

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи побудови широкосмугових мереж доступу

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи СІм-61
спеціальності _____

123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Войтович Я.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лупенко А.М.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тим С.В.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри

_____ Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
 « » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр _____
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(шифр і назва спеціальності)

студенту Войтович Яна Олександрівна _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи побудови ширококутних мереж доступу

Керівник роботи Лупенко А.М., доктор технічних наук, професор кафедри КС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи методи розвитку ширококутних мереж доступу

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Огляд технологій ширококутних мереж доступу. 2. Розрахункова частина.

3. Експериментальна частина. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки

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

1. Актуальність і мета дослідження.
2. Задачі дослідження, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження.
3. Залежність загасання сигналу від відстані. Представлені також неоднорідності вздовж лінії
4. Залежність допустимого навантаження на розтяг конструкції оптичного кабелю від поздовжньої деформації розтягування
5. Залежність величини кумулятивної небезпеки від часу
6. ВИСНОВКИ

АНОТАЦІЯ

Методи побудови широкосмугових мереж доступу // Кваліфікаційна робота // Войтович Яна Олександрівна //

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем та програмної інженерії, кафедра комп'ютерних систем та мереж, група СІмз-61 // Тернопіль, 2022 // с. – , рис. – 20, табл. – 10, додат. – 1, бібліогр. – 54.

Ключові слова: ШИРОКОСМУГОВА МЕРЕЖА, ОПТИЧНІ МЕРЕЖІ, DSL, PON.

У кваліфікаційній роботі розглянуті методи розвитку широкосмугових мереж доступу: мобільний та фіксований зв'язок. Мобільний бездротовий зв'язок представлений технологіями W-CDMA та WiMax.

Фіксований наземний зв'язок представлений оптичними мережами зв'язку PON та на базі мідних кабелів xDSL. У роботі проведено експериментальні дослідження та представлено розрахункову частину по оптичних кабелях.

Результати роботи можуть бути використанні в технологічній сфері діяльності.

ANNOTATION

Methods of building broadband access networks // Qualification work // Yana Oleksandrivna Voytovych //

Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Systems and Networks, SIMZ-61 group // Ternopil, 2022 // p. - , Fig. - 10, tab. - 10, , add. – 1, bibliography - 31.

Keywords: BROADBAND NETWORK, OPTICAL NETWORKS, DSL, PON.

Methods of development of broadband access networks are considered in the qualification work: mobile and fixed communication. Mobile wireless communication is represented by W-CDMA and WiMax technologies.

Fixed terrestrial communication is represented by PON optical communication networks and based on xDSL copper cables. In the work, experimental research was carried out and the calculation part for optical cables was presented.

The results of the work can be used in the technological field of activity.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ

LAN (Local Area Network) - Локальна комп'ютерна мережа.

DSL (Digital Subscriber Line) - Сімейство технологій, що дають змогу значно розширити пропускну здатність абонентської лінії місцевої телефонної мережі шляхом використання ефективних лінійних кодів і адаптивних методів корекції викривлень лінії на базі сучасних досягнень мікроелектроніки і методів цифрової обробки сигналу.

OAN (Optical Access Networks) - Оптичні мережі доступу.

PON (Passive optical network) – Технологія пасивних оптичних мереж.

W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) - Широкопasmуговий множинний доступ із кодовим розподілом каналів.

WiMax - Worldwide Interoperability for Microwave Access - Стандарт IEEE 802.16 бездротового зв'язку.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ	11
1.1 Аналіз методів розвитку широкосмугових мереж доступу	11
1.1.1 Пакутий доступ WCDMA.....	11
1.2 Бездротовий доступ до Інтернету.....	13
1.3 Технологія WiMax.....	14
1.4 Опис стандарту 802.16.....	18
1.5 Пристрої RAD WIN-MULTILINK	20
1.6 Вторинна точка доступу (CONSECUTIVEAP)	21
1.7 Настільний абонентський пристрій PLUG & PLAY	23
1.8 Оптичні мережі доступу	24
1.8.1 Перехід мереж доступу до оптичних технологій	25
1.8.2 Архітектури оптичних мереж доступу.....	25
1.8.3 Технологія оптичних мереж доступу	27
РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	33
2.1 Розрахунок втрат в оптичних з'єднувачах	33
2.2 Механічний розрахунок конструкції оптичного кабелю	36
2.3 Розрахунок параметрів надійності волокон в оптичному кабелі.....	40
2.3.1 Розрахунок механічної міцності оптичних волокон	40
2.3.2 Розрахунок параметрів кумулятивної небезпеки	42
2.4 Розрахунок кумулятивної небезпеки обриву від статичних навантажень та розрахунок надійності оптичного волокна при його старінні.....	47
2.5 Розрахунок надійності оптичного кабелю.....	52
2.6 Розрахунок дисперсійних спотворень.....	54
2.7 Розрахунок взаємних впливів оптичного кабелю.....	56
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	61
3.1 Оцінка згасання пасивних оптичних мереж при різних неоднорідностях.....	61
3.2 Оцінка загасання в абонентській мережі з мідним кабелем для розгортання систем xDSL.....	65
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	70
4.1. Охорона праці.....	70

4.2. Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК	72
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
Додаток А_Тези конференцій	78

ВСТУП

Актуальність теми. Мережі доступу постійно викликають зростання інтересу у фахівців у зв'язку з тим, що сервісні можливості цих мереж, постійно розширюючись, виходять на якісно новий рівень і покривають практично всі типи сервісу: від передачі голосу і даних до мультимедіа та відео. Цифрові телепрограми (DigitalVideoBroadcasting, DVB), відео на вимогу (Video-onDemand, VoD), інтерактивне телебачення створюють високошвидкісний мультимедійний трафік, передача якого не може бути реалізована без створення широкосмугових абонентських мереж.

Мережі доступу на кабелях із металевими жилами. Кабельні телефонні мережі існують вже понад сто років і мають найбільш розвинену інфраструктуру порівняно з будь-яким іншим фізичним середовищем доставки трафіку.

Можливість використання мідних кабелів для суміщення в середовищі двох мереж з різними технологіями доставки трафіку (традиційної телефонії та передачі) забезпечується за допомогою сімейства технологій xDSL.

Основна перевага сімейства технологій xDSL – можливість доставки трафіку пакетної комутації по абонентській мережі традиційної телефонії на дистанціях між активним мережевим вузлом та абонентським терміналом від кількох сотень метрів до кількох кілометрів. Залежно від провідності кабелю та загасань на трасі досяжні різні смуги пропускання абонентського каналу мережі передачі даних.

Оптичні мережі доступу (ОМД) пропонують значні переваги перед іншими мережами, побудованими на традиційних мідних або коаксіальних кабелях. Вони забезпечують більш високу швидкість передачі даних на великі відстані і абсолютно нечутливі до електромагнітних перешкод і перехресних перешкод.

Мета дослідження. Оцінка методів розвитку широкосмугових мереж доступу.

Для досягнення мети необхідно виконати задачі:

- провести аналіз публікацій, які стосуються дослідження роботи широкосмугових мереж доступу;

- проаналізувати методи розвитку широкосмугових мереж доступу, широкосмуговий бездротовий доступ до Інтернет, технологію WiMax;
- розглянути мережеві режими побудови мережі, оптичні мережі доступу;
- розглянути питання оцінки згасання в пасивних оптичних мережах при різних неоднорідностях, а також оцінка згасання в абонентській мережі з мідним кабелем для розгортання систем xDSL;
- розрахувати втрати в оптичних з'єднувачах, зробити розрахунок параметрів надійності волокон в оптичному кабелі тощо

Об'єкт дослідження. Широкосмугові мережі доступу.

Предмет дослідження. Технологія WiMax, оптичні мережі доступу.

Наукова новизна одержаних результатів: Дістали подальшого розвитку методи аналізу широкосмугових мереж доступу, а саме, методи оцінювання згасання в пасивних оптичних мережах при різних неоднорідностях, що має важливе значення в задачах розгортання систем xDSL

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ

1.1 Аналіз методів розвитку широкосмугових мереж доступу

Широкасмуговий чи високошвидкісний доступ до Інтернету – швидкість передачі даних перевищує максимальну швидкість, можливу за допомогою комутованого доступу за допомогою модему та телефонної мережі (ТМ) загального користування. Він здійснюється за допомогою різних типів провідових, оптоволоконних і бездротових ліній зв'язку.

Якщо комутований доступ має певні обмеження швидкості передачі даних 56кбіт/с і займає певну телефонну лінію (ТЛ), то широкосмугова технологія (ШТ) забезпечує більшу в кілька разів швидкість обміну даними і не монополізує ТЛ. Окрім високих швидкостей, широкосмуговий доступ (ШСД) забезпечує безперербійне підключення до Інтернету та так званий «двосторонній» зв'язок. Фіксований ШСД будується на основі провідних з'єднань, у той час як мобільний ШСД включає передачу даних по бездротовим з'єднанням. Мобільний ШСД в даний час використовує технології мобільної W-CDMA (широкасмуговий доступ з кодовим поділом каналів) є основним повітряним інтерфейсом третього покоління у світі.

W-CDMA - технологія зв'язку третього покоління, що домінує, в рамках UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Стандарти EV-DO та HSDPA дозволяють досягти середніх швидкостей від 500кбіт/с до 1Мбіт/с, що забезпечить одночасний доступ до широкого спектру мультимедійного контенту.

1.1.1 Паке́тний доступ WCDMA

Функції пакетного радіодоступу WCDMA:

– розподіл наявної пропускну́ї спроможності повітряного інтерфейсу між користувачами передачі;

- рішення про використання транспортного каналу передачі пакетних даних кожного користувача;
- контроль за розподілами пакетів та навантаженням системи.

Пакетний доступ W-CDMA дозволяє каналам-переносникам інформації у час динамічно використовувати загальні, виділені і спільно використовувані канали. Використання різних каналів керує розподільником пакетів (PS). Він призначає швидкість передачі каналу-переносника і, як правило, змінює її під час активного з'єднання.

Розподільник даних пакетів зазвичай розташовується в RNC, де розподіл може здійснюватися ефективно для множини осередків з урахуванням з'єднань з м'якою передачею управління. BS забезпечує вимірювання навантаження повітряного інтерфейсу розподільника пакетів (рис.1.1).

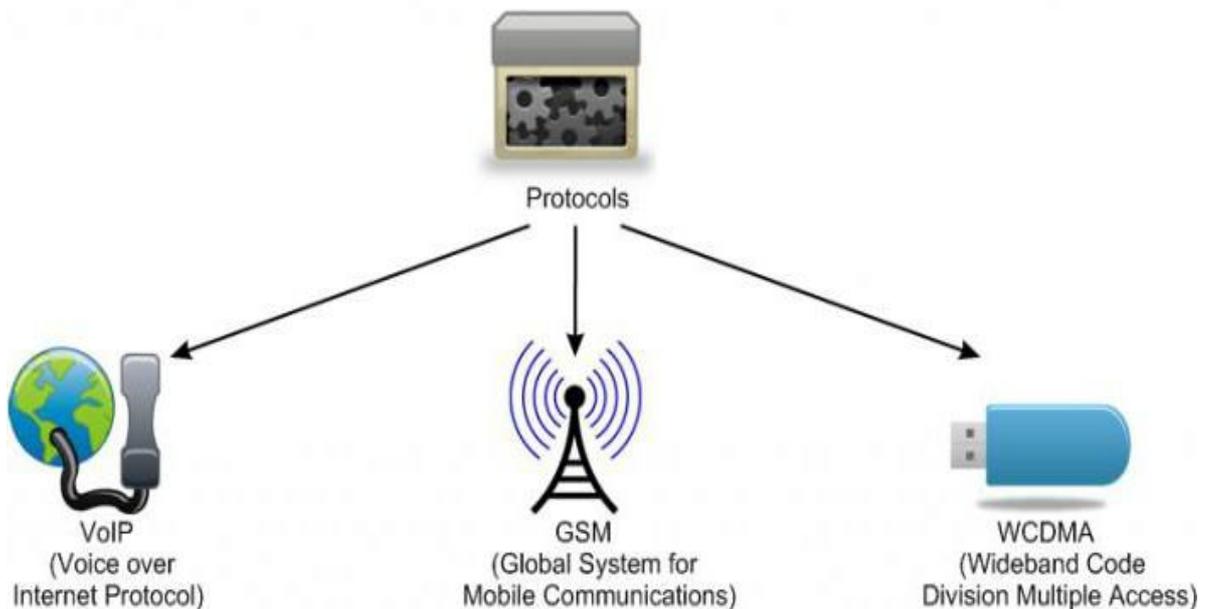


Рис. 1.1. Пакетний доступ у мережі WCDMA

Якщо навантаження перевищує задане значення, розподільник пакетів може зменшувати навантаження шляхом зменшення швидкості передачі пакетних каналів-переносниках; якщо навантаження менше, ніж задане значення, він може збільшити навантаження шляхом виділення більшої кількості даних, що передаються.

Розподільник пакетів також є елементом керування навантаженням мережі, тому що він може збільшувати чи зменшувати.

Алгоритмів розподілу пакетів. Функція розподілу пакетів полягає у спільному використанні наявної пропускної спроможності повітряного інтерфейсу користувачами пакетів. Розподільник пакетів може вирішити проблему, пов'язану з призначенням швидкостей передачі та тривалістю призначення. У W-CDMA це можна зробити двома способами: способом з кодовим поділом або з тимчасовим поділом.

При кодовому розділенні велика кількість користувачів може одночасно мати канал з низькою швидкістю передачі. Коли кількість користувачів, які бажають скористатися пропускною здатністю, зростає швидкість передачі, що виділяється для одного користувача, зменшується. При плануванні з тимчасовим поділом пропускна здатність забезпечується одному користувачеві або лише декільком у кожний час.

Таким чином, користувач може мати дуже високу швидкість передачі, але може скористатися нею лише протягом дуже короткого часу. У W-CDMA максимальна тимчасова роздільна здатність - це кадр тривалістю 10 мс. Коли кількість користувачів збільшується при використанні способу з тимчасовим поділом, кожен користувач повинен стояти в черзі на тривалий час.

1.2 Бездротовий доступ до Інтернету

Бездротовий широкопasmовий доступ (БШД) – це доступ до Інтернету, організований за бездротовою технологією. Бездротові широкопasmові мережі (БШМ) забезпечують обмін даними з пропускною здатністю до 100 Мбіт/сек. За швидкістю роботи БШД поступається лише оптоволокну.

Бездротові локальні мережі сьогодні розглядаються як доповнення до провідних мереж, а не як конкурентне рішення. У бездротових локальних мереж громіздка кабельна інфраструктура виявляється зайвою, що забезпечує мобільність

користувачів, і це є очевидною перевагою - їх простіше і дешевше розгортати і модифікувати.

Дані бездротові локальні мережі вважаються перспективними для таких застосувань, в яких складно або неможливо використовувати провідні мережі. Нижче наведено основні області застосування бездротових локальних мереж. Організація локальних мереж у будинках, де немає можливості встановити сучасну кабельну систему, наприклад, в історичних будинках з оригінальним інтер'єром. Організація тимчасових локальних мереж, наприклад, під час проведення конференцій.

Розширення локальних мереж. Іноді одна будівля підприємства, наприклад, випробувальна лабораторія або цех, може бути розташована ізольовано від інших.

ШМ на вимогу. Організація корпоративної мережі з доступом T1 займає до трьох місяців і більше. Бездротові широкосмугові технології (БШТ) на основі стандарту 802.16, що забезпечують швидкість мережного доступу, аналогічну кабельним широкосмуговим рішенням, дозволить скоротити терміни розгортання такої мережі до кількох днів, а її вартість впаде в кілька разів. Технологія дозволяє провайдеру змінювати рівні послуг (по суті, швидкість доступу) буквально в межах секунд запиту клієнта.

Організація доступу в малонаселених та важкодоступних районах. Широкий діапазон 802.16а рішень, таких як: відсутність вимоги прямої видимості, високої смуги пропускання, гнучкість і низька ціна - допомагає долати обмеження традиційних дротових та вже існуючих бездротових технологій. Також застосовуються технології 4G: WiMax і LTE.

1.3 Технологія WiMax

Альтернативою вирішення проблеми "останньої милі" на великих відстанях є технологія WiMax – Worldwide Interoperability for Microwave Access. Це технологія широкосмугового бездротового зв'язку (ШБЗ), що доповнює лінії DSL та кабельні технології та стандартизована IEEE. Її можна використовувати для розгортання бездротових точок доступу (ТД), організації високошвидкісного зв'язку між

філіями компаній та вирішення інших завдань. WiMax у дослівному перекладі звучить як «глобальна сумісність мікрохвильового доступу». Так називається міжнародний галузевий Консорціум, який має намір сприяти досягненню сумісності всього обладнання, яке використовується для ШБД. Сюди увійшли такі відомі виробники чіпсетів, як Intel, Fujitsu і, Nokia, що приєдналася до них, а також відомі на російському ринку компанії Asiros, Airspan, Alvarion, Aperto, Proxim і Wi-LAN. WiMax дозволяє вирішити головну проблему, що стоїть перед компаніями, які надають доступ у Інтернет: забезпечує швидке підключення до Всесвітньої мережі без прокладання оптико-волоконного кабелю, що зазвичай супроводжується перекопуванням доріг, руйнуванням мостових та тротуарів.

Еволюція WiMax. Вихідна версія стандарту, прийнята в грудні 2001 р., охоплює діапазон частот 10-66 ГГц і передбачає модуляцію на одній частоті, що несе (Single Carrier, SC). Однак у січні 2003 р. прийнято доповнення до стандарту 802.16а, розраховане на обладнання ШБД для міських мереж у діапазоні 2-11 ГГц. Передбачається, що обладнання 802.16 зможе успішно конкурувати з ADSL і кабельними модемами. Розгортання таких систем має обходитись дешевше, оскільки відпадає потреба у проводах. Нову версію стандарту 802.16 було прийнято 24 червня 2004 р. Вона вбирає в себе всі попередні версії і публікується під назвою IEEE 802.16-2004 . У процесі розробки знаходиться доповнення – IEEE 802.16e, яке покликане забезпечити обладнання стандарту 802.16 підтримкою мобільних пристроїв (рис. 1.2).

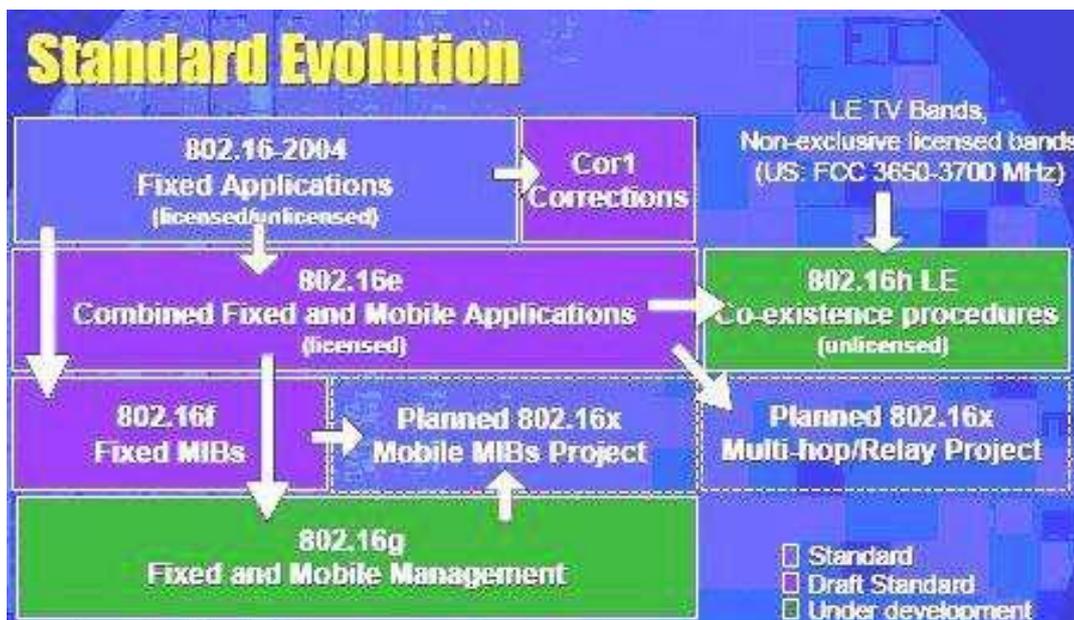


Рис. 1.2. Еволюція WiMAX

Стандарт IEEE 802.16m був затверджений Інститутом інженерів електроніки та електротехніки (IEEE) (WirelessMAN-Advanced і WiMAX 2). Дані на швидкості до 1Гбіт/с в мережах приймає стаціонарне обладнання, а прийом даних до 100Мбіт/с – мобільні гаджети та портативні комп'ютери. У стандарті передбачено передачу даних на швидкості до 100Мбіт/с для мобільного доступу до мереж. Додатково пропонуються покращення такі, як багатоканальний вхід-багатоканальний вихід, обслуговування магістральних каналів відразу декількома операторами.

Попередня версія технології WiMax забезпечувала функціональність за допомогою обладнання, яке не піддане стандартизованому тестуванню на предмет сумісності з технологією WiMax. Ціла низка провайдерів послуг досі використовують такі попередні апаратні рішення для реалізації пілотних проектів WiMax у багатьох куточках світу. Як тільки тестування сумісності цих систем з технологією WiMax буде виконано, їх швидше за все можна буде модернізувати програмним чином відповідно до вимог остаточного стандарту WiMax.

В ідеалі бездротова технологія WiMax, заснована на галузевих стандартах, розроблена для організації недорогого швидкісного зв'язку для житла, підприємств та мобільних бездротових мереж у містах та сільській місцевості. Зверніть увагу на

визначення, в ньому заздалегідь "передбачено містечко" для взаємодії магістрального WiMax з I "локальним" Wi-Fi.

WiMax у версії IEEE 802.16-2004 – стандарт бездротового зв'язку, який забезпечує ширококутовий зв'язок на площі радіусом понад 30км з пропускною здатністю, порівнянною з кабельними з'єднаннями – до 10Мбіт/с та більше.

Для забезпечення стабільної високої якості зв'язку та швидкості передачі даних зокрема в умовах щільної міської забудови використовується технологія WiMax (рис.1.3).

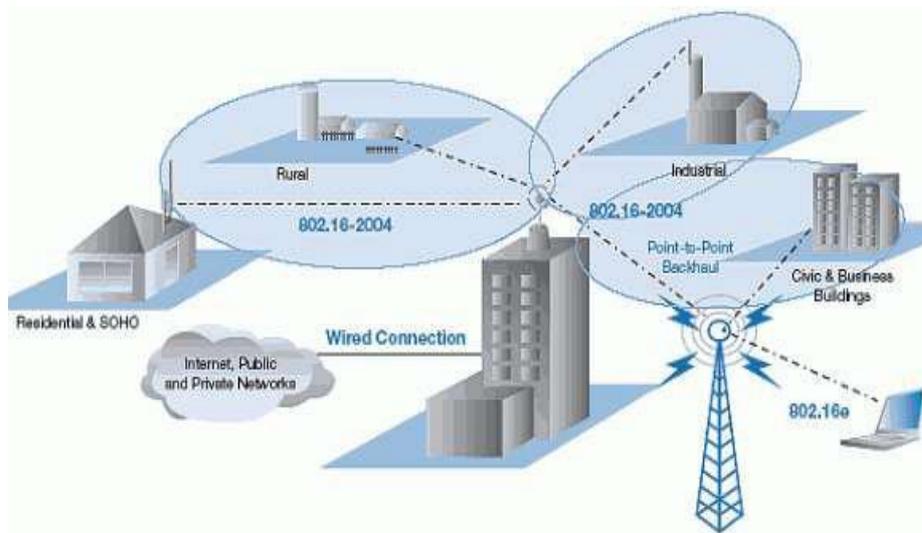


Рис. 1.3. Організація мережі на базі стандарту WiMax

Обладнання мереж WiMax функціонує у кількох частотних каналах у межах діапазону 2ГГц–11ГГц. Розподіл частотних діапазонів різних країн передбачає роботу WiMax на різних діапазонах.

Такий широкий діапазон обраний для врахування специфіки більшості країн світу. У Північній Америці - 2,5ГГц та 5ГГц, у Центральній та Південній Америці – 2,5ГГц, 3,5ГГц та 5ГГц, на Близькому Сході, в Африці, Західній та Східній Європі – 3,5ГГц та 5 ГГц, в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні - 2,3ГГц, 3,5ГГц та 5 ГГц.

WiMax дозволяє забезпечити доступ до мережі Інтернет зі швидкістю мереж класу T1, з продуктивністю та покриттям на рівень вище ніж у Wi-Fi.

WiMax створюють покриття на значних площах (до 10км), надаючи провайдерам гнучкі умови для забезпечення даного виду зв'язку останньої милі.

Загалом базові характеристики стандарту 802.16 передбачають радіус передачі до 50 кілометрів, з можливістю роботи поза прямою зоною видимості, у перспективі до 70Мбіт/с на сектор однієї базової станції. Типова базова станція може мати до 6 секторів покриття.

Використання WiMax поділено на три основні фази.

Перша фаза впровадження передбачає впровадження і широке поширення технології WiMax стандарту IEEE802.16-2004.

Друга фаза передбачає використання внутрішніх антен, спрощене та гнучкіше використання технології WiMax для забезпечення доступу.

Третя фаза – це впровадження специфікацій IEEE802.16e.

Розробка таких складних стандартів передбачає розробку нових поколінь антен і застосування нових видів модуляції типу OFDMA, нових типів сервісів, систем і алгоритмів захисту даних.

Переваги WiMax:

- дозволяє обслуговувати тисячі абонентів на одну базову станцію,
- має вбудовані засоби безпеки, а дані передає на швидкості до 50Мбіт/с.
- WiMax забезпечує користувачам мобільність.
- дозволяє операторам мереж ШД надати користувачам сервіси IP і E1.
- WiMax ефективно використовує свою інфраструктуру і базові станції, що реалізує нові можливості у вже існуючій клієнтській базі.
- WiMax менше прив'язаний до діапазонів - його варіанти розраховані на частоту від 2ГГц до 11ГГц і від 10ГГц до 66ГГц.

1.4 Опис стандарту 802.16

У стандарті особлива увага приділяється плануванню потоків даних користувача (Service Flow), на яких будується весь інформаційний обмін між базовою станцією та абонентськими пристроями, а також засобам захисту даних користувача (privacy sub layer) та безпеці зв'язку.

Стандарт регламентує два рівні – рівень доступу до середовища (Media Access Control, MAC) та фізичний рівень (PHY) – стосовно базових станцій та абонентських комплексів (рис.1.4).

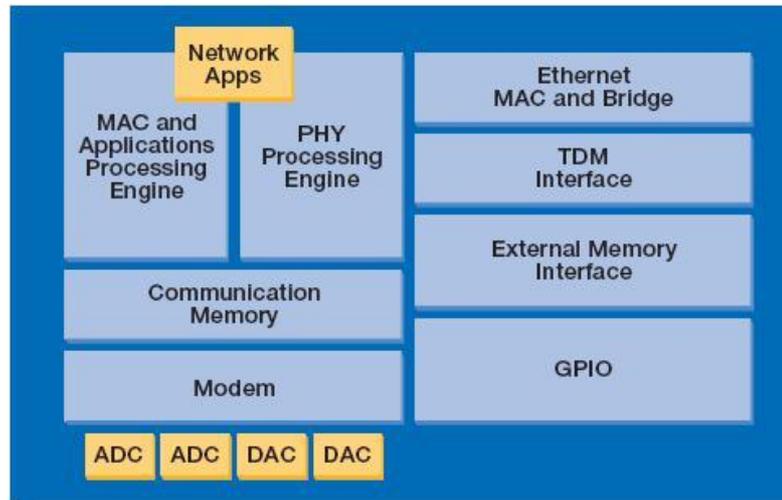


Рис. 1.4. Рівні доступу стандарту 802.16

У типовому міському середовищі, власне, особливості поширення радіохвиль частотного діапазону 10–66ГГц, обмежують можливості роботи систем умовами прямої видимості, що унеможлиблює підключення приблизно половини абонентів, розташованих у межах робочої дальності від базової станції. У зв'язку з цим інститут IEEE розробив додаток до стандарту 802.16, який відноситься до частот 2-11ГГц і, крім одночастотної передачі (Single Carrier, SC), передбачає режими OFDM та OFDMA.

Передача трафіку від абонентських пристроїв до базової станції (так званий висхідний напрямок, uplink) ґрунтується на сукупності двох методів багатостанційного доступу: DAMA (доступ на запит) та TDMA (доступ з часовим поділом каналів).

На фізичному рівні підтримується змінна довжина пакета рівня MAC. Передавач здійснює рандомізацію, перешкодостійке кодування та модуляцію за алгоритмами QPSK, 16QAM та 64QAM.

Передача трафіку від базової станції до абонентських пристроїв (так званий низхідний напрям, downlink) ведеться у режимі часового дуплексу (TDD) абонентським пристроям одного сектору у єдиному потоці. Передавач здійснює вибірковість, завадостійке кодування та модуляцію відповідно до алгоритмів QPSK, 16QAM та 64QAM (передбачений для базових станцій як опція).

Поява технології WiMAX зможе вирішити такі проблеми, як перевантаження мережі, попит на високошвидкісний Інтернет та не дорогі послуги міжнародного та міжміського зв'язку.

Послуга бездротового доступу за стандартом WiMax – це мобільність, зручність, якість та доступність. У майбутньому, поєднуючи у собі дані характеристики, на послугу WiMax прогнозується високий попит.

1.5 Пристрої RAD WIN-MULTILINK

Пристрій доступу (SC) (рис.1.5) є сполучною ланкою між точкою присутності ресурсу (Softswitch, ISP сервери тощо) та бездротовими пристроями (*SS). Трафік поширюється радіоканалом до підключених абонентських пристроїв і далі до пристроїв користувачів (PC, телефони та ін.).

Пристрій доступу має два порти RJ45, якими здійснюється живлення та передача даних. До пристрою доступу може бути підключена зовнішня антена (опційно через роз'єм N-типу) і є можливість синхронізації від зовнішнього пристрою (GPS через роз'єм BNC).



Рис. 1.5. Пристрій доступу

Абонентський пристрій настільного виконання (RSS) є радіомодемом, який не вимагає складної інсталяції і по. Завдяки функції plug and play пристрій не потребує спеціальних технічних навичок та великого часу інсталяції.

RSS оснащено двома портами RJ45 і ідеально підходить для передачі даних та VoIP. Пристрій дозволяє задавати пріоритети між різними видами трафіку (VoIP та data) і вести статистику щодо кожного з них. Блок має вбудований DHCP-сервер та NAT-маршрутизатор.

Абонентський пристрій зовнішнього виконання (OSS) – це Інтегрований з антеною пристрій, призначений для встановлення поза приміщенням. Пристрій досить просто в інсталяції та відключається одним кабелем CAT5 (Ethernet - Power Over Ethernet), який приходить через невеликий отвір у стіні або даху до комп'ютера користувача. Ялинок може опціонально поставлятися із зовнішньою антеною (роз'єм N-типу), для застосування на великих відстанях. Другий порт RJ45 може бути використаний для підключення вторинного сектора, що забезпечує унікальну можливість доступу будь-якому користувачу незалежно від того, наскільки він віддалений від базової станції і які у нього умови радіо видимості (наприклад, перекриття прямої видимості NLOS).

Пристрій дозволяє задавати пріоритети між різними типами трафіку (VoIP та даними), ведучи окрему статистику щодо кожного з них. Абонентський пристрій зовнішнього виконання має вбудований DHCP сервер та NAT маршрутизатор.

Високошвидкісний абонентський пристрій (HSS) схоже на вигляд з OSS. Пристрій має збільшену пропускну здатність і ідеально підходить для організації радіодоступу в режимі моста (PtP) або для побудови вторинного сектора.

1.6 Вторинна точка доступу (CONSECUTIVEAP)

Основні випадки застосування вторинної точки доступу (рис.1.6):

- подолання перешкоди (NLOS) для конкретного пристрою;
- збільшення зони охоплення стільниці;
- подолання перешкоди у радіоканалі;

- усунення перешкод у радіоканалі.

1) Подолання перешкоди (NLOS). Вторинна точка доступу складається з абонентського пристрою та пристрою доступу, об'єднаних за допомогою стандартного схрещеного кабелю CAT5. Даний метод дозволяє долати перешкоди (див. рис.1.6), що закривають радіовидимість (NLOS).

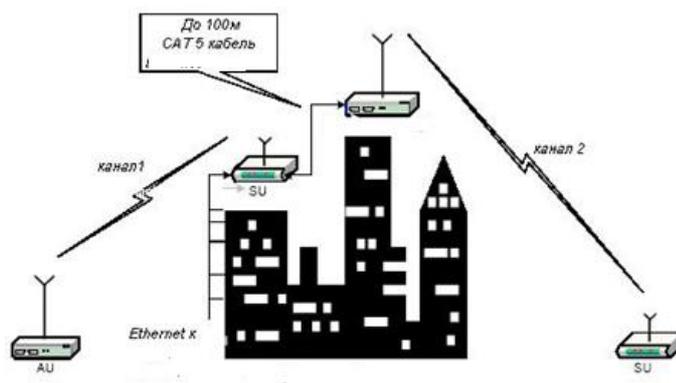


Рис. 1.6. Організація мережі з вторинною точкою доступу

- 2) Фізична реалізація. Потік інформації з основного пристрою доступу надходить до вторинного сектора за наведеною нижче методикою:
- дані з основного пристрою доступу надходить до абонентського пристрою, що знаходиться у зоні прямої видимості (LOS);
 - потім вони направляються кабелем CAT5 у вдруге підключений пристрій доступу (LAN);
 - вдруге підключений пристрій доступу передає дані абонентського пристрою, що знаходиться в зоні його видимості.

Таким чином, не залишається неохоплених територій. Вторинний пристрій доступу, передаючи дані, розширює зону охоплення на відміну стандартного сектора.

3) Методика покриття заданої території. Цей основний пристрій доступу сектора передає дані до певного абонентського пристрою. Потім воно передає дані до вторинного пристрою доступу LAN (кабель CAT5). Вторинне пристрій доступу передає дані через радіоканал до настільного абонентського пристрою.

Ідея такого застосування полягає у підвищенні якості радіосигналу для настільних абонентських пристроїв, які затінені на заваді відносного основного пристроїв доступу в секторі. Це дозволяє використовувати настільні пристрої замість зовнішніх пристроїв. Це рішення особливо корисне, коли вторинне пристрій доступу працює з настільними пристроями. Такий спосіб покриття території, коли одна будівля закрита іншими, застосування невеликої базової станції дозволяє клієнтам у будівлі використовувати настільні пристрої з усіма перевагами близької зони доступу. Використання цієї схеми дозволяє організувати транспорт у будь-яку точку.

4) Усунення перешкод у радіоканалі. Застосування вторинної точки доступу знижує взаємні перешкоди радіоканалі, т.к. застосовуються спрямовані антени та підсектор закритий від основного та його абонентів, співвідношення сигнал/шум покращується та усуває перешкоду від інших пристроїв.

1.7 Настільний абонентський пристрій PLUG & PLAY

Завдяки подоланню зон NLOS з'являється можливість застосування настільних пристроїв для домашніх мереж, що відіграє визначальну роль для надання послуг абонентам, до яких з якоїсь причини не можливо надати дротовий доступ.

Настільний пристрій RAD Win-Multilink з функцією Plug&Play буде затребуваний: ніякого налаштування - просто увімкни і все!

а) Оптимальне рішення останньої милі. Настільний радіомодем оптимально підходить для вирішення проблеми останньої милі для територіально розподілених мереж. Розташовуючись неподалік базової станції настільний радіомодем із спрямованою антеною, має суттєвий бюджет і забезпечує мультисервісний широкосмуговий радіодоступ. Навіть в умовах міської забудови, в будинках великих компаній, або за умови «затінення» будинку деревами, реалізація широкосмугової останньої милі є не складним завданням.

б) Простота використання. Настільний радіомодем поставляється з інтегрованою спрямованою антеною. Пристрій може бути вертикально або горизонтально.

Воно не потребує конфігурації та технічної установки, не потребує встановлення на комп'ютер користувача спеціального програмного забезпечення. Абонент просто має в своєму розпорядженні настільний радіомодем за максимальним рівнем індикації (зелений), і насолоджується наданими послугами.

в) Домашній шлюз. Настільний радіомодем є шлюзом мережі (WAN), використовуючи DHCP сервер і NAT маршрутизатор. Користувачеві достатньо підключити свій PC або цілу мережу до одного порту настільного радіомодему для отримання послуг прийому даних, Internet, IP адрес і функції NAT.

До другого порту користувач може підключити свій як IP телефон, голосовий шлюз, або пристрій VoIP і насолоджуватися високою якістю (CBR) пріоритетною голосові послуги. Пристрій веде окремий облік кожного сервісу, надаючи оператору побудувати гнучку систему білінгу.

Автоматичний аналіз конфігурації бездротової мережі проводиться від джерел: від усіх працюючих у мережі BC; від усіх пристроїв доступу, які прописані до цих НД.

1.8 Оптичні мережі доступу

Значною перевагою оптичних мереж (ОМ) є забезпечення високошвидкісної передачі даних на великі відстані, при абсолютній нечутливості до електромагнітних перешкод та перехресних наведень, на противагу мережам, побудованим на основі звичайного мідного або коаксіального кабелю.

ОМ поділяються на:

- активні – між вузлом доступу та кінцевим користувальницьким обладнанням є активне обладнання (наприклад, регенератор або комутатор)
- пасивні (PON) – активне обладнання відсутнє, отже, її елементам не потрібно електроживлення, що є актуальним на сьогодні, а також значно знижує витрати на експлуатацію.

В різних сімейства технологій, що забезпечують доставку трафіку по оптичній абонентській мережі, що використовує технології, відносяться:

- Next Generation SDH
- Ethernet over fiber(EoF);
- Passive optical network(A-PON/B-PON/E-PON/G-PON), що об'єднується поняттям FTTx.

NGSDH та EoF використовують канали на основі двох волоконних з'єднань (одне на передачу, інше на прийом). Ці рішення ефективні при чіткому визначенні абонентської бази та структури клієнтського трафіку, оскільки кількість волокон в оптичному кабелі обмежена (зазвичай не більше 96), що вимагає використання активних вузлів агрегування трафіку, здатних перетворити 48 оптичних портів кабелю на кілька сотень абонентських закінчень.

1.8.1 Перехід мереж доступу до оптичних технологій

Мережі доступу (МД) безпосередньо пов'язані з наданням операторських послуг абонентам, тому вдосконалюються існуючі технології та з'являються нові.

В якості фізичних ліній зв'язку в МД почали використовувати оптичні технології у фіксованому зв'язку. Використання гібридних волоконно-коаксіальних технологій (HFC) добре себе зарекомендували.

Використовуючи оптичні технології (ОТ) такі як ActiveEthernet, PassiveOptical Network, MicroSDH та інші, можлива організація абонентських високошвидкісних потоків 1-2,4Гбіт/с. Варто відмітити, що ОТ постійно вдосконалюються та здешевлюються.

1.8.2 Архітектури оптичних мереж доступу

Архітектура побудови ОМД характеризується наближеністю оптичних терміналів мережі до користувачів.

Як видно на рисунку 1.7, усі архітектури FTTx мають ділянки мідного кабелю з розподілом електроенергії, але чим більша пропускна здатність мережі, тим ко-

ротший кабель. Структура FTTH забезпечує максимальне використання ОТ, де термінал ОМ розташований у квартирі користувача та підключається до кінцевого обладнання короткими кабелями.

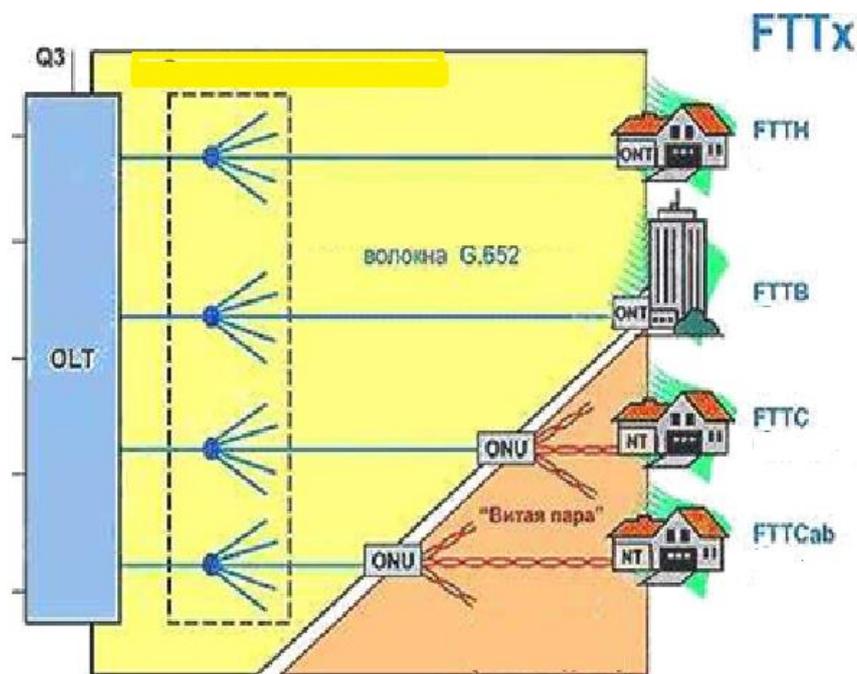


Рис. 1.7. Архітектура побудови МОН

Вибір архітектури залежить від багатьох критеріїв, основним з яких є щільність розміщення абонентів. Краще використовувати систему FTTB для багатоповерхових житлових будинків, тоді як приватні будинки або офісні будівлі залежать від платоспроможності клієнта та попиту на високошвидкісні програми, FTTC або FTTH більше підходять.

На МОН найчастіше використовуються такі інтегральні технології:

- активні мережі Ethernet (Active Ethernet, AE);
- мікромережа SDH (Micro SDH);
- пасивні ОМ (Passive Optical Network, PON).

Вузол мережі включає в себе АТС, і зона його обслуговування в основному визначається зоною покриття мережі PON. На вузлі зосереджується активне шлюзове обладнання PON-OLT (OpticalLineTerminal), що зв'язує кінцевих абонентів з Інтернетом, з іншими медіаконтентами.

Вхідний порт PON обладнання OLT підключається до оптичного кросовера ODFOLT через кінець оптичного кабелю (комутаційні шнури) або мікрокабель (попередньо завершений оптичний кабель). На оптичному кросовері оптичні кабелі розподіляються в напрямку, кросоверний (комутаційний) і лінійний оптичні кабелі з'єднуються з фіксованими оптичними кабелями через з'єднувальні пластини (касета і касета для паяного з'єднання). Як правило, оптичне перехресне з'єднання розташоване в тому ж приміщенні, що й АТС, де розташовані стійки OLT. Мережа PON розподіляє магістральну лінію оптичних волокон від вузла мережі до оптичної розподільної шафи (ОРШ). У розподільній мережі PON зв'язок від PON до користувача (ONT,ONU) здійснюється через оптичний розгалужувач (ОР), який встановлюється в оптичній розподільній коробці (ОРК) та/або ОРШ.

У мережі може використовуватися як одноступенева (однокаскадна) схема комутації спліттерів. Чим менше рівнів каскадних розгалужувачів, тим легше користувачам отримати доступ до мережі, а отже, більше можливостей для усунення несправностей, покращуючи якість зв'язку шляхом запобігання перехідним спотворенням, коли сигнали передаються через кілька розгалужувачів.

З іншого боку, каскадування дозволяє гнучкіше і оптимально розподілити розподільні устрою і кабелі, тобто. оптимально збудувати розподільну мережу.

Абонентський вузол ONT (ONT(ONU)—OpticalNetworkTerminal (Unit)) містить вхідний оптичний інтерфейс PON і може мати різні вихідні інтерфейси: FXS,FXO,10/100/1000 Base-T,E1,BRI,RF.

Зазначені інтерфейси абонентських терміналів, технологія та ресурси смуги пропускання дозволяють використовувати мережу PON для підключення різних відомчих мереж та корпоративних клієнтів.

1.8.3 Технологія оптичних мереж доступу

В оптичних мережах зазвичай використовується топологія «точка-точка» або «точка-багато точок» («зірка»). Ця топологія досить проста з точки зору проекту-

вання та обслуговування мережі, і вона дозволяє обмежити або збільшити швидкість, з якою інформація передається кожному користувачеві. Однак технологія активної OM Ethernet має кілька очевидних недоліків. Вартість активного обладнання чимала, що забезпечує гарантоване електропостачання. Збільшення витрат на будівництво та монтаж.

Однією з найпопулярніших ОТ для мереж доступу є PON (пасивна оптична мережа). Технологія передбачає створення розгалужених мереж на основі пасивних оптичних розгалужувачів. Інформація тимчасово відокремлюється та передається одночасно від головної станції — терміналу оптичної лінії (OLT, Optical Line Terminal) — до кінцевого каналу блоку OM (ONU, Optical Network Unit).

Схема мережі PON вказана на рисунку 1.8.

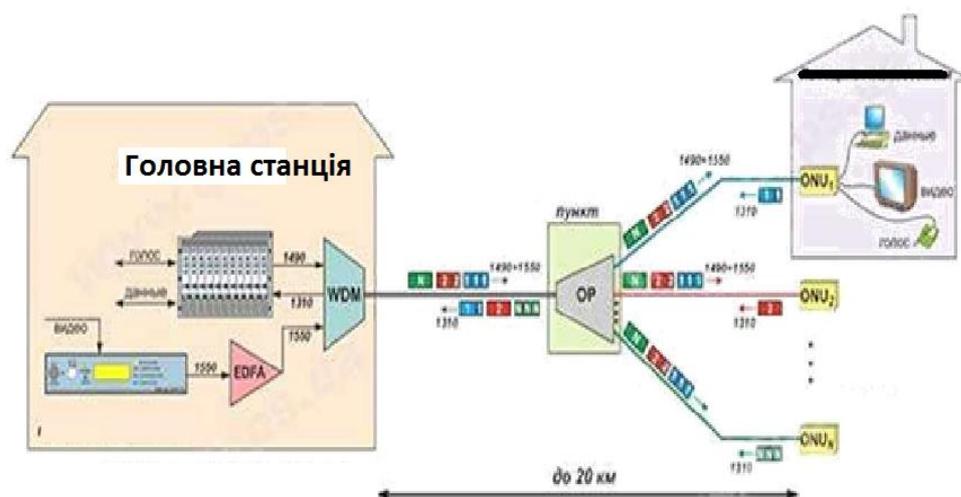


Рис. 1.8. Схема мережі PON

Перевагами застосування технології PON є:

- можливість передачі звуку, відео та даних;
- можливість динамічного розширення лінії;
- відсутня необхідність електроживлення проміжного обладнання;
- проста можливість підключення абонентів (навіть без перерви);
- економія волокон;
- збільшення швидкості передачі та вище без заміни обладнання;

- економія оптичних випромінювачів;
- подальша можливість застосування технології оптичного мультиплексування (CWDM чи DWDM), що дасть можливість збільшити швидкість.

В Україні останніми роками успішно будувалися мережі PON у Київській, Донецькій, Харківській, Дніпропетровській, Рівненській областях. Єдиним фактором, який стримує впровадження PON, є вартість обладнання.

Види PON перераховані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Різновиди PON

Назва	Стандарт·(Рекомендація)
APON·(ATM·PON)	Рекомендації·ITU-T·G.983.x
BPON·(Broadband·PON)	Рекомендації·ITU-T·G.983.x
EPON·(Ethernet·PON)	Стандарти·IEEE·802.3ah/·IEEE·802.3av
GPON·(Gigabit·PON)	Рекомендації·ITU-T·G.984.x

Порівняльна таблиця за характеристиками трьох видів PON (таблиця 1.2).

Наступним ефективним кроком збільшення швидкості передачі PON є застосування WDM (WDMPON).

До активного обладнання PON відносяться кінцеві оптичні блоки: станційний (OLT) та абонентський.

Таблиця 1.2

Порівняльна таблиця за характеристиками трьох видів PON

Характеристики	BPON	EPON (GEPON)	GPON
Швидкість передачі, прямий/зворотний потік, Мбіт/с	622/155, 622/622	1000/1000	1244/1244, 2488/1244, 488/2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH (GFP)
Лінійний код	NRZ	8B10B	NRZ
Максимальне число абонентів	32	32 (64)	32 (64)
Максимальний радіус мережі, км	20	10 (20)	20
Довжина хвилі, прямий/зворотний потік (відео), нм	1490/1310, (1550)	1490/1310, (1550)	1490/1310, (1550)
Динамічний діапазон, дБ: – клас А – клас В – клас С	5-20 10-25 15-30		5-20 10-25 15-30
Інтерфейс PX-10 (10 км)		5-20	
Інтерфейс PX-20 (20 км)		10-24	

Одним із пасивних елементів ОМ є розгалужувачі. Завдяки розгалужувачам існує можливість створювати розподілену деревовидну структуру мережі включно

на магістральних ділянках де необхідне створення розгалуженої деревоподібної архітектури з рівномірним чи нерівномірним поділом оптичної потужності. Для PON розгалужувачі є ключовими елементами мережі.

Власне розгалужувач представляє собою оптичний багатополюсник із заданою кількістю вхідних (n) і вихідних портів (m).

За топологією розрізняють X-подібні (2x2) та Y-подібні (1x2). Найчастіше використовуються Y-подібні ОР. Останні у свою чергу діляться на симетричні, несиметричні, у яких на кожен вихідний порт відводиться певна частина потужності.

Архітектура побудови мережі NGN представлена на рисунку 1.9. Як центральний елемент використовуються програмні комутатори SoftSwitch і медіашлюзи TMG (TrunkMediaGateway) для з'єднання з мережею TDM. В якості шлюзів абонентського доступу використовуються AGW (AccessGateway). Мережа абонентського доступу складається з 84 віддалених блоків. Як транспортне середовище використовується мережа MetroEthernet.

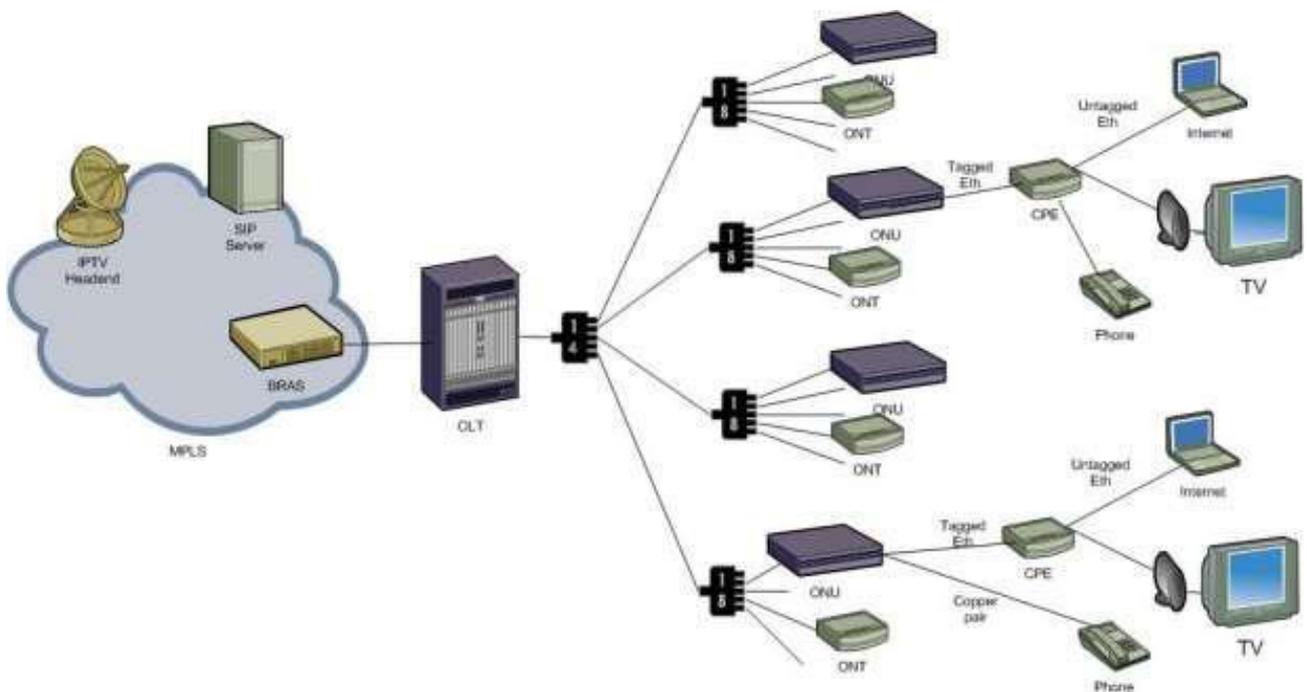


Рис. 1.9. Пропонована архітектура побудови мережі

На локальній станції використовується OLT із лінійними картками ємністю 8 портів кожна. Кількість карток підбирається залежно від необхідної кількості

абонентів, що підключаються, майбутнього навантаження. У мережу IP/MPLS підключення має відбуватися 10GE аплінками. Для цього маршрутизатори існуючої IP/MPLS мережі повинні мати вільні ресурси для підключення.

Для спрощення роботи з оптичними волокнами, а також скорочення числа магістральних ОК, на локальній станції пропонується використовувати оптичний крос комутатор на необхідну кількість волокон.

На магістральному рівні використовувати оптичні розподільні шафи. Від розподільної оптичної шафи ОВ будуть закінчуватися в під'їзді будівель оптичним сплітером із частотою сплітування 1:8,1:16,1:32 або 1:64.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок втрат в оптичних з'єднувачах

Для з'єднання елементів ВОСП між собою потрібні прості та надійні з'єднувачі волоконних світловодів один з одним (ВС-ВС), з випромінювачами (П-ВС), фотодетекторами (ВС-ФД) та смужковими світловодами (ВС-ПС).

Оптичні з'єднувачі (ОЗ) є одним із найбільш відповідальних класів пасивних компонентів для ВОСП. Від їхньої якості залежать граничні можливості та терміни експлуатації систем.

З'єднувачі волоконних світловодів ВС-ВС засновані найчастіше на безпосередньому з'єднанні світловодів «встик», іноді в них використовуються колімуючі та фокуруючі елементи (рис. 2.1).

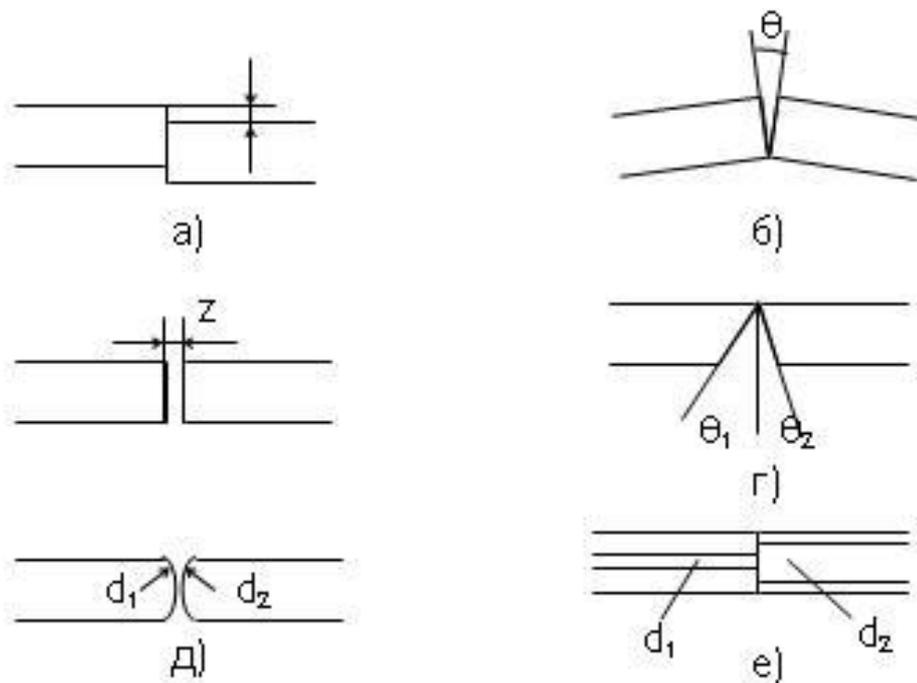


Рис. 2.1. Торцеве з'єднання волоконних світловодів

Оптичні втрати при безпосередньому (торцевому) поєднанні волоконних світловодів.

Ці втрати можна поділити на три групи:

- 1) Втрати, що визначаються взаємним розташуванням волоконних світловодів в ОЗ (радіальне зміщення торців, кутове неузгодження, осьове неузгодження, неперпендикулярність торців щодо осі та кривизна їх поверхні);
 - 2) Втрати, пов'язані з неідентичності параметрів волоконних світловодів, що з'єднуються;
 - 3) Втрати, пов'язані із відображенням від торців світловодів;
- Зробимо розрахунок цих втрат:

1) Для рисунку 2.1а. Втрати внаслідок радіального усунення (децентрування). Зазначені втрати у волокнах можуть бути визначені за формулою 2.1:

$$\alpha_{\text{см}} = -10 \lg \eta_{\text{см}}, \quad (2.1)$$

Де $\eta_{\text{см}}$ - Коефіцієнт ефективності суміщення, що залежить від децентрування, профілю показника заломлення ОВ, модового складу оптичного випромінювання.

Коефіцієнт ефективності поєднання залежить від відносного радіального зміщення x/a (x – зміщення, a – радіус серцевини), а також від модового складу випромінювання та розподілу оптичної енергії по перерізу світловоду.

Для волоконного світловоду з градієнтним профілем заломлення та однорідного збудження мод. Формула 2.2:

$$\eta_{\text{см}} = 1 - 0,85(x/a) = 1 - 0,85(5/62,5) = 0,932, \quad (2.2)$$

$$\alpha_{\text{см}} = -10 \lg (0,932) = 0,3058 \text{ дБ.}$$

Для волоконних світловодів із градієнтним профілем показника заломлення оптичні втрати вищі. Це з тим, що й числова апертура, максимальна на осі, зменшується до нуля до периферії серцевини.

2) Кутове неузгодження волоконних світловодів також призводить до суттєвих оптичних втрат, але меншою мірою, ніж децентрування. Для багатомодових волоконних світловодів у наближенні стаціонарного розподілу оптичної енергії за модами можна використовувати формулу 2.3 та 2.4, що добре узгоджується з експериментальними даними:

$$\alpha_{\theta} = -10 \lg \{ 1 - \theta / [n_0 n_1 (2\Delta)^{1/2}] \}, \quad (2.3)$$

де θ - Кут неузгодженості, радий;

n_1 - Показник заломлення сердцевини, n_0 – показник заломлення середовища між світловодами, що з'єднуються.

$$\Delta = (n_{12} - n_{22}) / 2n_{12} = (1,48^2 - 1,44^2) / 2 \cdot 1,48^2 = 0,1168 / 4,3808 = 0,0266, \quad (2.4)$$

$$\alpha_{\theta} = -10 \lg \{ 1 - \theta / [n_0 n_1 (2\Delta)^{1/2}] \} = 0,266 \text{ дБ.}$$

3) Осьове неузгодженість також збільшує оптичні втрати у з'єднаннях волоконних світловодів.

Для багатомодових волокон втрати рівні. Формула 3.5:

$$\alpha_0 = -10 \lg \{ 1 - [(zn/4an)_1] / 2\Delta \}^{1/2} = 3,04019499 \text{ дБ}, \quad (2.5)$$

де n - Показник заломлення середовища між торцями волокон; z - Відстань між торцями ВВ.

4) Неперпендикулярність торців щодо осі α_n та кривизною поверхні $\alpha_{до}$ при з'єднанні ОВ вносять оптичні втрати, що визначаються за формулою 2.6, 2.7:

5)

$$\alpha_n = -10 \lg \{ 1 - ((n n_1)(n-1)(\theta + \theta_2)) / \pi n_1 (2\Delta)^{1/2} \} = 1,436 \cdot 10^{-3} \text{ дБ}, \quad (2.6)$$

$$\alpha_n = -10 \lg \{ 1 - ((n n_1)(n-1)(d_1 + d_2)) / \pi n_1 d_1 (2\Delta)^{1/2} \} = 0,056 \text{ дБ}, \quad (2.7)$$

де θ_1 і θ_2 - Кутові відхилення поверхні торців;

d_1 і d_2 - Діаметри округлених поверхонь торців.

Усі перелічені втрати визначаються конструкцією оптичних з'єднувальних пристроїв і технологією їх виготовлення.

5) Оптичні втрати, пов'язані з неідентичністю параметрів світловодів, що з'єднуються, виникають через відмінність модового складу світловодів і можуть бути розраховані за наступними формулою 2.8:

$$\alpha_d = -10 \lg(d_1/d_2)^2 = -10 \lg(50/62,5)^2 = 1,938 \text{ дБ}, \quad (2.8)$$

де d_1 і d_2 - Діаметри серцевини;

б) Відображення оптичного випромінювання від торця волокна через невідповідність показників заломлення серцевини світловода та середовища у зазорі між торцями (френелівські втрати) визначаються за формулою 2.9:

$$\alpha_F = -10 \lg \{1 - 2 [(n_1 - n)/(n_1 + n)]^2\} = 0,321 \text{ дБ}, \quad (2.9)$$

де n_1 і n – показники заломлення серцевини та середовища між торцями волокон відповідно.

2.2 Механічний розрахунок конструкції оптичного кабелю

При механічному розрахунку оптичного кабелю елементи кабелю розглядають як систему незалежно циліндрів, що деформують, нехтуючи їх поперечною взаємодією при розтягуванні вздовж осі кабелю.

Відсіч нижчележачих елементів враховують тільки для спіралью накладених елементів з малим кроком спіралі, таких, як стрічкова броня. Позначивши загальну кількість елементів конструкції кабелю n , поздовжню деформацію розтягування δ , модулі пружності матеріалу I елемента і поперечний переріз останнього відповідно E_i і S_i , рівняння розтягування кабелю записується у вигляді формули 2.10:

$$\delta \cdot \sum k_i E_i S_i = F, \quad (2.10)$$

де $k_i = 1$ для елементів, що зазнають напруги та паралельних осі кабелю;

$k_i = \cos \varphi_i$ – для елементів, що зазнають напруги та розташованих по спіралі з кутом підйому φ_i , $k_i = 0$ – для елементів, які не мають напруги при розтягуванні кабелю.

За допомогою цього виразу може бути вирішене, зокрема, одне з типових завдань конструктивної розробки оптичного кабелю - вибір матеріалу та перерізу армуючих елементів конструкції. Так, у разі поздовжнього армування кабелю однієї центральної житлової з високоміцного полімеру, її переріз має бути рівним 2.11:

$$S_{\text{арм}} = \frac{1}{E_{\text{арм}}} \left(\frac{F}{\delta} - \sum_{i=1}^{n-1} k_i E_i S_i \right) \quad (2.11)$$

Розрахуємо допустиме навантаження на розтяг конструкції оптичного кабелю, що використовується при поверховій прокладці (у магістральній підсистемі будівлі) при різних коефіцієнтах $\delta=0,01 \div 0,025$ та різних модулях пружності елементів. Характеристики оптичного кабелю подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Характеристики оптичного кабелю

Найменування елемента	Модуль поздовжній пружності Н/м ²	Розміри, мм	Кількість елементів у кабелі
Захисна оболонка кабелю з LSZH полімерного матеріалу	$0,75 \cdot 10^7 \div 0,85 \cdot 10^7$	$d_{\text{зовнішній}}=4,7$ $d_{\text{внутрішній}}=3,8$	1
Захисні трубки з ПВХ	$0,75 \cdot 10^7 \div 0,85 \cdot 10^7$	$d_{\text{зовнішній}}=3,8$ $d_{\text{внутрішній}}=1,5$	1
Оптичні волокна в покритті з кварцу	$5000 \cdot 10^7$	$d=1,0$	2

Спочатку визначимо площу елементів конструкції оптичного кабелю.

$$S_1 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2 / 4) - (\pi d_{\text{внутрішній}}^2 / 4) = 6,008 \text{ мм}^2,$$

$$S_2 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2/4) - (\pi d_{\text{внутрішній}}^2/4) = 9,574 \text{ мм}^2,$$

$$S_3 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2/4) = 0,785 \text{ мм}^2.$$

Розрахуємо F для $\delta=0,01$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 78,629 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta=0,015$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 117,9435 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta=0,02$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 157,258 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta=0,025$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 196,5725 \text{ Н.}$$

Розрахуємо допустиме навантаження на розтяг конструкції оптичного кабелю, що використовується при прокладці між корпусами (магістральна підсистема комплексу) при різних коефіцієнтах $\delta=0,01 \div 0,025$ та різних модулях пружності елементів конструкції оптичного кабелю. Характеристики оптичного кабелю подані в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики оптичного кабелю

Найменування елемента	Модуль поздовжній пружності Н/м ²	Розміри, мм	Кількість елементів у кабелі
Захисна оболонка кабелю з LSZH полімерного матеріалу	$0,75 \cdot 10^7 \div 0,85 \cdot 10^7$	$d_{\text{зовнішній}} = 5,8$ $d_{\text{внутрішній}} = 4,7$	1
Захисні трубки з ПВХ	$2,3 \cdot 10^7 \div 2,7 \cdot 10^7$	$d_{\text{зовнішній}} = 4,7$ $d_{\text{внутрішній}} = 2,3$	1
Оптичні волокна в покритті з кварцу	$5000 \cdot 10^7$	$d = 1,0$	4

Спочатку визначимо площу елементів конструкції оптичного кабелю.

$$S_1 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2 / 4) - (\pi d_{\text{внут}}^2 / 4) = 9,071 \text{ мм}^2,$$

$$S_2 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2 / 4) - (\pi d_{\text{внут}}^2 / 4) = 13,195 \text{ мм}^2,$$

$$S_3 = (\pi d_{\text{зовнішній}}^2 / 4) = 0,785 \text{ мм}^2.$$

Розрахуємо F для $\delta = 0,01$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 157,402 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta = 0,015$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 236,104 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta = 0,02$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 314,805 \text{ Н.}$$

Розрахуємо F для $\delta=0,025$:

$$F = \delta(k_1 E_1 S_1 + k_2 E_2 S_2 + 2k_3 E_3 S_3) = 393,506 \text{ Н.}$$

Залежність допустимого навантаження на розтяг конструкції оптичного кабелю від поздовжньої деформації розтягування зображено на рисунку 2.2.

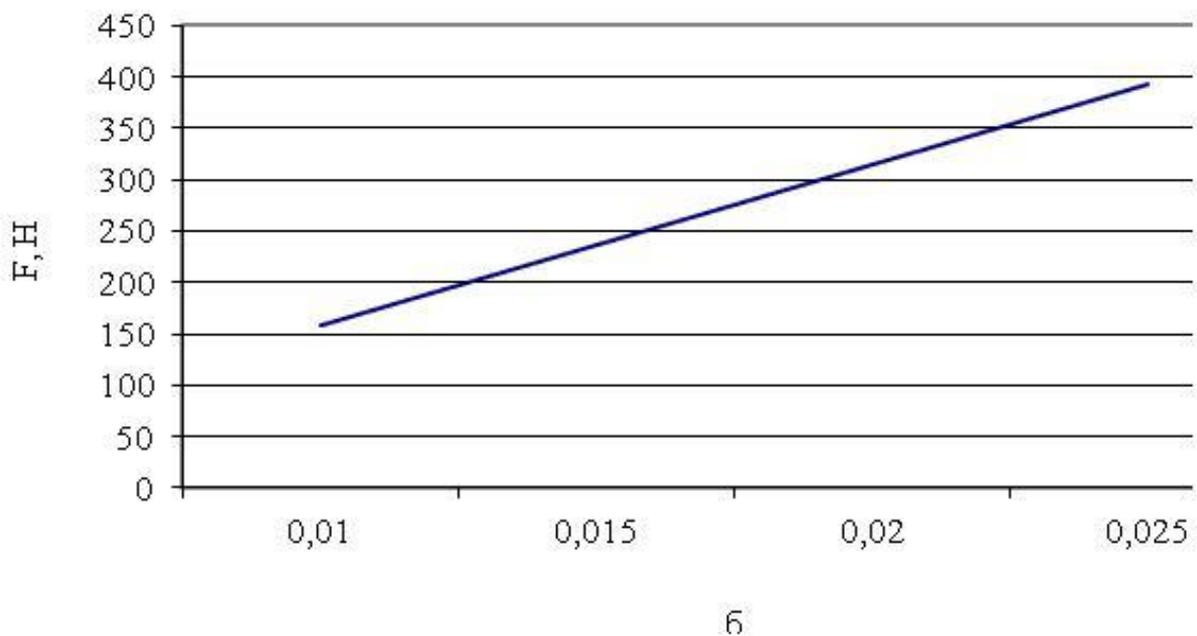


Рис. 2.2. Залежність допустимого навантаження на розтяг конструкції ОК від поздовжньої деформації розтягування

2.3 Розрахунок параметрів надійності волокон в оптичному кабелі

2.3.1 Розрахунок механічної міцності оптичних волокон

Надійність оптичних волокон (ОВ) знаходиться у прямій залежності від їхньої механічної міцності. Теоретична міцність матеріалу ОВ значно більша за оде-

ржувану на практиці і повинна становити 1/10 від його модуля пружності – E . Однак, більшість волокон руйнуються при напругах від $E/10^3$ до $E/10^2$. Особливо це притаманно великих довжин ОВ. Великий вплив на міцність надає розмір мікротріщин – C , які є джерелами руйнування при напругах набагато нижче теоретичних. Мікротріщині певної величини C_i відповідає своє критичне навантаження δ_i , коли відбувається обрив. Для розрахунку критичного навантаження використовуємо формулу 2.12:

$$\delta_i = \frac{0,81 \cdot K_{1c}}{\sqrt{C_i}} \quad (2.12)$$

де K_{1c} - Константа максимальної інтенсивності напруг (для кварцових ОВ $K_{1c}=0,789$ МПа/м²).

Розрахуємо для мікротріщин 0,1 мкм:

$$\delta_i = \frac{0,81 \cdot 0,789 \cdot 106}{\sqrt{0,1 \cdot 10^{-6} i}} = 2,021 \cdot 10^9 \text{ Па.}$$

Для мікротріщин 1 мкм:

$$\delta_i = \frac{0,81 \cdot 0,789 \cdot 106}{\sqrt{1 \cdot 10^{-6} i}} = 6,391 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Для мікротріщин 5 мкм:

$$\delta_i = \frac{0,81 \cdot 0,789 \cdot 106}{\sqrt{5 \cdot 10^{-6} i}} = 2,858 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Для мікротріщин 10 мкм:

$$\delta_i = \frac{0,81 \cdot 0,789 \cdot 106}{\sqrt{1 \cdot 10^{-5} i}} = 2,021 \cdot 10^8 \text{ Па.}$$

Залежність критичного навантаження δ_i від величини мікротріщин показано рисунку 2.3.

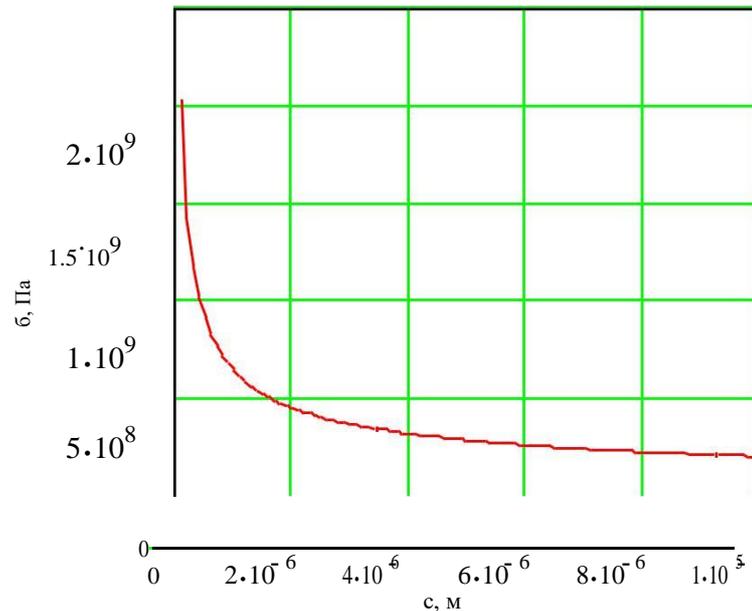


Рис. 2.3. Залежність критичного навантаження від величини мікротріщин.

2.3.2 Розрахунок параметрів кумулятивної небезпеки

Найбільш зручною функцією для визначення міцності ОВ від навантажень, що прикладаються, є функція кумулятивної небезпеки – $N(\delta)$, яка є залежністю кількості обривів на одиницю довжини (зазвичай 1 метр) від величини навантажень, що прикладаються. Кумулятивна небезпека обриву при динамічних навантаженнях описується формулою 2.13:

$$N(\delta) = (\delta/\theta)^r \cdot 1/m \quad (2.13)$$

Функція кумулятивної небезпеки $N(\delta)$ графічно представляється у вигляді прямої в логарифмічному масштабі. Параметр r визначає ступінь нахилу прямої, θ – величину навантаження, за якої відбувається один обрив на одному метрі ОВ.

Для експериментального визначення параметрів r та θ зразки ОВ піддають руйнуванню як мінімум при двох різних навантаженнях δ_1 і δ_2 знаходять значення

$H(\delta)$ у двох точках. Величина кумулятивної небезпеки при цьому визначається формулою 2.14:

$$H(\delta_i) = n_i / L, \text{ 1/м,} \quad (2.14)$$

де n_i – кількість обривів у волокні під час навантаження δ_i ; L – Довжина зразка в метрах.

Параметр r визначається за двома характерними точками з формули 2.15:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}}, \quad (2.15)$$

де $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$ – величини кумулятивної небезпеки при навантаженнях δ_1 і δ_2 відповідно.

Значення параметру θ визначається з формули 2.16:

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^{1/k}}, \text{ Па} \quad (2.16)$$

Визначимо параметри кумулятивної небезпеки r та θ , при числі обривів - n_i на ОВ довжиною 1 км за різних навантажень δ_i .

Розрахунок зробимо для п'яти значень n_1 у діапазоні 1÷8 при $\delta_1 = 4 \cdot 10^8$ Па і для п'яти значень n_2 у діапазоні 10÷50 при $\delta_2 = 8 \cdot 10^8$ Па.

Для $n_1 = 1$; $n_2 = 10$. Визначимо $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$:

$$H(\delta_1) = \frac{n_1}{l} = 10^{-3}, \text{ 1/м}$$

$$H(\delta_2) = \frac{n_2}{l} = 10^{-2}, \text{ 1/м}$$

Визначимо параметр r за формулою 2.17:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}} = 3,32. \quad (2.17)$$

Визначимо параметр θ за формулою 2.18:

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^{1/r}} = 3,2 \cdot 10^9 \text{ Па} . \quad (2.18)$$

Для $n_1=2$; $n_2=20$. Визначимо $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$:

$$H(\delta_1) = \frac{n_1}{l} = 2 \cdot 10^{-3} . \quad 1/\text{м}$$

$$H(\delta_2) = \frac{n_2}{l} = 0,02 . \quad 1/\text{м}$$

Визначимо параметр r за формулою 2.19:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}} = 3,322 . \quad (2.19)$$

Визначимо параметр θ за формулою 2.20:

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^{1/r}} = 2.597 \cdot 10^9 \text{ Па} . \quad (2.20)$$

Для $n_1=4$; $n_2=30$. Визначимо $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$:

$$H(\delta_1) = \frac{n_1}{l} = 4 \cdot 10^{-3} , \quad 1/\text{м}$$

$$H(\delta_2) = \frac{n_2}{l} = 0,03 , \quad 1/\text{м}$$

Визначимо параметр r за формулою 2.21:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}} = 2.907 . \quad (2.21)$$

Визначимо параметр θ :

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^{1/r}} = 2.673 \cdot 10^9 \text{ Па} .$$

Для $n_1=6$; $n_2=40$. Визначимо $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$:

$$H(\delta_1) = \frac{n_1}{l} = 6 \cdot 10^{-3}, \text{ 1/м}$$

$$H(\delta_2) = \frac{n_2}{l} = 0,04. \text{ 1/м}$$

Визначимо параметр r за формулою 2.22:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}} = 2.737. \quad (2.22)$$

Визначимо параметр θ :

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^r} = 2.593 \cdot 10^9 \text{ Па.}$$

Для $n_1=8$; $n_2=50$. Визначимо $H(\delta_1)$ та $H(\delta_2)$:

$$H(\delta_1) = \frac{n_1}{l} = 8 \cdot 10^{-3}, \text{ 1/м}$$

$$H(\delta_2) = \frac{n_2}{l} = 0,05. \text{ 1/м}$$

Визначимо параметр r за формулою 2.23:

$$r = \frac{\ln \frac{H(\delta_2)}{H(\delta_1)}}{\ln \frac{\delta_2}{\delta_1}} = 2.644. \quad (2.23)$$

Визначимо параметр θ :

$$\theta = \frac{\delta_1}{H_1^r} = 2.484 \cdot 10^9 \text{ Па.}$$

2.4 Розрахунок кумулятивної небезпеки обриву від статичних навантажень та розрахунок надійності оптичного волокна при його старінні

Кумулятивна небезпека урвища від статичних навантажень характеризує зміну міцності ОВ у часі при постійному навантаженні. Зниження механічної міцності відбувається рахунок наявності механічних навантажень і рахунок присутності вологи у навколишньому середовищі.

В цьому випадку відбувається повільне зростання мікротріщин до критичних розмірів. Розмір кумулятивної загрози обриву $H(\delta_a t)$ від статичних навантажень - δ_a визначається за формулою 2.23:

$$H(\delta_a, t) = \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}}, \quad (2.23)$$

де n - Коефіцієнт корозії;

t_0 - час першого обриву при навантаженні θ .

Кумулятивна небезпека обриву є одним із параметрів надійності оптичного волокна. Надійність ОВ при його старінні (з точки зору механічної міцності) залежить від його довжини - L і визначається при статичному навантаженні з формули 2.24:

$$P(\delta_a, t, L) = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} \right]. \quad (2.24)$$

При динамічному навантаженні δ_k надійність визначається як ймовірність цілісності оптичного волокна завдовжки L за формулою 2.25:

$$P(\delta_k) = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_k}{\theta} \right)^r \right]. \quad (2.25)$$

З цих виразів можна визначити зниження надійності ОВ з його старіння.

Визначимо величину кумулятивної небезпеки $H(\delta t)$ через час t при $n=20$, $r=3$, $t_0=0,1$; $\theta=10$ ГПа, $\delta_a=2 \cdot 10^8$ Па. Зробимо розрахунок для п'яти значень t в діапазоні $5 \div 20$ років.

Для $t = 5$ років ($t = 1,577 \cdot 10^8$ с):

$$H(\delta_a, t) = \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} = 7,409 \cdot 10^{-5} \text{ 1/м.}$$

Для $t = 10$ років ($t = 3,154 \cdot 10^8$ с):

$$H(\delta_a, t) = \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} = 8,316 \cdot 10^{-5} \text{ 1/м.}$$

Для $t=15$ років ($t=4,73 \cdot 10^8$ с):

$$H(\delta_a, t) = \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} = 8,897 \cdot 10^{-5} \text{ 1/м.}$$

Для $t = 20$ років ($t = 6,307 \cdot 10^8$ с):

$$H(\delta_a, t) = \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} = 9,334 \cdot 10^{-5} \text{ 1/м.}$$

На рисунку 2.4 показана залежність величини кумулятивної небезпеки від часу

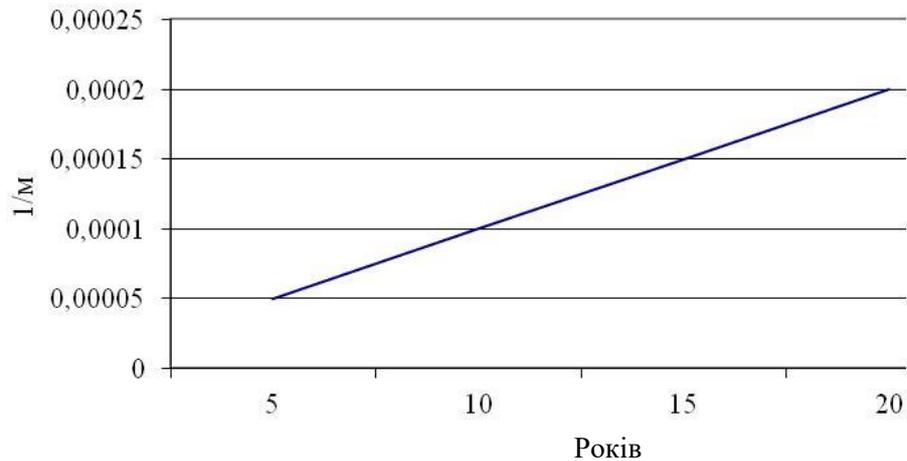


Рис. 2.4. Залежність величини кумулятивної небезпеки від часу

Визначимо величину зниження надійності оптичного волокна через час експлуатації t . Розрахунок зробити для п'яти значень t в діапазоні 5÷20 років при $\delta_a=2 \cdot 10^8$ Па; $n=20$; $r=3$; $t_0=0,1$; $\theta=10$ ГПа; $L=1$ км.

Для $t=5$ років ($t=1,577 \cdot 10^8$ с) знайдемо значення P_1 :

$$P_1 = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^r \right] = 0,992,$$

$$P_2 = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r \cdot n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} \right] = 0,929.$$

Визначимо величину зниження надійності:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 0,992 - 0,929 = 0,063.$$

Для $t = 10$ років ($t = 3,154 \cdot 10^8$ с) знайдемо значення P_1 :

$$P_2 = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} \right] = 0,92.$$

Визначимо величину зниження надійності:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 0,992 - 0,92 = 0,072.$$

Для $t = 15$ років ($t = 4,73 \cdot 10^8$ с) знайдемо значення P_1 :

$$P_2 = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} \right] = 0,915.$$

Визначимо величину зниження надійності:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 0,992 - 0,915 = 0,077.$$

Для $t = 20$ років ($t = 6,307 \cdot 10^8$ с) знайдемо значення P_1 :

$$P_2 = \exp \left[-L \left(\frac{\delta_a}{\theta} \right)^{\frac{r-n}{n-2}} \left\{ \frac{t + t_0 \left(\frac{\theta}{\delta_a} \right)^2}{t_0} \right\}^{\frac{r}{n-2}} \right] = 0,911.$$

Визначимо величину зниження надійності:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 0,992 - 0,911 = 0,081.$$

На рисунку 2.5 показано залежність величини зниження надійності оптоволокна від часу

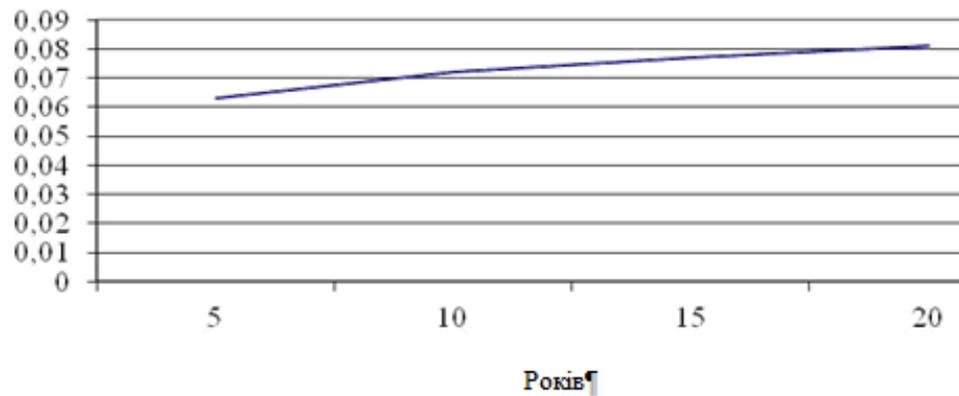


Рис. 2.5. Залежність величини зниження надійності оптоволокна

2.5 Розрахунок надійності оптичного кабелю

Під надійністю пристрою, зокрема і оптичного кабелю, розуміють його властивість виконувати задані функції певних умовах протягом певного проміжку часу.

Особливості оптичного кабелю визначають специфічний підхід до визначення їх ймовірно-часових параметрів та надійності. Значна частина відмов в оптичних кабелях, виготовлених із ОВ із недостатньо високою механічною міцністю, може відбуватися через обриви оптичних волокон. Обрив волокна не тягне за собою погіршення передачі інформації по інших волокнах, а призводить до порушення роботи тільки однієї з систем передачі, що працює на даному кабелі. Тому в оптичних кабелях часто доцільно розглядати надійність роботи кількох ОВ, а не всього кабелю. Надійність роботи (при розгляді процесу старіння оптичного волокна) однієї будь-якої пари ОВ в оптичному кабелі без використання резервних волокон визначається за такою формулою 2.26:

$$P_{нов} = p^{2n} + p^2 \sum_{i=1}^{2(n-1)} (2(n-1)_i) (1-p)^i p^{2(n-1)-i} + 2p(1-p) \sum_{j=1}^{2(n-1)} (2(n-1)_j) (1-p)^j p^{2(n-1)-j} \quad (2.26)$$

де n - Число пар ОВ в оптичному кабелі зв'язку;

p - Можливість безвідмовної роботи одного оптичного волокна;

$2(n-1)_i$ $2(n-1)_j$ - біноміальні коефіцієнти;

j - набуває непарних значень.

Одним із способів підвищення надійності роботи пари ОВ є резервування оптичних волокон у конструкції оптичних кабелів зв'язку. При цьому необхідно враховувати, що резервування найбільше ефективно при необхідності створення високонадійного оптичного кабелю. Надійність роботи будь-якої пари ОВ в оптичному кабелі з резервними волокнами визначається з формули 2.27:

$$P_{нов} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} + p^2 \sum_{j=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_j) (1-p)^j p^{2(n-1)+b-j} + 2p(1-p) \sum_{\alpha=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_\alpha) (1-p)^\alpha p^{2(n-1)+b-\alpha} \quad (2.27)$$

де b - Число резервних волокон в оптичному кабелі зв'язку;

α - набуває непарних значень при парних значеннях b та парних значень при непарних значеннях b .

Надійність роботи оптичного кабелю зв'язку при старінні оптичних волокон (зниженні механічної міцності від вологи та механічного навантаження) визначається з формули 2.28:

$$P_{окз} = p^{2n}, \quad (2.28)$$

а за наявності резервних волокон – з формули 2.29:

$$P_{окз} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i}. \quad (2.29)$$

Визначимо надійність роботи пари ОВ та оптичного кабелю зв'язку без резервування та з резервними волокнами. Розрахунок зробимо для двоволоконного оптичного кабелю зв'язку одним резервним волокном і без резервного волокна за п'яти значень надійності ОВ $P = 0,99; 0,95; 0,9; 0,85; 0,8$.

Знайдемо надійність оптичного без резервних волокон для $P = 0,8$:

$$P_{окз} = p^{2n} = 0,8^2 = 0,64.$$

Надійність оптичного кабелю двоволоконного зв'язку з одним резервним волокном визначимо за формулою:

$$P_{окс} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} = \sum_{i=2-1}^{2-1+1} (2 \cdot 1 + 1_i) 0,8^2 (1-0,8)^{2-1+1-2} = 0,788.$$

Надійність роботи однієї будь-якої пари оптоволоконна у двоволоконному оптичному кабелі без резервних волокон визначимо з виразу:

$$P_{нов} = p^{2n} + p^2 \sum_{i=1}^{n(n-1)} (2(n-1)_i) (1-p)^i p^{2(n-1)-i} + 2p(1-p) \sum_{j=1}^{n(n-1)} (2(n-1)_j) (1-p)^j p^{2(n-1)-j}$$

$$P_{нов} = 0,802$$

Надійність роботи будь-якої пари ОВ у двоволоконному оптичному кабелі з одним резервним волокном знайдемо з виразу:

$$P_{нов} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} + p^2 \sum_{j=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_j) (1-p)^j p^{2(n-1)+b-j} +$$

$$+ 2p(1-p) \sum_{\alpha=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_\alpha) (1-p)^\alpha p^{2(n-1)+b-\alpha} = 0,831$$

2.6 Розрахунок дисперсійних спотворень

Розрахуємо розширення імпульсів у багатомодовому градієнтному оптичному волокні при $\Delta n = 0,01$ ($\Delta n = n_1 - n_2$ - Різниця показників заломлення серцевини та оболонки волокна), $l_c = 5$ км (l_c - Довжина взаємодії (довжина зв'язку) між модами). Побудуємо графік функції $\tau(l)$.

Область значень $l = 0 \div 30$; $\Delta n = 0,005 \div 0,05$; $l_c = 5$ км. Формула 2.30.

$$\tau_{\text{м}} = \begin{cases} \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} l \\ \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} \sqrt{l \cdot l_c} \end{cases} \quad (2.30)$$

При $l = 1$ км

$$\tau_m = \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} l = 1,667 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

При $l=5$ км

$$\tau_m = \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} \sqrt{l \cdot l_c} = 8,333 \cdot 10^{-9} \text{ с.}$$

При $l=10$ км

$$\tau_m = \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} \sqrt{l \cdot l_c} = 1,179 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$$

При $l=15$ км

$$\tau_m = \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} \sqrt{l \cdot l_c} = 1,443 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$$

При $l=30$ км

$$\tau_m = \frac{(\Delta n)^{3/2}}{2c} \sqrt{l \cdot l_c} = 2,041 \cdot 10^{-8} \text{ с.}$$

Побудуємо графік залежності розширення імпульсів у багатомодовому градієнтному оптичному волокні від відстані (рис. 2.5).

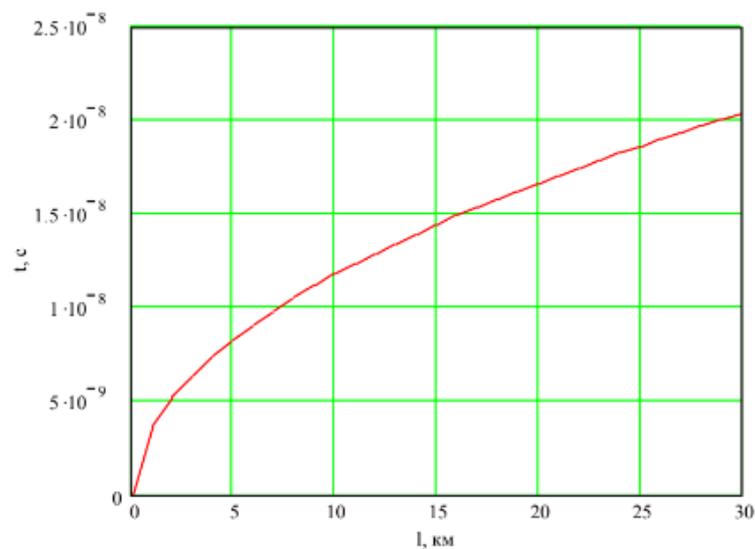


Рис. 2.5. Залежність розширення імпульсів від відстані

2.7 Розрахунок взаємних впливів оптичного кабелю

Світловоди, що знаходяться в загальному осерді оптичного кабелю можуть впливати на сусідні волокна в результаті взаємного переходу енергії з одного волокна на інше. Взаємні перешкоди між оптичними волокнами зумовлені такими факторами: просочуванням енергії через оболонку волокна. Поле хвилі, що розповсюджується спадає в поперечній площині за експоненційним законом і при тонкій оболонці може просочуватися в навколишній простір і збуджувати перешкоди в поряд волокнах; наявністю мікрозгинів та макровигинів у волокні. Мікро- і макровигини призводять до випромінювання частини енергії спрямовується хвилі в навколишній простір і її переходу в волокна. Розподіл поля у двох сусідніх волокнах показано на рисунку 2.6.

Частина поля одного волокна проникає у сусіднє волокно і проявляється там у вигляді перешкоди.

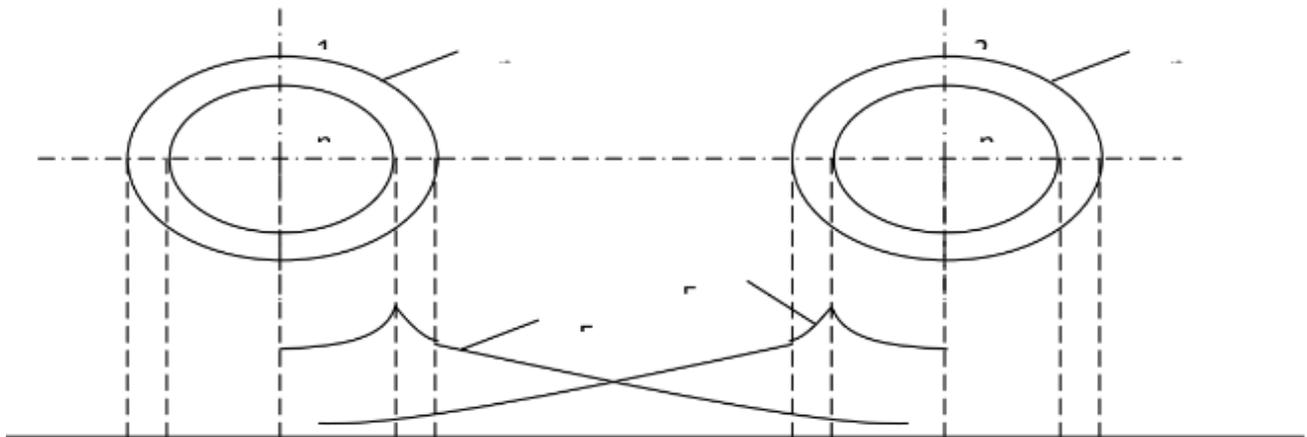


Рис. 2.6 – Взаємні впливи в оптичному кабелі

Рівень взаємних впливів оптичних кабелів залежить від конструкції кабельного сердечника, тобто. взаємного розташування волокон. Найбільші взаємні впливи спостерігатимуться у конструкціях із повивним осердям. У конструкціях стрічкового типу та в конструкціях із прямокутним сердечником взаємні впливи між волокнами матимуть меншу величину.

Ступінь впливу між оптичними волокнами можна оцінити, розрахувавши вторинні параметри впливу двох сусідніх волокон. Перехідне згасання на ближньому кінці (2.31):

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4\alpha}{N^2 m (1 - e^{-2\alpha L})} \right|, \text{ дБ} \quad (2.31)$$

Захищеність від перешкод (2.32):

$$A_3 = 20 \lg \left| \frac{2}{N^2 mL} \right|, \text{ дБ} \quad (2.32)$$

Перехідне згасання на дальньому кінці (2.33):

$$A_1 = A_3 + \alpha L, \text{ дБ} \quad (2.33)$$

де α - Коефіцієнт загасання оптоволокна, дБ/км;

L - Довжина підсилювальної ділянки оптичного кабелю, км;

m – коефіцієнт зв'язку між оптичними волокнами, який залежить від відстані між волокнами (при безпосередньому торканні волокон по всій довжині кабелю $m=1$, при видаленні волокон на відстань порядку їхнього радіусу $m=0,6 \div 0,7$);

N – коефіцієнт проникнення поля через оболонку волокна (2.34):

$$N = \frac{q_{1,2} \cdot q_{2,3} \cdot e^{-kt}}{1 - p_{1,2} \cdot p_{2,3} \cdot e^{-2kt}}, \quad (2.34)$$

де - $k = \omega \sqrt{\mu_a \varepsilon_a}$ коефіцієнт втрат в оболонці;

t- товщина оболонки;

$q_{1,2}, q_{2,3}$ - Коефіцієнти заломлення на межі сердечника (n_1), оболонки (n_2) та повітря (n_3) (2.35, 2.36).

$$q_{1,2} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2}, \quad (2.35)$$

$$q_{2,3} = \frac{2n_2}{n_2 + n_3}, \quad (2.36)$$

де n - характеризує частку просочування енергії через оболонку волокна і, якщо він менше $10^{-5} \div 10^{-6}$, то для оптичних волокон, що використовуються на практиці, і величин L $A_0 > 120$ дБ; $A_3 > 90$ дБ; $A_e > 100 \div 120$ дБ їх взаємними впливами можна знехтувати.

Із зростанням товщини оболонки t та частоти оптичних коливань взаємні впливи різко зменшуються. Перехідні перешкоди також тим менші, чим більше відрізняються n_1 та n_2 , тому що при цьому сильніший ефект відбиття поля на межі сердечника. Для зниження перешкод доцільно в оптичних волокнах застосовувати поглинаюче (захисне) покриття із полімерних матеріалів, яке наноситься безпосередньо при виготовленні волокон.

Розрахуємо параметри впливу частоті $f = 10^{14}$ Гц між багатомодовими двошаровими оптичними волокнами з параметрами $n_1 = 1,48$; $n_2 = 1,44$; $t = 2$ мкм. Коефіцієнт згасання волокон $-\alpha = 0,9$ дБ/км. Коефіцієнт заломлення навколишнього середовища $-n_3 = 1$. Волокна стикаються по всій довжині кабелю, довжина підсилювальної ділянки $-L = 6$ км. $m = 0,6$.

Обчислимо $q_{1,2}$:

$$q_{1,2} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2} = 1,014.$$

Визначимо $q_{2,3}$

$$q_{2,3} = \frac{2n_2}{n_2 + n_3} = 1,18,$$

$$p_{1,2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} = 0,014,$$

$$p_{2,3} = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3} = 0,18.$$

Визначимо k :

$$k = \omega \sqrt{\varepsilon_a \mu_a} = 2\pi f \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu} = 3,1 \cdot 10^6,$$

де $\varepsilon_0 = 10^{-9}/36\pi$; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$; $\varepsilon = n^2$; $\mu = 1$.

Знаходимо N :

$$N = \frac{q_{1,2} \cdot q_{2,3} \cdot e^{-k\tau}}{1 - p_{1,2} \cdot p_{2,3} \cdot e^{-2k\tau}} = 2,43 \cdot 10^{-3}.$$

Перехідне згасання на ближньому кінці:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4\alpha}{N^2 m (1 - e^{-2\alpha L})} \right| = 120,142 \text{ дБ.}$$

Перешкодозахищеність:

$$A_3 = 20 \lg \left| \frac{2}{N^2 mL} \right| = 99,473 \text{ дБ.}$$

Перехідне згасання на дальньому кінці:

$$A_1 = A_3 + \alpha L = 125,542 \text{ дБ.}$$

Побудуємо графік залежності перехідного впливу на ближньому кінці від відстані (рис. 2.7):

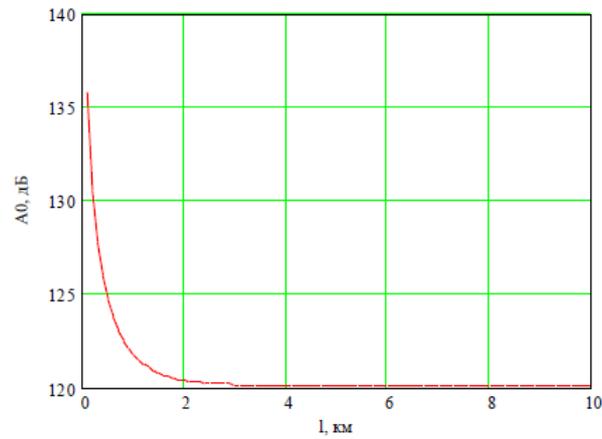


Рис. 2.7. Залежність перехідного згасання на ближньому кінці від відстані

Залежність завадостійкості від відстані показано рисунку 2.8:

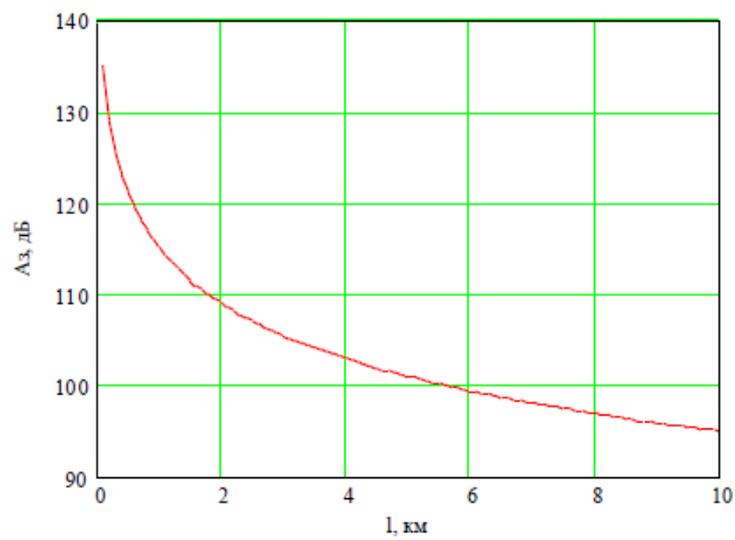


Рис. 2.8. – Залежність завадостійкості від відстані

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Оцінка згасання пасивних оптичних мереж при різних неоднорідностях

У цьому розділі відображені результати проведених експериментальних досліджень вимірювання параметрів оптичного кабелю для різних довжин хвиль, зокрема при 1310 і 1550 нм, при яких виявляються різні неоднорідності, а також порівняльний аналіз отриманих результатів.

Експерименти проводилися за допомогою пасивної розгалуженої ЦД і одного прийомопередавального модуля в OLT(OpticalLineTerminal) для передачі інформації від абонентських пристроїв ONT(OpticalNetworkTerminal) або ONU(OpticalNetworkUnit) і прийому інформації від них. Вимірювання проводилися за допомогою оптичного рефлектометр у працюючій мережі PON на довжинах хвиль 1310нм і 1550нм.

Оптичний рефлектометр визначає місцезнаходження дефектів та пошкоджень, вимірює рівень втрат сигналу в будь-якій точці оптичного волокна. Все, що потрібно для роботи з оптичним рефлектометром - це доступ до одного кінця волокна.

Вимірювання проводилося лише у пошкодженій гілці мережі: від останнього розгалужувача до ONU на відстані близько 35км. від початку лінії.

На рисунку 3.1 представлена схема вимірювання сигналу PON.

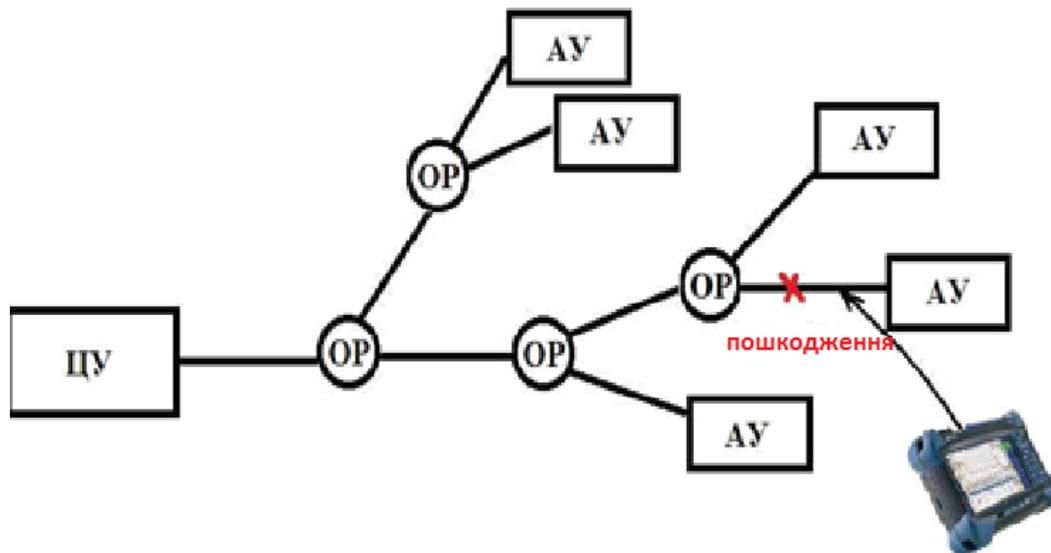


Рис. 3.1. Схема вимірювання сигналу PON

Результати вимірювань представлені в таблицях 3.1 та 3.2

Таблиця 3.1

Параметри вимірювань на довжині хвилі 1310 нм

Відстань(м)	Згасання (Дб)	відстані	Згасання на ділянці (Дб)
0,50	0,320	2169,15	
1678,02	0,034	1678,02	0,882
3601,60	0,178	1923,58	1,536
6057,24	-0,019	2455,64	2,538
9004,01	0,029	2946,77	3,490
11500,57	0,004	2496,57	4,358
13915,28	0,050	2414,71	5,150
16534,63	0,038	2619,35	6,073
19399,54	0,026	2864,91	7,043
22223,52	0,003	2823,98	8,017
24679,16	0,019	2455,64	8,818
26807,38	0,041	2128,22	9,540
29222,09	-	2414,71	10,320

Таблиця 3.2

Параметри вимірювань на довжині хвилі 1550 нм

Відстань (м)	Згасання на зварюванні (Дб)	відстані	Згасання на ділянці (Дб)
0,59	0,293	2169,15	
1680,02	0,071	1678,02	0,591
3580,60	0,131	1923,58	1,023
6257,24	0,003	2496,57	1,635
9094,01	0,034	2905,84	2,189
11500,57	0,007	2496,57	2,703
13915,28	0,035	2414,71	3,171
16534,63	0,022	2619,35	3,708
19399,54	0,013	2946,77	4,298
22223,52	0,003	2742,13	4,836
24679,16	0,015	2455,64	5,307
26807,38	0,049	2128,22	5,740
29222,09	-	2414,71	6,142

Як видно з таблиць 3.1 і 3.2, на 12-й події спостерігаються відчутні втрати (при 1310нм-0,041Дб, а при 1550нм-0,049Дб в місцях зварювання), для інших експериментів втрати мають інші значення.

На рисунку 3.2, представлено оптичну залежність загасання від відстані.

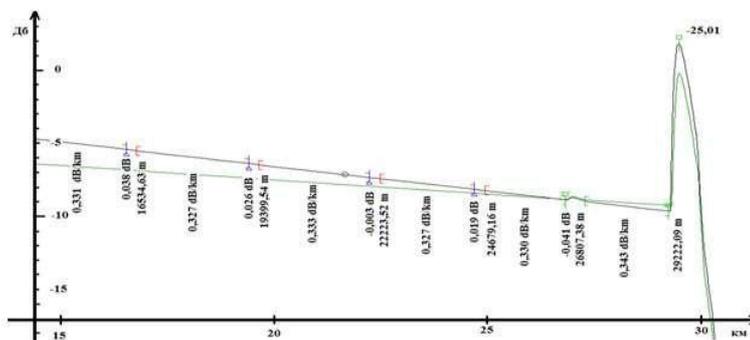


Рис. 3.2. Залежність загасання від відстані представлені також неоднорідності вздовж лінії

На рисунку 3.3 наведено порівняльний графік вимірювань для різних довжин хвиль (850нм, 1310нм, 1550нм).

На рисунку 3.3 видно, що при вимірі оптичного волокна для різних довжин хвиль різниця втрат незначна.

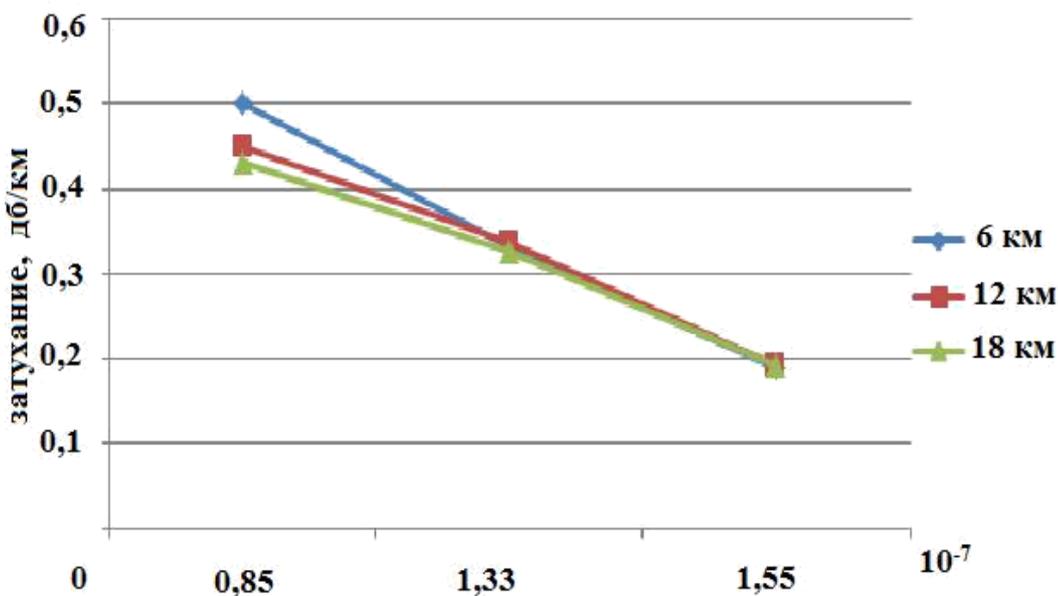


Рис. 3.3. Порівняльні характеристики коефіцієнта загасання від довжини хвилі для різних відстаней

При вимірі параметрів волокна на різних довжинах хвиль різниця у втратах незначна при використанні оптичного обладнання на короткій відстані. Рефлектометричні вимірювання дозволяють визначити положення неоднорідностей.

3.2 Оцінка загасання в абонентській мережі з мідним кабелем для розгортання систем xDSL

Були зроблені експерименти, та досліджувався режим роботи абонентських ліній (рис. 3.5).

Для дослідження сигналу від абонента було використано прилад ELQ2+ та MC2+. Прилад ELQ2+ є переносним багатофункціональним вимірювальним приладом для випробування та оцінки стану мідних ліній зв'язку, призначених для розгортання систем xDSL, в цьому ж приладі є функція рефлектометра.

Прилад ELQ 2+ здійснює індикацію результату у вигляді PASS/FAIL і видає докладний або спрощений протокол вимірювань. У випадку «PASS» (відповідність допуску) прилад ELQ 2+ може розрахувати теоретично значення швидкості передачі.

Опція рефлектометра входить до складу базової моделі. Додатково замовляються опції: міст, цифровий мультиметр, вимірювання ADSL2+, вимірювання ГВП у каналі ТЧ, роздільна здатність 10 Гц при побудові АЧХ. Для дослідження абонентської лінії (АЛ) були виставлено такі значення:

- посилені від 32 до 72дБ, щоб побачити сплеск;
- імпульс – 100нс;
- відстань – до 1.5км (для абонента А) та абонента В до 2км.

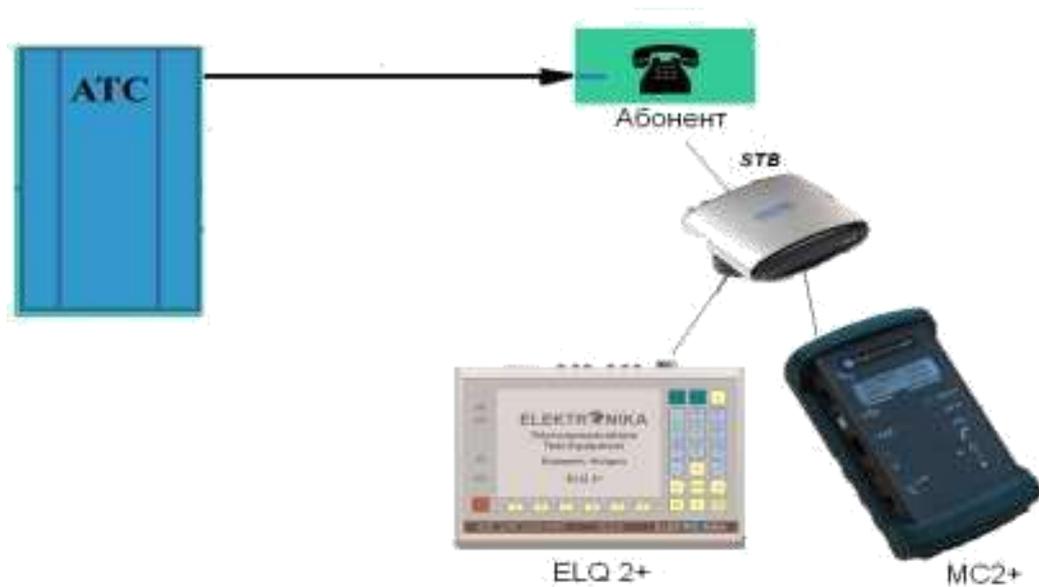


Рис. 3.5 Схема підключення

Вимірювання проводилися з боку абонента, до приставки STB спочатку підключали прилад ELQ2+, а потім після вимірювань прилад MC2+.

В результаті експериментів були отримані наступні рефлектограми від абонентів А і В (рис. 3.6, рис. 3.7).

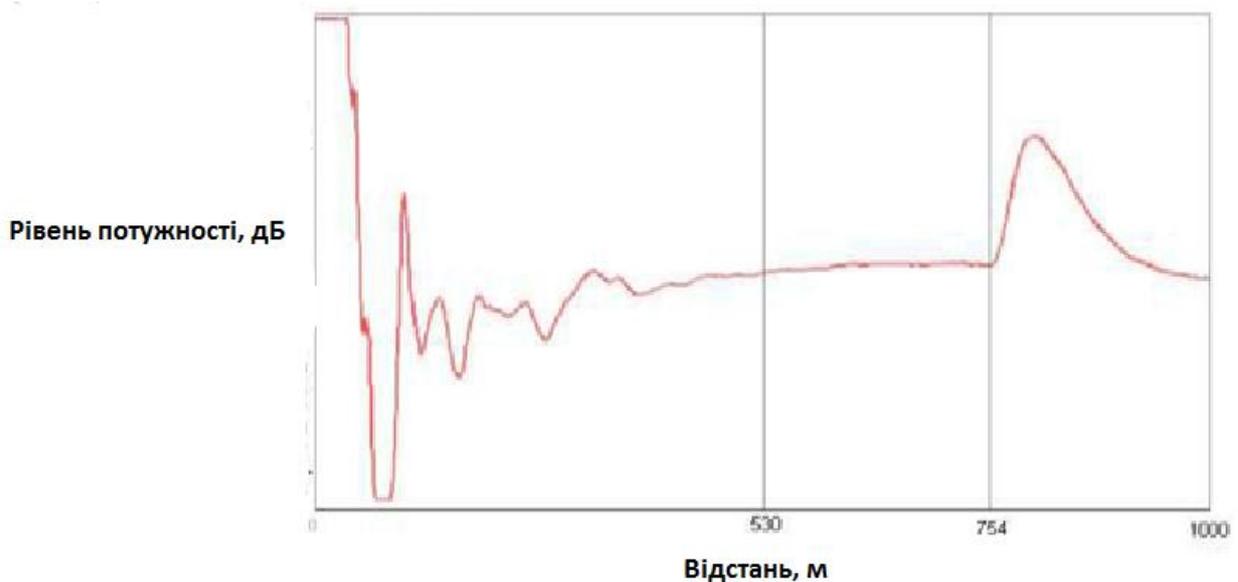


Рис. 3.6. Рефлектограма абонента А

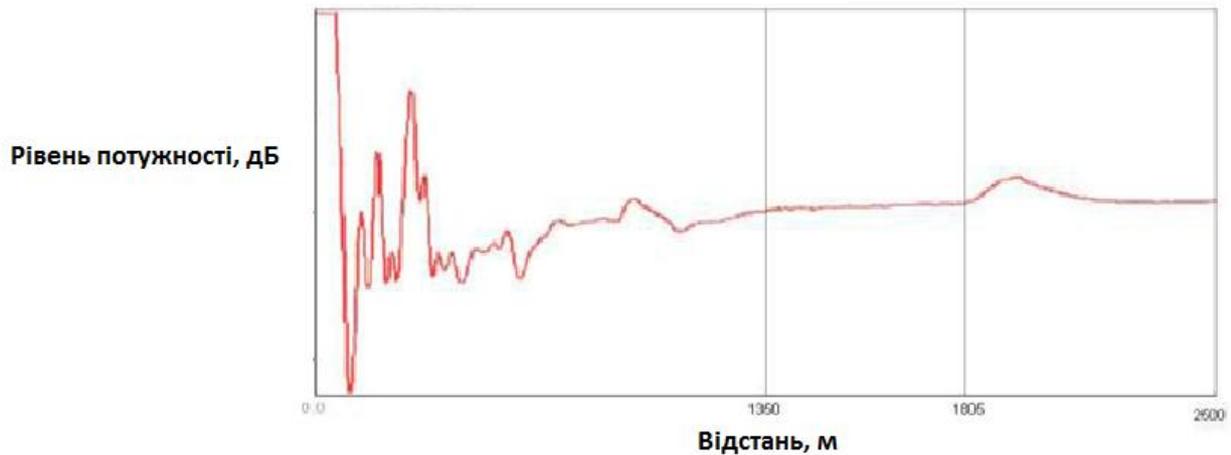


Рис. 3.7. Рефлектограма абонента В

Аналізуючи рефлектограми, бачимо, кожна їх цих 2-х рефлектограм починається з відображення і мертвої зони ближнього кінця, тобто. це відстань від одного френелівського відображення до іншого френелівського відображення, яке можна виявити. Така мертва зона говорить про те, що після будь-якого відбиття (зазвичай від роз'єму у рефлектометра) можна виявити відбиття від обриву або від оптоволоконного з'єднання. Дані рефлектограми було отримано безпосередньо з боку абонента.

Ізолювавши з АТС лінію, було визначено відстані до абонента, на малюнках це відбито як обрив з відривом 754 м (абонент А) і з відривом 1805 м (Абонент Б). Результати досліджень зведено до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати досліджень

Параметри	Абонент А	Абонент В
Fab	528,4 МОм	1,804 ГОм
Fa0	1,516 ГЗМ	1,247 ГОм
Fb0	1,516 ГЗМ	1,471 ГОм
Оцінка	відповідає	відповідає

F_{ab} – опір між жилою а та b;

F_{a0} - опір між житловою і землею;

F_{b0} – опір між житловою b та землею.

Аналізуючи рефлектограми і таблицю отриманих вимірювань можна, можливо зробити висновки, що є деякі пошкодження у жил а та b (у абонента А). Результати вимірювань 2 і 3 показують, що результати вимірювань абонентських ліній (АЛ) - відповідають необхідним параметрам. Опір ізоляції має бути менше 40 МОм, а опір шлейфу трохи більше 1000 Ом /5/.

Подальші виміри проведено з допомогою приладу MC2+. MC2+ - це портативний тестер, який дає можливість здійснювати пошук пошкоджень та проводити технічне обслуговування апаратури на лініях ADSL, ADSL2 та ADSL2+/6/.

Прилад зафіксував такі результати:

1) Bit Rate(Kbps)- це швидкість передачі між модемом і DSLAM ((DigitalSubscriberLineAccessMultiplexer) — мультиплексор доступу цифрової абонентської лінії xDSL). Для Абонента А становила 1012/7996 Кбіт/с, а Абонента В- 1023/7996 , де 1-я швидкість - пропускну здатність до 1 Мбіт/с для DSL, а 2-я швидкість- пропускну здатність для IP TV, т.к. е. до 8 Мбіт/с;

2) Максимальна швидкість передачі, яка може бути досягнута в DSL лінії. Для абонента А-1087/23740Кбіт/с та для В - 2668/16676Кбіт/с;

3) Згасання у Абонента А - 5/13дБ (до 20дБ відмінна лінія) та для В-15/28дБ (робоча лінія);

4) Рівень шуму становила 6/28дБ (Абонента А) та 28/20 (для абонента В).

З цих результатів можна дійти невтішного висновку, що параметри даних АЛ відповідають усім вимогам, що висуваються до експлуатації прийому і передачі інтерактивного телебачення.

Для визначення інших параметрів кабелю, в даному випадку коефіцієнта загасання, було проведено вимірювання лінії за допомогою приладу "Портативний вимірювач потужності RA3209". Простий та надійний вимірювач потужності, відкалібрований на 6 довжин хвиль (850/980/1300/1310/1490/1550 нм.), що дозволяє

вимірювати великі рівні потужності (-70.+3 дБ). RA3209 має функцію автокалібрування з ПК. Забезпечений універсальним адаптером SC/FC/ST, має великий екран з підсвічуванням, гумовий корпус та функцію автовідключення.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

У дипломній роботі магістра розроблено метод і програмний засіб моделювання комп'ютерних систем на основі мереж Петрі. Оскільки, моделювання систем проводиться на ПК, то важливим аспектом роботи користувача є його безпека. У зв'язку з цим, необхідно проаналізувати і врахувати вимоги і норми охорони праці, а також правила техніки безпеки при використанні електроннообчислювальних засобів і периферійних пристроїв.

На сьогодні основним нормативним документом, який визначає і регламентує норми і правила експлуатації електронно-обчислювальної техніки є НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [26]. Правила встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць операторів ЕОМ.

НПАОП 0.00-7.15-18 є обов'язковим для виконання роботодавцями, операторами електронно-обчислювальних машин, операторами комп'ютерного набору, операторами комп'ютерної верстки та працівників інших професій, які у своїй роботі застосовують ЕОМ з ВДТ і ПП [26].

Згідно НПАОП 0.00-7.15-18 електронно-обчислювальні засоби повинні відповідати вимогам чинних в Україні стандартів і пройти державну санітарноепідеміологічну експертизу у Порядку проведення державної санітарноепідеміологічної експертизи.

З метою забезпечення електробезпеки користувачів ПК при використанні програмного засобу моделювання комп'ютерних систем на основі мереж Петрі необхідно, щоб комп'ютери і периферійні пристрої відповідали I-му класу захисту, або були заземленими відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01. Неприпустимим є використання клем функціонального заземлення для підключення захисного заземлення [27].

При організації робочих місць користувачів розробленої системи моделювання, необхідно забезпечити дотримання вимог щодо їх розташування, зокрема відстань робочого місця від стіни повинна складати 1м, а відстань між робочими

місцями повинна становити 1,7 м. Площа, яка виділяється на одне робоче місце, обладнане ПК становить $\geq 6.0 \text{ м}^2$, а об'єм – $\geq 20 \text{ м}^3$ [26].

При виборі кімнат для розміщення робочих місць ПК враховано ступінь відбиття світла на екранах дисплеїв, яке проходить через вікна і яке може викликати значне осліплення в тих, хто сидить перед ними, особливо влітку та в сонячні дні. Тому, ПК і оргтехніка розміщені біля стін, які не знаходяться біля вікон або навпроти них [26].

Оскільки, при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, і можливі негативні впливи на здоров'я такі, як короткозорість, швидка втомленість, тому всі приміщення, які облаштовані робочими місцями з ПК, мають природне і штучне освітлення. Не допускається розташування робочих місць з ПК в підвальних приміщеннях [26].

Робочі місця з ПК при виконанні творчої роботи, яка потребує значної розумової концентрації, зокрема при моделюванні комп'ютерних систем, ізольовано одне від одного перегородкою висотою 1,6 м [26]. Поверхня підлоги у приміщеннях повинна бути оздоблена керамічною плиткою і бути рівною та зручною для очищення та вологого прибирання.

Штучне освітлення у приміщеннях повинно бути виконано у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовувати над робочими поверхнями у рівномірно-прямокутному порядку. Штучне освітлення забезпечує на робочих місцях з ПК освітленість 300 – 500 Лк [26].

Для запобігання засвітленню екранів ПК прямими світловими потоками лінії світильників розташовані з достатнім бічним зміщенням відносно рядів робочих місць, а також паралельно до світлових отворів. При цьому кожне вікно повинно мати світлорозсіюючі штори з коефіцієнтом відбивання 0,7 [26].

У приміщенні також необхідно забезпечити і природне освітлення, при цьому на кожному вікні закріплені жалюзі з вертикальними ламелями, що регулюються для зменшення прямого попадання сонячного світла на екран комп'ютерів.

З метою запобігання нещасним випадкам та організації охорони праці на виробництві розробляються інструкції з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерної техніки. Дія інструкції поширюється на всі структурні підрозділи установи [27].

До роботи на ПК допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому місці та інструктаж з пожежної безпеки [27].

З ергономічної точки зору, при розташуванні елементів робочого місця враховано наступні фактори [26]:

- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця; – можливість огляду простору за межами робочого місця;
- можливість робити записи, розміщення документації і матеріалів, які використовує користувач.

При дослідженні та експлуатації програмного засобу моделювання комп'ютерних систем на основі мереж Петрі проаналізовано та враховано необхідні вимоги охорони праці і правила техніки безпеки, що дозволило забезпечити зручні умови для ефективної роботи користувачів комп'ютерів.

4.2. Забезпечення безпеки життєдіяльності при роботі з ПК

Безпека життєдіяльності при роботі з ПК передбачає виконання ряду вимог щодо захисту людини від негативного впливу компонентів комп'ютерної техніки і містить вимоги з електробезпеки, ергономічних вимог, пожежної безпеки та інших.

Заходи щодо усунення небезпеки ураження електричним струмом зводяться до правильного розміщення устаткування та електричних кабелів. Інші заходи щодо забезпечення електробезпеки, збігаються з загальними заходами пожежо- та електробезпеки [28].

В якості профілактичних заходів для забезпечення пожежної безпеки слід використовувати скриті електромережу, надійні розетки з пожежобезпечних матеріалів, силові мережі живлення устаткування виконувати кабелями, розрахованими

на підключення в 3-5 разів більшого навантаження, включати й виключати живлення обладнання за допомогою штатних вимикачів [28]. Треба регулярно робити очистку внутрішніх частин комп'ютерів, іншого устаткування від пилу, розташовувати комп'ютери на окремих неспалюваних столах. Для запобігання іскріння необхідно рідше встромляти і виймати штепсельні вилки з розеток [28].

Екран дисплея повинен бути розташованим перпендикулярно до напрямку погляду. Якщо він розташований під кутом, то стає причиною сутулості. Відстань від дисплея до очей повинна трохи перевищувати звичну відстань між книгою та очима. Перед екраном монітора, особливо старих типів, повинен бути спеціальний захисний екран. При його відсутності треба сидіти на відстані витягнутої руки від монітора. Ще одним моментом, який стосується зору, є необхідність створення неоднорідного поля зору [28].

Важливою є форма спинки крісла, яка повинна повторювати форму спини. Висота крісла повинна бути такою, щоб користувач не почув тиску на куприк або стегна. Крісло бажано обладнати бильцями. Його потрібно встановити так, щоб не треба було тягтися до клавіатури. Періодично користувачу необхідно рухатися, вчасно змінювати положення тіла і робити перерви у роботі [28].

При напруженій роботі за комп'ютером щогодини необхідно робити перерву на 15 хвилин через кожну годину і треба займатися іншою справою. Декілька разів на годину бажано виконувати серію легких вправ для розслаблення.

Наслідками регулярної роботи з комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору (60% користувачів); хвороби серцево-судинної системи (20%); захворювання шлунково-кишкового тракту (10%); шкірні захворювання (5%); різноманітні пухлини.

Режим праці та відпочинку при роботі з персональною електроннообчислювальною машиною (ПЕОМ) залежить від категорії трудової діяльності. Всі 65 роботи з ПЕОМ ділять на три категорії. Перша - епізодичне зчитування і робота з інформацією не більше 2-х годин за 8-годинну робочу зміну. Друга - зчитування інформації або творча робота не більше 4-х годин за восьми годинну зміну. Третя

- зчитування інформації або творча робота тривалістю більше 4-х годин за зміну [28].

Якщо у приміщенні експлуатується більше одного комп'ютера, то треба врахувати, що на одного користувача можуть впливати випромінювання від інших, в першу чергу бокових, а також і задньої стінки сусіднього дисплея. Тому необхідний захист спеціальними фільтрами і щоб користувач розміщався від бічних і задніх стінок інших дисплеїв на відстані не ближче одного метра [28].

Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) роботу з персональним комп'ютером віднесла до небезпечних, бо їй притаманний фактор постійно діючого стресу. Через це небезпеці піддаються всі життєво важливі органи людини, з'являється ризик виникнення серйозних хвороб [28].

Електромагнітні поля комп'ютерної техніки, особливо низькочастотні, негативно впливають на людину і в першу чергу на її центральну нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу. Причому нервова система реагує навіть на короткі за тривалістю впливи слабких полів: змінюється гормональний стан організму, порушуються біоструми мозку. Це призводить до погіршення зору, ускладненню серцево-судинних захворювань і зниження імунітету.

Характерною рисою професії оператора ПК є статичний режим роботи: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів [28].

Неправильне розташування дисплеїв по висоті - занадто низьке або високе, під неправильним кутом - є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, бб що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму [28].

Висновки.

Отже, щоб запобігти негативним впливам необхідно знати небезпечні сторони комп'ютерної техніки і правила безпечної роботи з ними, вміти використовувати засоби запобігання небезпекам. Негативні фактори перед усім пов'язані із загально відомими небезпечними чинниками – ураження електричним струмом, пожежонебезпечністю, шумом та вібрацією.

ВИСНОВКИ

Дана робота охоплює низку питань, що торкаються методів розвитку ширококосмугових мереж доступу.

В роботі дано аналіз методів розвитку ширококосмугових мереж доступу, ширококосмуговий бездротовий доступ в Інтернет, технологія WiMax. Розглянуто мережеві режими побудови мережі, оптичні мережі доступу.

В експериментальній частині розглядалися питання оцінки згасання в пасивних оптичних мережах при різних неоднорідностях, а також оцінка згасання в абонентській мережі з мідним кабелем для розгортання систем xDSL.

Результати вимірювань показують, що величини вимірювань абонентських ліній (АЛ) відповідають необхідним параметрам. Опір ізоляції має бути менше 40 МОм, а опір шлейфу трохи більше 1000 Ом.

В розрахунковій частині наводиться розрахунок втрат в оптичних з'єднувачах, механічний розрахунок конструкції оптичного кабелю, розрахунок параметрів надійності волокон в оптичному кабелі, розрахунок кумулятивної небезпеки обриву від статичних навантажень та розрахунок надійності оптичного волокна при його старінні, розрахунок дисперсійних спотворень, розрахунок взаємних впливів оптичного кабелю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буров Є.В. Комп'ютерні мережі: підручник. – Львів: «Магнолія 2006», 2010. – 262 с.
2. Кулаков Ю.О. Комп'ютерні мережі: навч. посіб./ Ю.О. Кулаков, І.А. Жуков. – К.: вид-во Нац.авіц.ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 392 с.
3. Jack M. Holtzman, N Goldman. Wireless and Mobile Communications. Springer Science & Business Media, 2012. 286 p.
4. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Волоконно-оптичні системи передачі. Навчальний посібник — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 225 с.
5. В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. Телекомунікаційні мережі. Київ, Техніка, 2001р – 526 с.
6. 3GPP Technical Report 25.942, RF System Scenarios
7. Бірюков М.Л. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультиплексування: Підручник для студентів вищ. техн. закладів / М.Л. Бірюков, В.К. Стеклов, Б.Я. Костік; під ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – ст. 312
8. В. О. Гребенніков, В. В. Хиленко. Про стратегію і тактику інформаційного розвитку України. Частина 4. Розвиток мереж радіодоступу / Зв'язок. – 2008. - № 3, 4 – ст. 13-21
9. Corning Cable Systems Evolant Solutions for FTTx Networks. www.corning.com/cablesystems.

Додаток А

Тези конференцій

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



7–8 грудня 2022 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2022**

СЕКЦІЯ 5. НОВІТНІ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ТА ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.4

Я. Войтович, А. Лупенко

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ШИРОКОСМУТОВИХ МЕРЕЖ ДОСТУПУ

УДК 004.4

Y. Voitovych, A. Lupenko

METHODS OF BUILDING BROADBAND ACCESS NETWORKS

Телекомунікаційні технології відіграють величезну роль у всіх без винятку сферах сучасного суспільства, коли від швидкості, якості та своєчасної передачі інформації залежить правильність прийняття стратегічно важливих рішень. Крім того, телекомунікаційні системи виключно важливі в передачі і доведенні до кожного громадянина політичної, громадської, культурної, освітньої та іншої інформації. Галузь зв'язку виконує найважливішу функцію передачі інформації для забезпечення стратегічної та економічної безпеки країни, життєдіяльності людей, суспільного виробництва, управління на всіх ієрархічних і територіальних рівнях.

Мережі доступу останнім часом викликають зростаючий інтерес у фахівців у зв'язку з їх сервісними можливостями. Вони постійно розширюються, виходять на якісно новий рівень і покривають практично всі типи сервісу: від передачі голосу і даних до мультимедіа та відео.

У роботі розглянуті методи розвитку широкосмтєвих мереж доступу: мобільний та фіксований зв'язок. Мобільний бездротовий зв'язок представлений технологіями WCDMA та WiMax. Фіксований наземний зв'язок представлений оптичними мережами зв'язку PON та на базі мідних кабелів xDSL.

За допомогою оптичних технологій, особливо технології PON, потоки даних можуть бути організовані для абонента зі швидкістю від 1 до 2,4 Гбіт/с. Оптичні технології постійно розвиваються і дешевшають. Однак, мідна вита пара з покриттям на короткі відстані для підключення центральних вузлів розподілу до абонентів все ще широко застосовується.

Також розглянуто питання оцінки загасання в пасивних оптичних мережах при різних неоднорідностях, а також оцінено загасання в абонентській мережі з мідним кабелем для розгортання систем xDSL.

Здійснено розрахунок втрат в оптичних з'єднувачах, розрахунок параметрів надійності волокон в оптичному кабелі.

Література

1. Вишнеvский В., Портной С., Шахнович И. Энциклопедия WiMax. Путь 4G. М.: Техносфера, 2009. С. 472.
2. 3GPP Technical Report 25.942, RF System Scenarios.
3. Бірюков М. Л., Стеклоv В. К., Костік Б. Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультиплексування: підручник для студентів вищ. техн. закладів; під ред. В. К. Стеклова. К.: Техніка, 2005. С. 312.
4. Гребенніков В. О., Хиленко В. В. Про стратегію і тактику інформаційного розвитку України. Частина 4. Розвиток мереж радіодоступу. Зв'язок. 2008. № 3, 4. С. 13–21.
5. Corning Cable Systems Evolant Solutions for FTTx Networks. URL: www.corning.com/cablesystems.

УДК 004

Ю. Дзюбак, Я. Коненко, Я. Войтович

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ТЕСТУВАННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПЛАТФОРМ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ

UDC 004

Yu. Dziubak, Ya. Konenko, Ya. Voytovych

TESTING AND COMPARATIVE ANALYSIS OF VIRTUALIZATION PLATFORM

Встановлено і використано KVM для створення і запуску віртуальних машин на сервері з CentOS. Описано методику створення заснованих на образах віртуальних машин і віртуальні машини, які використовують логічний том (LVM). KVM використовує апаратну віртуалізацію, для його роботи потрібен процесор, який підтримує апаратну віртуалізацію, наприклад, Технологія Intel VT або AMD-V.

Розглянуто технології віртуалізації на рівні операційної системи (VirtualBox) і повної віртуалізації (KVM і Xen). Як обладнання для експерименту обрали рішення на базі процесора Intel Haswell Core i7 4770K. В якості операційної системи обрано Fedora 32. Продуктивність при використанні технологій віртуалізації тестувалися за допомогою Phoronix Test Suite та результати опубліковувалися на openbenchmarking.org.

Для керування віртуальними серверами достатньо використовувати virsh - один із головних інструментів керування libvirt. Але для автоматизації VPS/VDS та адміністрування хостмашин потрібна панель управління. Є безліч панелей управління для KVM. Обрано панель управління для комерційного використання – Solus Virtual Manager (SolusVM). Розробник - британська компанія Soluslabs Ltd. SolusVM керується через вебінтерфейс, можна підключити до білінгу. Для управління всіма нодами потрібна лише одна майстер-нода, встановлена на VPS. Панель працює під операційними системами, як CentOS 6+ та подібних.

При тестуванні гіпервізорів з'ясувалося, що віртуалізація лише на рівні операційної системи підходить не для всіх сфер застосування. Зокрема, не підходить для алгоритмів високоточних обчислень. Для високонавантажених проєктів і науково-дослідних робіт найкраще підходить KVM, оскільки ресурси, виділені конкуруючим віртуальним машинам, добре розподілялися за великих навантажень. Xen найкраще використовувати для декодування/кодування відео, 3D візуалізації та рендерингу. Компанія Citrix Systems використовує Xen не тільки для віртуалізації серверів, але і робочих столів, ця технологія найкраще підходить для таких рішень.

Результати порівняльного тестування показали, що серед рішень повної віртуалізації KVM також найкраще підходить для хостингу. Технологія OpenVZ, яка спочатку створювалася як технологія для віртуального хостингу, випереджає за показниками щільності, гнучкості та масштабованості. Хоча більшість компаній, які впроваджують високонадійні проєкти, вибирають VMware. KVM та Xen мають менше поширення.

Неможливо керувати великою кількістю віртуальних машин та кількома хост машинами з консолі. В основному панель керування oVirt призначена для керування хостмашинами на базі KVM, але її можна налаштувати для роботи з Xen та VirtualBox. SolusVM надає можливість підключення хост машин на базі KVM, Xen (у режимі PV та HVM). Ліцензія для SolusVM коштує \$10 і тому популярна серед хостингових компаній. Ліцензії VMware коштують дуже дорого, але вони пропонують кращу панель управління та пропонують великі можливості адміністрування.

Ринок інфраструктури віртуалізації серверів є основою двох надзвичайно важливих тенденцій на ринку, які мають зв'язок: модернізація інфраструктури та «хмарні» обчислення. Для модернізації інфраструктури використовується віртуалізація, щоб покращити використання ресурсу, зменшити витрати, покращити ефективність використання енергії, покращити швидкість доставки ресурсу та інкапсулювати образ робочого навантаження, що включає автоматизацію. У цьому відношенні віртуалізація являє собою горизонтальний тренд з переважною більшістю підприємств і робочих навантажень, які зрештою теж стають віртуалізованими.