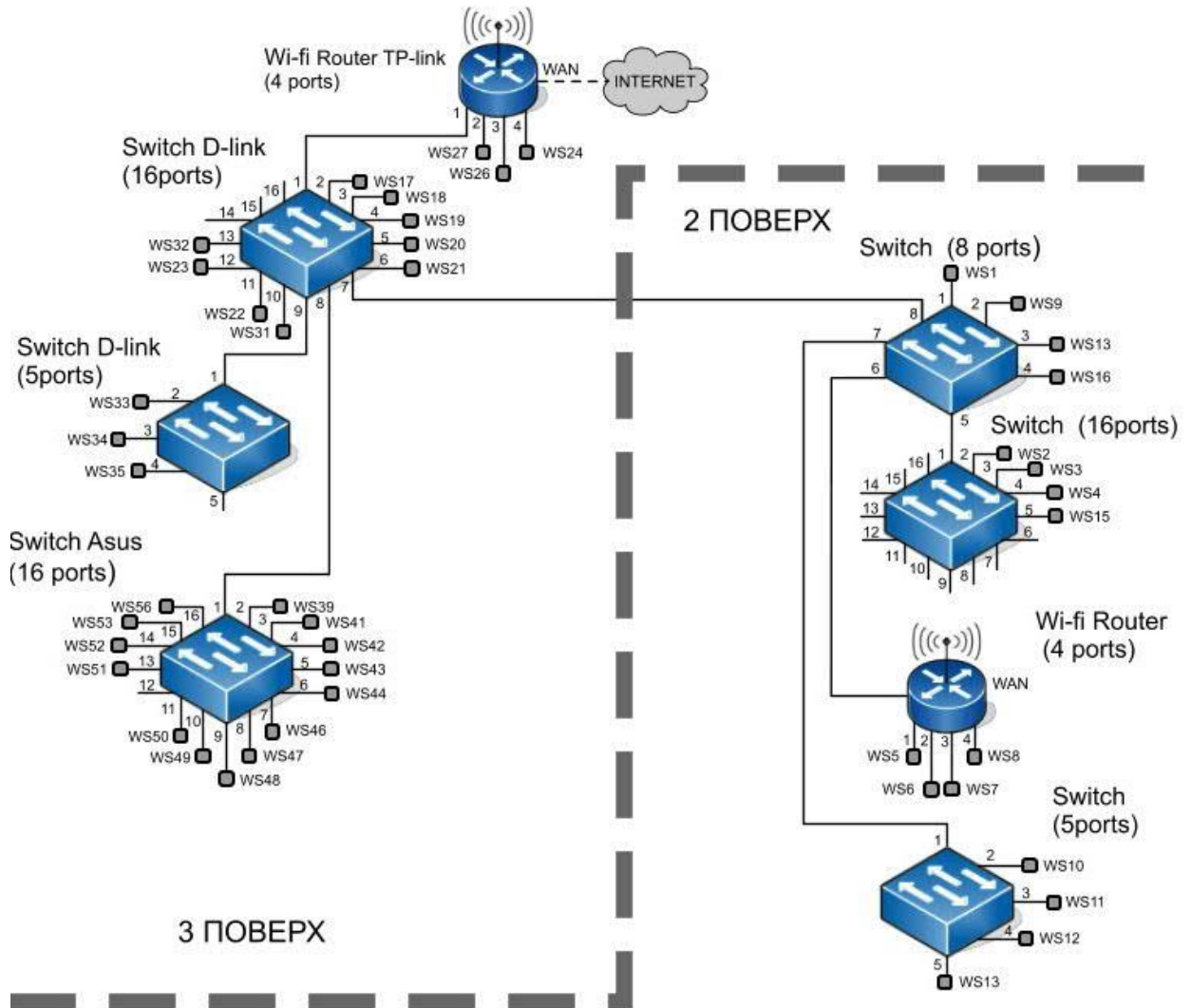


Рисунок 4.5 – Структурна схема мережі підприємства організації для 2-го та 3-го поверхів

4.3 Побудова технічної моделі

В 9-поверховому будинку встановлюється структурована кабельна система (СКС) офісного призначення, відповідно на 2-му та 3-му його поверхах, планування яких, зображено у додатку А. Висота поверху між перекриттями становить 3 метра, загальна товщина міжповерхових перекриттів дорівнює 50 см.

Створювана СКС повинна забезпечити функціонування обладнання КМ. СКС призначена для створення звичайної мережі зв'язку та по ній передбачається передача інформації, яка не відноситься до розряду конфіденційної.

Таблиця 4.6 – Інформація про поточне мережеве обладнання КМ підприємства

Підключення обладнання	Протяжність дроту, м	Обладнання	Номер порту	Розташування
Обладнання 3-го поверху				
Wi-Fi Маршрутизатор TP-link (4 ports) – Комутатор D-link (16 ports)	25	Wi-Fi Маршрутизатор TP-link (4 ports)	1	каб._314
Комутатор Д-Лінк (16 ports) – Комутатор Asus (16 ports)	35	Комутатор Д-Лінк (16 ports)	8	каб._319
Комутатор Д-Лінк (5 ports) – Комутатор Д-Лінк (16 ports)	4	Комутатор Д-Лінк (5 ports)	1	каб._311
Обладнання 2 поверху				
Комутатор PS2208 (8 ports) – Комутатор Д-Лінк (16 ports)	4	Комутатор PS2208 (8 ports)	8	каб._203
Wi-Fi Маршрутизатор TP-link (4 ports) – Комутатор PS2208 (8 ports)	7	Wi-Fi Маршрутизатор TP-link (4 ports)	WAN	каб._203
Комутатор Canyon (5 ports) – Комутатор PS2208 (8 ports)	10	Комутатор Canyon (5 ports)	1	каб._205

Зі структури організації, яка експлуатуватиме кабельну систему відразу після завершення її будівництва, та технічних вимог випливає, що функціонування КМ замовника пов'язано з обробкою та передачею достатньо великих обсягів інформації в процесі вирішення декількох типових завдань.

У коридорах та в робочих приміщеннях будівельним проектом будівлі для розміщення користувачів передбачена установка підвісної стелі з висотою вільного простору 40 см. За фальшстелею є достатньо вільного місця для розміщення лотків для прокладки дротів різного призначення.

На 2-му поверсі будівлі відповідно з планом є 9 робочих приміщень, призначених для розміщення користувачів. Дані по площі цих приміщень зведені в таблицю 4.6. На 3-му поверсі розміщено 17 робочих приміщень для розміщення користувачів. Дані по площі цих приміщень зведені в таблицю 4.7. Відповідно до положень для будівлі офісного призначення припускаємо установку по одному блоку розеток переважно на кожні 4м² робочої площі. Додатково для збільшення зручності обслуговування та експлуатаційної гнучкості інформаційно-обчислювальної системи в цілому передбачаємо по три блоки розеток в кожному технічному приміщенні на поверхах будівлі, тобто на другому поверсі необхідно встановити 16 блоків розеток, на третьому поверсі – 42 блоків розеток, а всього в будівлі – 58 блоків розеток.

Таблиця 4.7 – Приміщення на 2-му поверсі будівлі

Кабінет номер	Площа, м ²	Кількість IP
201	9,16	2
203	33,12	4
204	17,16	1
205	17,42	4
206	15,47	1
207	27,78	1
208	28,51	1
209	9,44	1
210	10,32	1

Визначившись з кількістю користувачів, необхідними інтерфейсами, каналами зв'язку, підготуємо схему мережі та IP-план.

При проектуванні мережі будемо дотримуватися ієрархічної моделі мережі, яка має багато переваг в порівнянні з «пласкою мережею»:

- спрощується розуміння організації мережі;
- модель передбачила модульність, що означає простоту нарощування потужностей саме там, де необхідно;
- легше знайти та ізолювати проблему;
- підвищена відмовостійкість за рахунок дублювання пристроїв та/або з'єднань;
- розподіл функцій щодо забезпечення працездатності мережі по різних пристроям.

Таблиця 4.8 – Приміщення для розміщення інформаційних розеток на 3-му поверсі будівлі

Номер кабінету	Площа, м ²	Кількість IP
303	9,82	1
304	9,51	2
305	43,26	5
306	7,46	1
307	39,35	4
308	34,15	4
309	18,7	4
310	16,31	1
311	34,24	6
312	12,19	2
313	12,30	2
314	10,52	3
315	11,24	1
316	11,05	2
317	25,27	2
318	31,80	5
319	14,19	1

Отже, мережа розбивається на три логічних рівня:

- 1) ядро мережі (Core layer) – високопродуктивні пристрої, головне призначення – швидкий транспорт;
- 2) рівень поширення (Distribution layer) – забезпечує застосування політик безпеки, QoS, агрегацію та маршрутизацію, визначив широкомовні

домени;

3) рівень доступу (Access-layer), як правило, L2 свічі, призначення – підключення кінцевих пристроїв, маркування трафіку для QoS, захист від кілець в мережі (STP) та широкомовних штормів, забезпечення живлення для PoE пристроїв.

Приблизна схема мережі підприємства представлена на рисунку 4.6.

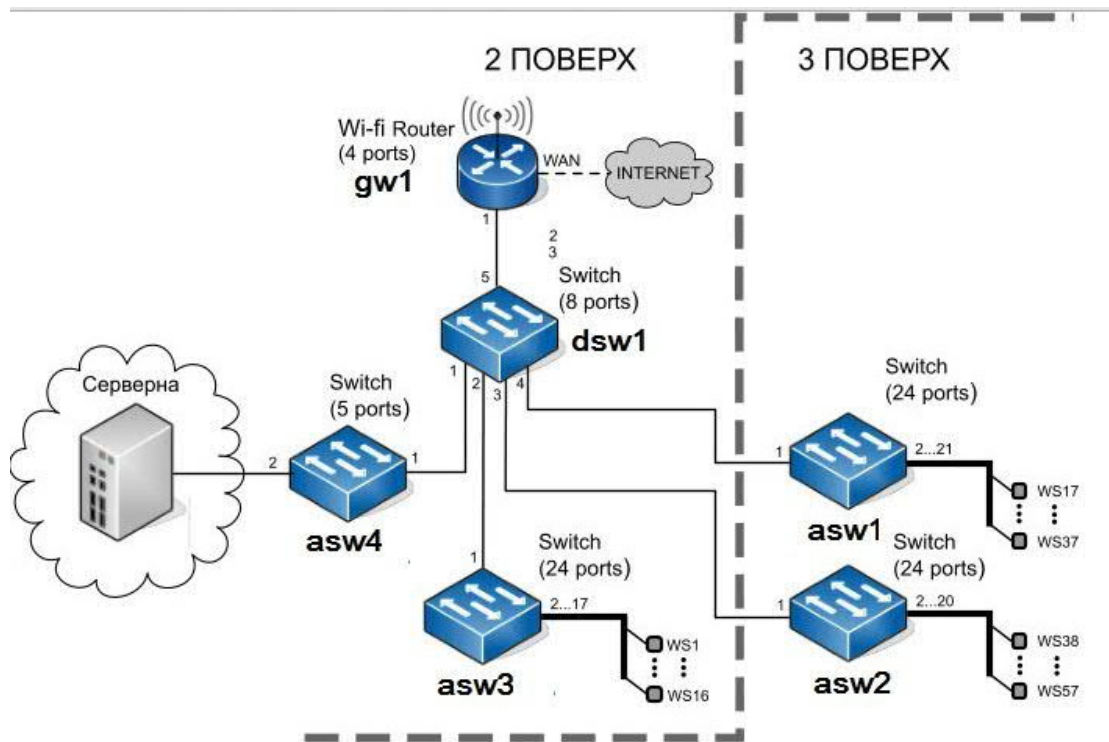


Рисунок 4.6 – Схема комп'ютерної мережі підприємства

На представленій схемі ядром (Core) буде маршрутизатор Д-Лінк DIR 651, комутатор Д-Лінк DES-1100-10P віднесемо до рівня розповсюдження (Distribution), оскільки на ньому агрегуються всі VLAN в загальний транк. Комутатори Д-Лінк DES-1100-26 та DGS-1100-05 будуть пристроями доступу (Access). До них будуть підключатися кінцеві користувачі, офісна техніка, сервера. Вся інформація про підключення даних пристроїв показана у таблиці 4.9.

Іменувати пристрої будемо відповідно до їх ролей та місця розташування вибираємо hostname:

- Маршрутизатор DIR 651: gw1 (GateWay) – шлюз;
- Комутатор DES-1100-10P: dsw1, (dsw – Distribution комутатор);

- Комутатори DES-1100-26 та DGS-1100-05: asw1...asw3, asw4 (asw – Access комутатор).

Місце розташування мережевого обладнання на план-схемі будівлі для го та 3-го поверхів представлені у додатку Ф.

Далі підготуємо технічну документацію мережі щодо адресації та фізичного підключення, а також докладний опис обраного обладнання.

Таблиця 4.9 – Інформація про мережеве обладнання відповідно проекту

Підключення обладнання	Протяжність дроту, м	Обладнання	Розташування
mgw1(4 ports) – mdsw1 (8 ports)	2	Wi-Fi Маршрутизатор Д-Лінк DIR 651 (4 ports)	каб. 201
mdsw1 (8 ports) – masw4 (5 ports)	2	Комутатор Д-Лінк DES- 1100-10P (8 ports)	каб. 201
masw1 (26 ports) – mdsw1 (8 ports)	15	Комутатор Д-Лінк DES- 1100-26 (24 ports)	каб. 314
masw2 (26 ports) – mdsw1 (8 ports)	48	Комутатор Д-Лінк DES- 1100-26 (24 ports)	каб. 307
masw3 (26 ports) – mdsw1 (8 ports)	4	Комутатор Д-Лінк DES- 1100-26 (24 ports)	каб. 203
Всього	71	Комутатор Д-Лінк DGS- 1100-05 (5 ports)	каб. 201

4.3.1 Документація мережі

Вся мережа повинна бути строго документована: від принципової схеми, до імені інтерфейсу. Перш, ніж приступити до налаштування, наведемо список необхідних документів та дій:

- схеми мережі L1, L2, L3 відповідно до рівнів моделі OSI (фізичний, каналний, мережевий);
- список VLAN;

- підписи (description) інтерфейсів;
- план IP-адресації;
- список пристроїв (для кожного потрібно вказати: модель, список інтерфейсів, встановлену версію IOS, обсяг RAM\NVRAM,).

Зрозуміло, всі зміни мережі потрібно вносити в документацію та конфігурацію, щоб вони були в актуальному стані. Підготуємо потрібні документи. Для нашого проекту мережі, враховуючі її структуру, буде потрібний не весь перелік документації, але обов'язковим для налаштування мережі є список VLAN та план IP-адресації. За наявності малої кількості мережевого обладнання, обмежимося лише словесним його описом. У таблиці наведений список VLAN, а план IP-адресації представлений в таблиці 4.11.

Таблиця 4.10 – Перелік VLAN

№ VLAN	Імя VLAN	Примітка
1	default	Не застосовується
2	Management	Для керування пристроями
3	Service	Для серверної
4-100		Зарезервовано
101	TEB	Для користувачів Відділу продажу
102	Economy	Для користувачів Відділу Економіки
103	Accounting	Для користувачів Відділу бухгалтерського обліку та звітності
104	Other	Для інших користувачів

Таблиця 4.11 – План IP-адрес

IP-адреса	Примітка	VLAN
192.16.0.0/24	Серверна	2
192.16.0.1	Шлюз	
192.16.0.2	Веб	
192.16.0.3	File	
192.16.0.4	Mail	
192.16.0.5 – 192.16.0.254	Зарезервовано	
192.16.1.0/24	Керування	3
192.16.1.1	Шлюз	
192.16.1.2	mdswl	
192.16.1.3	maswl	

Продовження таблиці 4.11

192.16.1.4	masw2	
192.16.1.5	masw3	
192.16.1.6	masw4	
192.16.1.6 – 192.16.1.254	Зарезервовано	
192.16.3.0/24	Департамент продажу	201
192.16.3.1	Шлюз	
192.16.3.2 – 192.16.3.254	Список для користувачів	
192.16.4.0/24	Департамент Економіки	202
192.16.4.1	Шлюз	
192.16.4.2 – 192.16.4.254	Список для користувачів	
192.16.5.0/24	Департамент бухгалтерського обліку	203
192.16.5.1	Шлюз	
192.16.5.2 – 192.16.5.254	Список для користувачів	
192.16.6.0/24	Інші користувачі	204
192.16.6.1	Шлюз	
192.16.6.2 – 192.16.6.254	Список для користувачів	

Кожна група буде виділена в окремий VLAN. Також введемо спеціальний VLAN для керування пристроями. Номери VLAN з 4 по 100 зарезервовані для майбутніх потреб. Виділення підмереж довільне, кореспондує тільки числу вузлів в даній локальній мережі з урахуванням можливого зростання. Всі підмережі мають стандартну маску /24 (255.255.255.0).

4.3.2 План підключення обладнання

Для мережі були обрані: маршрутизатор Д-Лінк DIR 651, комутатори: Д-Лінк DES-1100-10P, DES-1100-26 та DGS-1100-05. Зрозуміло, зараз є комутатори з портами 1Gb Ethernet, є комутатори з 10Gb та навіть 40Gb, в розробці знаходиться 100Gb. Відповідно, вибір комутаторів та маршрутизаторів виконується відповідно потребам та бюджету організації. План підключення обладнання по портах наведено в таблиці 4.12.

Наведемо короткі технічні характеристики обраного проміжного мережевого обладнання.

Маршрутизатор Д-Лінк DIR 651. Бездротовий гігабітний маршрутизатор Д-Лінк DIR 651 (рисунок 4.7) призначений для невеликих офісів, що підтримує невелику кількість мережних закінчень. Маршрутизатор може виконувати функції

базової станції для підключення до бездротової мережі пристроїв, що працюють за стандартами 802.11b, 802.11g та 802.11n (зі швидкістю до 300 Мбіт/с).



Рисунок 4.7 – Маршрутизатор Д-Лінк DIR 651

Таблиця 4.12 – План підключення по портах проміжних мережевих пристроїв

Ім'я пристрою	Порт	Назва	VLAN	
			Access	Trunk
mgw1	FE0/0	UpLink		
	FE0/1	mdsw1		2,3,101,102,103,104
mdsw1	FE0/5	mgw1		2,3,101,102,103,104
	FE0/3	masw2		102,2,104
	FE0/2	masw3		2, 103, 104
	FE0/1	masw4		2,3
	FE0/4	masw1		2,101,104
masw4	FE0/1	mdsw1		2,3
	FE0/2	Mail-Service	3	
	FE0/3	Веб-service	3	
	FE0/4	File-service	3	
masw3	FE0/1	mdsw1		2,103,104
	FE0/2-FE0/15	Accounting	103	
	FE0/16-FE0/24	Other	104	
masw1	FE0/1	mdsw1		2,101,104
	FE0/1-FE0/5	TEB	101	
	FE0/16-FE0/24	Other	104	
masw2	FE0/1	mdsw1		102,2,104
	FE0/2-FE0/15	Economy	102	
	FE0/20	Administrator	104	

У маршрутизаторі реалізована безліч функцій для бездротового інтерфейсу. Пристрій підтримує декілька стандартів безпеки (WEP, WPA/ WPA2), фільтрацію пристроїв, що підключаються по MAC-адресу, а також дозволяє використовувати технології WPS та WMM.

Крім того, пристрій обладнаний кнопкою для виключення/включення Wi-Fi-мережі. У разі необхідності, є можливість вимкнути бездротову мережу маршрутизатора одним натисканням на кнопку, при цьому пристрої, підключені до LAN-портів маршрутизатора, залишаться в мережі.

Маршрутизатор DIR-651 оснащений вбудованим фаєрволом. Має вбудований 4-портовий комутатор, що дозволяє підключати комп'ютери, оснащені Ethernet-адаптерами.

Розширені функції безпеки дозволяють мінімізувати наслідки дій хакерів та запобігають вторгнення в мережу та доступу до небажаних сайтів для користувачів КМ.

Для налаштування бездротового маршрутизатора DIR-651 застосовується простий та зручний вбудований Веб-інтерфейс (доступний на декількох мовах). Детальні характеристики маршрутизатора DIR-651 наведені в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Важливі характеристики маршрутизатора DIR-651

Характеристики	Параметри	Значення
Апаратне забезпечення	Інтерфейси	Порт WAN 10/100/1000BASE-T 4 порта LAN 10/100/1000BASE-T
Програмне забезпечення	Типи підключення WAN	PPPoE, статичний IP / динамічний IP PPTP/L2TP
	Мережні функції	DHCP-сервер/relay, DNS relay, Dynamic DNS, статична IP-маршрутизація, функція VLAN
	Мережний екран	NAT, IP-фільтр, MAC-фільтр, функція захисту від ARP- та DDoS-атак
Параметри бездротового модуля	Стандарти	IEEE 802.11b/g/n
	Діапазон частот	2400 ~ 2483,5 МГц
	Безпека безпроводного з'єднання	WEP, WPA/WPA2 (Personal/Enterprise), MAC-фільтр, WPS (PBC/PIN)
	Швидкість безпроводного з'єднання	IEEE 802.11b: 2, 5,5 та 11 Мбіт/с IEEE 802.11g: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 та 54 Мбіт/с IEEE 802.11n: от 6,5 до 300 Мбіт/с

Продовження таблиці 4.13

Фізичні параметри	Розміри	147,5 x 113 x 31,5 мм
	Вага	218 г
Умови експлуатації	Живлення	5 В постійного тока, 2,5 А
	Температура	Робоча: от 0 до 40 °С Зберегання: от -20 до 65 °С
	Вологість	від 10% до 90% (без конденсату)

Комутатор Д-Лінк DES-1100-10P. Комутатор DES-1100-10P (рисунок 4.8) оснащений 8 портами 10/100Base-TX з підтримкою PoE та 2 комбо-портами 100/1000Base-T/SFP. Комутатор DES-1100-10P підтримує розширені функції керування та безпеки та являє собою комплексне рішення для підприємств малого та середнього бізнесу.



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд комутатора Д-Лінк DES-1100-10P

Комутатор DES-1100-10P підтримує стандарт IEEE 802.3at PoE. Кожен порт PoE подає живлення потужністю до 30 Вт при загальному бюджеті комутатора 90 Вт, що дозволяє користувачам підключати до DES - 1100-10P пристрої, сумісні зі стандартом 802.3at. Це дозволяє розміщувати обладнання в труднодоступних місцях незалежно від розташування електричних розеток та мінімізувати прокладку дроту. Якщо пристрій не підтримує PoE, використовуйте адаптер DKT-50, який дозволяє розділити живлення та дані, що надходять по Ethernet-дроту PoE від комутатора.

Комутатор DES-1100-10P підтримує повний набір функцій рівня 2, включаючи Port Mirroring, Spanning Tree та Link Aggregation Control Protocol (LACP). Комутатор підтримує функцію діагностики дроту та функцію Loopback Detection. Функція Loopback Detection застосовується для визначення петель та автоматичного відключення порту, на якому виявлено петля.

Комутатор DES-1100-10P підтримує розширені функції керування трафіком та продуктивністю. Функція контролю смуги пропускання дозволяє мережевим адміністраторам визначати максимальну пропускну здатність для кожного порту та задавати обмеження вхідного/ вихідного трафіку з кроком до 512 кбіт/с. IEEE 802.1p Quality of Service (QoS) забезпечує класифікацію трафіку в реальному часі на 8 рівнів пріоритетів та дві черги.

Комутатор DES-1100-10P підтримує 802.1Q VLAN та VLAN на основі порту. Функція захисту від шторму необхідна для обмеження до заданого порогу широкомовного, багатоадресного або невідомого одно адресного трафіку. Комутатор блокує або відкидає пакети, що потрапляють під дію даного обмеження, так як велика кількість такого трафіку може призвести до перевантаження мережі.

Використання Веб-інтерфейсу керування та утиліти SmartConsole дозволяє адміністраторам дистанційно керувати мережею на рівні портів. Утиліта SmartConsole підтримує функції автоматичного виявлення та відображення на екрані комутаторів Д-Лінк серії Веб Smart, що належать одному та тому ж сегменту мережі L2. Веб-інтерфейс забезпечує доступ до комутатора з будь-якої точки мережі без необхідності введення IP-адреси або маски підмережі, що дозволяє здійснити всі необхідні налаштування та базову установку знайдених пристроїв, включаючи зміну пароля та оновлення програмного забезпечення.

Комутатор Д-Лінк DES-1100-24. Комутатор DES-1100-26 з 24 портами 10/100 Мбіт/с та 2 гігабітними комбо-портами (рисунок 4.9), дозволяє легко та швидко розгорнути мережу завдяки простому управлінню за допомогою утиліти SmartConsole або через Веб-інтерфейс. Комутатор серії DES-1100 є закінченим та недорогим рішенням для розгортання мереж підприємств, наприклад, для філій та приміщень для ділових зустрічей, де потрібно просте керування.

Функції керування включають керування на основі Веб-інтерфейсу та утиліту SmartConsole. Дана лінійка комутаторів також підтримує ряд функцій рівня 2, включаючи Port Mirroring, Статистику та IGMP Snooping для скорочення багатоадресного трафіку та збільшення продуктивності мережі.



Рисунок 4.9 –Комутатор Д-Лінк DES-1100-26

Всі моделі комутаторів виконані в компактному металевому корпусі та оснащені інноваційною пасивною системою охолодження.

Лінійка комутаторів EasySmart дозволяє більш ефективно заощаджувати електроенергію в порівнянні з іншими моделями – на 10.7%, ніж звичайний некерований комутатор Д-Лінк. Це дозволяє економніше експлуатувати пристрій. Крім того, це дозволяє комутаторів EasySmart включати вентилятори та працювати в тихому режимі, як результат, пристрої мають більш тривалий термін служби.

Комутатори підтримують ряд функцій рівня 2, включаючи IGMP Snooping та віддзеркалення портів. Також дана лінійка підтримує функцію визначення Loopback Detection. Функція Loopback Detection застосовується для визначення петель та автоматичного відключення порту, на якому виявлено петля. Лінійка комутаторів DES-1100 підтримує стандарт 802.1p (QoS), який дозволяє здійснювати класифікацію трафіку в реальному часі на 8 рівнів пріоритетів та 2 черги.

Комутатори серій DES-1100 підтримують функції 802.1Q VLAN та VLAN на основі порту. Функція контролю смуги пропускання дозволяє мережевим адміністраторам визначити рівень пропускну здатності для кожного порту. Функція дозволяє задавати обмеження вхідного/вихідного трафіку з кроком до 512 кбіт/с. Контроль шторму необхідний для обмеження широкомовного, багатоадресного або невідомого одноадресного трафіку в разі перевищення заданого порогу. Комутатор блокує або відкидає пакети, велика кількість яких можуть призвести до перевантаження мережі.

Віддзеркалення портів допомагає адміністраторам полегшити діагностику трафіку або відслідковувати продуктивність комутатора та змінювати при необхідності.

EasySmart комутатори надають просте та легке керування мережею за допомогою утиліти SmartConsole або через Веб-інтерфейс, що забезпечує віддалене керування мережею на рівні портів. Утиліта SmartConsole дозволяє користувачам виявити кілька комутаторів Д-Лінк Веб Smart в одному та тому ж сегменті мережі L2. Використання даної утиліти виключає необхідність змінювати IP-адресу комп'ютера та забезпечує легку початкову установку комутаторів Smart. Комутатори, що належать одному та тому ж сегменту мережі та підключення до локального комп'ютера користувача, відображаються на екрані з можливістю негайного доступу. При цьому доступні розширені налаштування конфігурації та основні налаштування виявлених пристроїв, наприклад, зміна пароля та оновлення програмного забезпечення.

Комутатор Д-Лінк DGS-1100-05. Комутатор DGS-1100-05 (рисунок 4.10) є недорогим рішенням для підприємств малого та середнього бізнесу, а також для організації мережі підприємств, наприклад, для філій та приміщень для ділових зустрічей, де потрібно просте керування. Модель поставляється в компактному металевому корпусі та оснащена 5 портами 10/100/1000Base-T.

Комутатори DGS-1100 забезпечують стандарт IEEE802.3az Energy Efficient Ethernet, споживаючи менше електроенергії при невеликому обсязі трафіку. Комутатори EasySmart підтримують керування за допомогою утиліти SmartConsole або через Веб-інтерфейс.



Рисунок 4.10 –Комутатор Д-Лінк DGS-1100-05

Комутатори DGS-1100 підтримують технологію Surveillance VLAN для організації відеоспостереження. Surveillance VLAN призначає відео-трафіку високий пріоритет та окремий VLAN, забезпечуючи високоякісне відеонагляд та

передачу даних через один DGS-1100 комутатор, зменшуючи витрати, пов'язані з придбанням додаткового обладнання. Крім того, функція керування смугою пропускання дозволяє зарезервувати смугу пропускання для різних додатків, що вимагають високої пропускну здатності, або забезпечити їм максимальний пріоритет.

Комутатори підтримують Loopback Detection функцію та діагностику дроту, що дозволяє мережевим адміністраторам швидко та легко знаходити та усувати проблеми в мережі. Функція Loopback Detection застосовується для виявлення петель та автоматичного відключення порту, на якому виявлено петля. Функція діагностики дроту призначена для визначення типів мідних дротів, а також типу несправності дроту.

Комутатори DGS-1100 підтримують розширені функції безпеки, такі як Static MAC, захист від шторму та IGMP Snooping. Функція Static MAC дозволяє створити «білий» список MAC-адрес, що дозволяє доступ тільки авторизованим пристроям. Функція IGMP Snooping дозволяє скоротити кількість багатоадресного трафіку та збільшити продуктивність мережі.

4.4 Імітаційне моделювання мереж

Для перевірки запропонованих налаштувань мережі виконаємо її моделювання в мережному симуляторі Cisco – Packet Tracer 7. Даний симулятор підтримує створення GRE-тунелів, протоколів динамічної маршрутизації (та в їх числі навіть BGP). При цьому він дуже простий в освоєнні та має в своєму арсеналі сервера (TFTP, FTP, HTTP, DHCP, DNS, NTP, SMTP, POP3, RADIUS), робочі станції та комутатори.

Схема мережі для імітаційного моделювання в Packet Tracer показана у додатку Г. Всі налаштування мережі були проведені відповідно до технічного плану відповідно даним таблицях 4.9 – 4.11.

Симулятор підтримує лінійку мережевого обладнання Cisco, але має компоненти та модулі для створення пристроїв довільної конфігурації. Вони були використані в моделі для симуляції роботи комутаторів Д-Лінк.

Після підключення всіх абонентів та устаткувань мережі, кожному абоненту були надані IP-адреса, маска та адреса шлюзу відповідно до таблиці 4.10. В портах комутаторів влаштовані VLAN відповідно до таблиці 4.9.

На інтерфейсах прописані IP-адреси та маски. Для перевірки працездатності мережі виконано команду ping між вузлами мережі.

ВИСНОВКИ

Реалізовано комп'ютерну модель оптимізації структури мережі, яка може включати такі критерії як вартість, надійність, пропускна здатність та інтенсивність відмов з відповідними обмеженнями.

Описані особливості інтерфейсу підсистеми розв'язку задач багатокритеріальної оптимізації та алгоритм їх рішення з допомогою розробленої підсистеми.

1. Проаналізовано варіант математичної моделі, керування трафіком в бездротових мережах і розроблена методика проектування бездротових мереж в освітніх установах;

2. Використано математичні моделі раціонального адміністрування потоків користувачів в бездротових мережах, використовуваних в організації освітнього процесу;

3. Розроблено алгоритм керування потоками змішаного типу при проведенні масових заходів з використанням бездротових мереж;

4. Розроблено практичні рекомендації щодо складання розкладів при проведенні масових заходів, що забезпечують раціональний режим використання обладнання бездротових мереж;

5. Створено комплекс програм, який містить чисельний алгоритм, заснований на математичній моделі СМО, отриманої в даній роботі;

6. Отримані результати можуть бути використані для оцінки функціонування існуючих систем подібної структури, а також при розробці проектів модернізації або будівництва об'єктів, що працюють за принципом систем масового обслуговування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чистяков, В. А. Аналіз технологій бездротової передачі даних / В. А. Чистяков, Б. Є. Миктибаєв, А. Б. Жанбеков // Журнал наукових і прикладних досліджень. - 2016. - №1. - С. 166-169.
2. Джим, Г. Бездротові мережі. Перший крок (Cisco) / Джим Гейер // М.: Вільямс, 2005. - 192 с.
3. Беделл, П. "Мережі. Бездротові технології" / П. Беделл // М.: НТ Пресс, 2008. - 448с.
4. Свердлова, А. А. Огляд сучасних технологій бездротового зв'язку
5. / А. А. Свердлова, А. Ю. Шмирін, С. В. Яковлєв С. В. // Студентська наука для розвитку інформаційного суспільства. Збірник матеріалів III Всеросійської науково-технічної конференції. - 2015. - С. 92- 94.
6. Вишневський, В.М. Широкосмугові бездротові мережі передачі інформації / В.М. Вишневський, А.І. Ляхов, С.І. Кравець, І.В. Шахновіч // М.: Техносфера, 2005. - 591с.
7. Chaloo, R. An overview and assessment of wireless technologies and co-existence of ZigBee, Bluetooth and Wi-Fi devices / R. Chaloo, A. Oladeinde, N. Yilmazer, S. Ozcelik, L. Chaloo // Procedia Computer Science. - 2012. - Т. 12. - С.386-391.
8. Lee, JS "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi" / JS Lee, YW Su, CCA Shen // Industrial Electronics Society, 2007. IECON 2007. 33rd Annual Conference of the IEEE. - IEEE, 2007. - С.46-51.
9. Стрельников, А. Ю. Технологія бездротової передачі даних Wi-Fi / А. Ю. Стрельников, С. А. Страмоусова // Молодий вчений. - 2016.- №9-4 (113). - С. 67-69.
10. Нікольський, В.В. Електродинаміка та поширення радіохвиль / В.В. Нікольський, Т.І. Нікольська // М.: Наука, 1989. - 543 с.
11. Gerla, M. Multicluster, mobile, multimedia radio network / Mario Gerla, Jack Tzu-Chieh Tsai // Wireless networks. 1995. №1. - p. 255-265.

12. Gerla, M. Landmark Routing for Large Ad Hoc Wireless Networks / M. Gerla, X. Hong, and G. Pei // Proc. IEEE GLOBECOM. 2000. -№11.
13. Gupta, P. Capacity of wireless networks. / P. Gupta and PR Kumar // IEEE Transactions on Information Theory. 2000. - Volume 46, Issue 2.
14. На́мїот, Д. Є. Розумні міста 2016 /Д.Е. На́мїот // International Journal of Open Information Technologies. - 2016. - Т.4. - №.1. С. 1-3.
15. Мішин, Я.А. Про системи автоматизованого проектування в бездротових мережах / Я.А. Мішин // Вісник Воронежського інституту високих технологій. 2013. № 10. С. 153-156.
16. Максимова, А. А. Оптимізація бездротових мереж зв'язку на основі методів штучного інтелекту / А.А. Максимова, В.М.Кострова, А.А. Андросов // Моделювання, оптимізація та інформаційні технології.2016. №2. С.185-190; <https://moit.vivt.ru/?p=3559&lang=ru>.
17. Li, J. Capacity of ad hoc wireless networks / Jinyang Li, Charles Blake, Douglas SJ De Couto, Hu Imm Lee, Robert Morris // Proceedings of the 7th annual International conference on Mobile computing and networking.- ACM, Rome. 2001. - С. 61-69.
18. Trends in Telecommunication Reform 2016: Regulatory Incentives to Achieve Digital Opportunities URL: <http://www.itu.int/en/publications/ITU-D/Pages/default.aspx> Sorensen, L. "Use scenarios 2020 року - a worldwide wireless future. Visions and research directions for the Wireless World. " Outlook / L. Sorensen, KE Skouby // Wireless World Research Forum. № 4. July 2009.
19. Osseiran, A. The foundation of the mobile and wireless communications system for 2020 and beyond: Challenges, enablers and technology solutions / A. Osseiran, V.Braun, H. Taoka, P. Marsch, H. Schotten, H. Tullberg, MAUusitalo, M.Schellman // Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2013 IEEE 77th. - IEEE, 2013. - С. 1-5.
20. Гольдштейн, Б.С. Мережі зв'язку: Підручник для вузів. СПб. / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновський // БХВ-Петербург, 2010. - 400 с.
21. Osseiran, A. Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project / A. Osseiran, F. Boccardi, V. Braun, K. Kusume, P. Marsch, M.

Maternia, O. Queseth, M. Schellmann, H. Schotten, H. Taoka, H. Tullberg, MA Uusitalo, B. Timus and M . Fallgren // IEEE Communications Magazine. - 2014. - Т. 52. - №. 5. - С. 26-35.

22. Pei, Jie-fu Wireless sensor forest anti-fire network simulation based on NS2 / Pei Jiefu, Gao Lin, and Zhao Yan-dong. // In 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009., 8-11 2009. doi: 10.1109 / ICCSIT.2009.5234944, PP. 300 -303.

23. Sarkar, NI Teaching Wireless Network Fundamentals Using Low-Cost Wi-Fi Devices / NI Sarkar // Revolutionizing Education through Веб- Based Instruction. - 2016. - С. 281.

24. Бакитом, А. Б. Технологія широкосмугового бездротового доступу / А. Б. Бакитом, Ян. А. Ратахін, Ж. К. Ташенова // Актуальні питання технічних наук. Матеріали III Міжнародної наукової конференції. - 2015. - С. 41-43.

25. Murat, U. Cooperative communications for improved wireless network transmission: framework for virtual antenna array applications / Murat Uysal // Hershey, PA: Information Science Reference, 2010. - 608p.

26. Березький О.М., Дубчак Л.О., Мельник Г.М. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Магістр”. Спеціальність: 123 - Комп’ютерна інженерія. Магістерська програма - Комп’ютерна інженерія"/ Під ред. О.М. Березького. Тернопіль:ЗУНУ,2020.32 с.

27. Гураль І.В., Дубчак Л.О. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів, звітів про проходження практики, випускних кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Комп’ютерна інженерія»/Під ред. О.М. Березького. Тернопіль: ТНЕУ, 2019. 33 с.